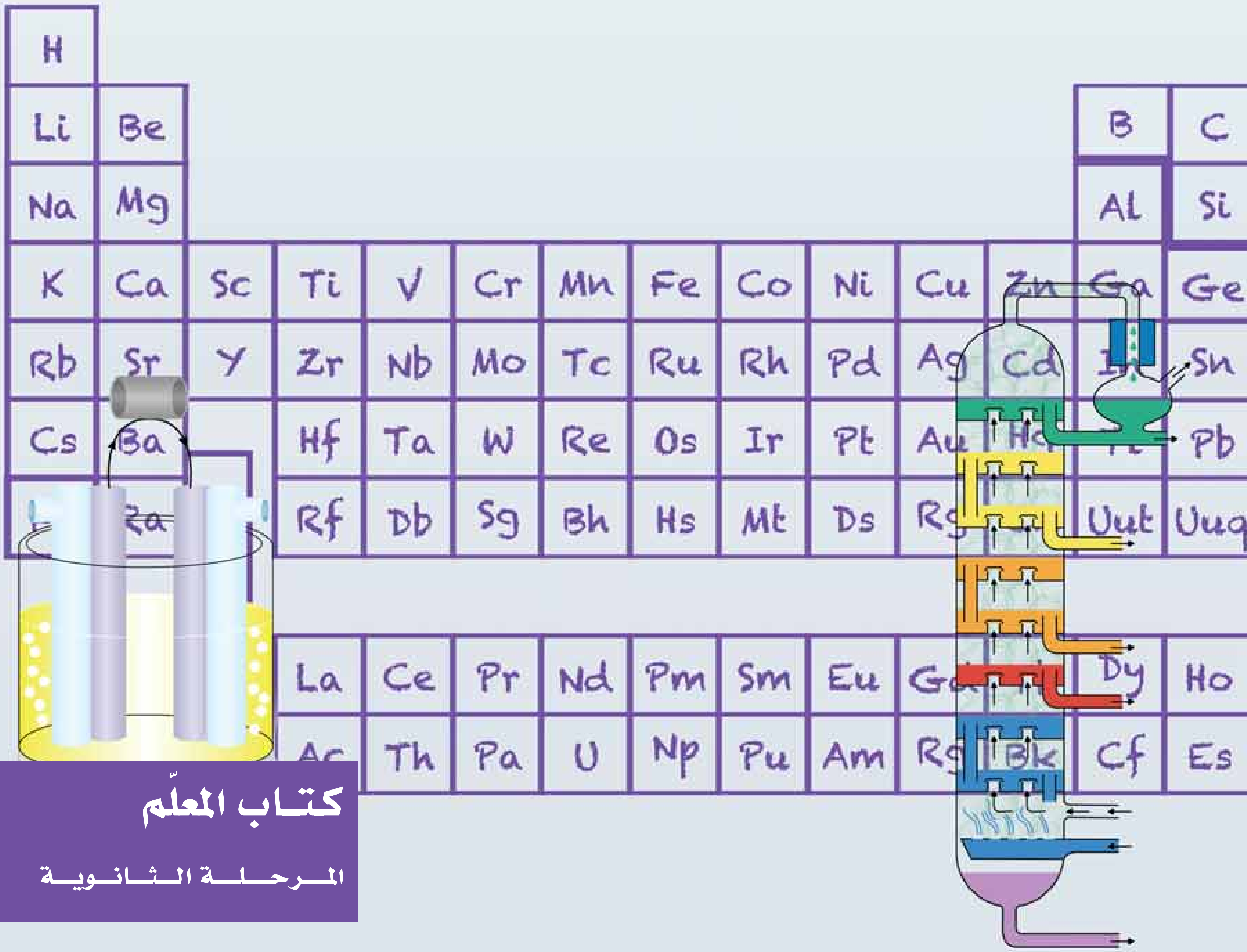
وزارة التربية

الكيمياء 11

الصف الحادي عشر

الجزء الثاني



كتاب المعلّم

المرحلة الثانوية

الكيمياء

كتاب المعلّم

الصفّ الحادي عشر 11

الجزء الثاني

المرحلة الثانويّة

اللجنة الإشرافية لدراسة ومواءمة سلسلة كتب العلوم

أ. برّاك مهدي برّاك (رئيسا)

أ. سعاد عبد العزيز الرشود — أ. مصطفى محمد مصطفى

أ. فتوح عبد اللّٰه طاهر الشمالي — أ. تهاني ذعار المطيري

الطبعة الأولى

1434 - 1435 هـ

2013 - 2014 م

فريق عمل دراسة ومواءمة كتب الكيمياء للصف الحادي عشر الثانوي

أ. محمد عبد اللطيف محمد

أ. أشرف فؤاد نبيل إبراهيم
أ. سوسن أحمد عباس أصفهاني
أ. راوية علي محمد عريان
أ. آلاء محمد جعفر الكندري

دار التَّربَويّون House of Education ش.م.م. وبيرسون إديوكيشن 2013

© جَميع الحقوق مَحفوظة : لا يَجوز نشْر أيّ جُزء من هذا الكِتاب أو تَصويره أو تَخزينه أو تَسجيله بأيّ وَسيلَة دُون مُوَافقَة خطّيَّة مِنَ النّاشِر.

الطبعة الأولى 2014/2013 م

صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح

أمير دولة الكويت

سمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح

ولي عهد دولة الكويت

مقدمـــــة

في ضوء ما شهدته السنوات الأخيرة من طفرة هائلة في المستحدثات التكنولوجية المرتبطة بمجال التعليم، كان على منظومة التعليم بمستوياتها وعناصرها المختلفة بدولة الكويت أن تتأثر بهذا التطور، فحرصت وزارة التربية على تطوير مناهج العلوم والرياضيات لتصبح قادرة على استيعاب المتغيرات التربوية والعلمية الحديثة.

ولما كان من الضروري أن يعايش المتعلم المعلومات المتدفقة من مصادر تعز عن الحصر، وأن يستعد لأداء دور فاعل في أي موقع من مواقع العمل الوطني، ويصنع مع أقرانه حياة الأمن والعزة والنماء، فيتحقق للوطن المكانة التي يرجوها بين دول العالم.

وكان على النظم التعليمية أن تعيد النظر في المناهج لإعداد الأبناء بالكفايات اللازمة والمهارات المتنوعة المستجيبة لكل تغيير في هذه الحياة.

عندئذ كفل المنهج الجديد تغيير دور المتعلم نتيجة لهذه المستحدثات، ليخرج من حيز المتلقي إلى دائرة المتفاعل الناشط، والمشارك في المواقف التعليمية، عندما يبحث ويقارن ويستنبط ويتعامل بنفسه مع المواد التعليمية، حتى يسهم في تحقيق الاكتفاء الذاتي لوطنه اقتصاديًّا واجتماعيًّا وثقافيًّا، وسد حاجاته من العمالة الوطنية في مختلف المجالات.

لقد أتاح المنهج الجديد للعلوم والرياضيات للمتعلم الارتباط بالبيئة من خلال طبيعة الأنشطة التعليمية، واكتساب الطلاب مهارات التعلم الذاتي وغرس حب المعرفة وتحصيلها استجابة لأهداف المنهج الرئيسية.

ولقد انتظم التغيير أهداف المنهج ومحتواه وأنشطته، وطرائق عرضها وتقديمها وأساليب تقويمها، ضمن مشروع التطوير.

وكان اختيار هذه السلسلة من المناهج بصورة تتماشى مع الاتجاهات التربوية الحديثة في التعليم والتعلم، وتراعي المعايير الدولية في تعليم العلوم والرياضيات.

وإذا كانت هذه السلسلة لم تغفل دور ولي الأمر في عملية التعليم، فإنها ركزت على دور المعلم، حيث يسهّل عملية التعليم، لطلابه ويصمم بيئة التعليم، ويشخص مستويات طلابه، وييسر لهم صعوبات المادة العلمية، فتزداد معايير الجودة التعليمية.

والآن نطرح بين أيديكم هذه المجموعة من كتب العلوم والرياضيات الجديدة التي تتضمن كتابًا للمتعلم وآخر للمعلم، وكراسة للتطبيقات، من إعداد ذوي الكفايات العالمية والخبرات المتطورة، أملًا في الوصول إلى الغايات المرجوة من أقرب طريق إن شاء الله.

الوكيل المساعد لقطاع البحوث التربوية والمناهج

أ. مريم محمد الوتيد

المحتويات

الجزء الأوّل

الوحدة الأولى: الإلكترونات في الذرّة

الوحدة الثانية: المحاليل

الوحدة الثالثة: الكيمياء الحرارية

الجزء الثاني

الوحدة الرابعة: الكيمياء الكهربائية

الوحدة الخامسة: المركَّبات الهيدروكربونية

محتويات الجزء الثاني

الوحدة الرابعة: الكيمياء الكهربائية	14
الفصل الأوّل: تفاعلات الأكسدة والاختزال	16
الدرس 1–1: طبيعة الخلايا الإلكتروكيميائية	17
الدرس 1–2: وزن معادلات الأكسدة والاختزال	20
الدرس 1–3: الخلايا الإلكتروكيميائية	26
الفصل الثاني: الخلايا الإلكتروكيميائية: أنصافها وجهودها	33
الدرس 2–1: أنصاف الخلايا وجهود الخلايا	34
الدرس 2–2: الخلايا الإلكتروليتية	41
أسئلة مراجعة الوحدة الرابعة	48
الوحدة الخامسة: المركَّبات الهيدروكربونية	55
الفصل الأوّل: الهيدروكربونات الأليفاتية	57
الدرس 1–1: المركَّبات العضوية	58
الدرس 1–2: الهيدروكربونات المشبَّعة	61
الدرس 1–3: الهيدروكربونات غير المشبَّعة	68
الفصل الثاني: الهيدروكربونات الحلقيّة، الغاز الطبيعي والنفط	73
الدرس 2–1: الهيدروكربونات الحلقيّة	74
الدرس 2–2: الهيدروكربونات المستخرجة من الأرض	78
أسئلة مراجعة الوحدة الخامسة	83

الهدف الشامل للتربية في دولة الكويت

تهيئة الفرص المناسبة لمساعدة الأفراد على النمو الشامل المتكامل روحيًا وخلقيًا وفكريًا واجتماعيًا وجسمانيًا إلى أقصى ما تسمح به استعداداتهم وإمكاناتهم في ضوء طبيعة المجتمع الكويتي وفلسفته وآماله وفي ضوء المبادئ الإسلامية والتراث العربي والثقافة المعاصرة بما يكفل التوازن بين تحقيق الأفراد لذواتهم وإعدادهم للمشاركة البناءة في تقدم المجتمع الكويتي والمجتمع العربي والعالم عامه.

الأهداف العامة لتعليم العلوم

تؤكد أهداف تعليم العلوم في مراحل التعليم العام على تنمية الخبرات المختلفة: الجانب المعرفي والجانب المهاري والجانب الوجداني.

هذا وقد صيغت الأهداف التالية لكي تحقق الجوانب الثلاثة بحيث تساعد المتعلم على:

1. تعميق الإيمان بالله سبحانه وتعالى من خلال تعرفه على بديع صنع الله وتنوع خلقه في الكون والإنسان.
2. استيعاب الحقائق والمفاهيم العلمية، واستخدامها في مواجهة المواقف اليومية، وحل المشكلات، وصنع القرارات.
3. اكتساب بعض مفاهيم ومهارات التقانة بما ينمي لديه الوعي المهني، وحب وتقدير العمل اليدوي، والرغبة في التصميم والابتكار.
4. اكتساب قدر مناسب من المعرفة والوعي البيئي بما يمكنه من التكيف مع بيئته، وصيانتها، والمحافظة عليها، وعلى الثروات الطبيعية.
5. اكتساب قدر مناسب من المعرفة الصحية والوعي الوقائي بما يمكنه من ممارسة السلوك الصحي السليم والمحافظة على صحته وصحة بيئته ومجتمعه.
6. اكتساب مهارات التفكير العلمي وعمليات التعلم وتنميتها وتشجيعه على ممارسة أساليب التفكير العلمي وحل المشكلات في حياته اليومية.
7. تنمية مهارات الاتصال، والتعلم الذاتي المستمر، وتوظيف تقنيات المعلومات ومصادر المعرفة المختلفة.
8. فهم طبيعة العلم وتاريخه وتقدير العلم وجهود العلماء عامه والمسلمين والعرب خاصة والتعرف على دورهم في تقدم العلوم وخدمة البشرية.
9. اكتساب الميول والاتجاهات والعادات والقيم وتنميتها بما يحقق للمتعلم التفاعل الإيجابي مع بيئته ومجتمعه ومع قضايا العلم والتقانة والمجتمع.

الأهداف العامة لتدريس مادّة الكيمياء

يهتم علم الكيمياء بدراسة تركيب الموادّ المختلفة وخواصّها، والتغيرات التي تحدث لهذه الموادّ، وأسباب حدوثها، والطرق والأساليب التي تمكّن الإنسان من الحصول عليها. وعلم الكيمياء له أهمية كبرى في حياتنا اليومية، فهو يبتكر موادّ ومركَّبات تعزّز رُقي الإنسان، وتساعد في تقدّمه ورفاهيّته.

الأهداف المعرفية

يتعرّف المفاهيم، والمبادئ، والحقائق العامة لعلم الكيمياء:

- الإلكترونات في الذرّات، والروابط الكيميائية
- تراكيز المحاليل وخواصها
- الكيمياء الحرارية
- الكيمياء الكهربائية
- المركّبات العضويّة الأليفاتية والعطرية

الأهداف المهارية

1. يكتسب مهارات يدوية تكون حصيلة العمل المخبري.
2. يتبع قواعد السلامة، ويتوخى الدقة والحذر أثناء العمل في مختبر الكيمياء.
3. يكتسب روح التعاون بين الطلاب من خلال العمل المخبري.
4. يكتسب اتجاهًا علميًّا يتميز بسعة الأفق، والموضوعية والعقلانية، واحترام آراء الآخرين، وتقبل وجهات النظر المغايرة المستندة إلى أدلة علمية سليمة، وحب الاستطلاع الموجّه، والتواضع، والأمانة العلمية.
5. يتعرّف خواصّ العلم التجريبي الذي يقوم عليه علم الكيمياء.
6. يكتسب الخطوات المتّبعة في التفكير العلمي، ومن ثم تطبيقها.
7. يكتسب طرق فهم بعض الفرضيات والنظريات، وتحليلها وتطبيقها.
8. يكتسب مهارات عقلية مناسبة: تحليل التفاعلات وتفسيرها، تصميم التجارب، إدراك العلاقات، اقتراح النماذج، حل التمارين، كتابة التقرير العلمي، استخدام الأدوات والموادّ الكيميائية، إجراء التجارب، قياس الوزن، التسجيل الدقيق.

الأهداف الوجدانية (المواقف، والميول، والاتجاهات)

1. يتذوق العلم، ويقدّر جهود العلماء ودورهم في تقدم العلم والإنسانية.
2. يقدّر دور العلماء وإسهاماتهم في تطور علم الكيمياء.
3. يقدّر أثر علم الكيمياء في تطور التقنية، وأثره على تطور المجتمع ورقيه من خلال ملاحظة التطبيقات الحياتية لعلم الكيمياء، وتفاعل المجتمع معها.
4. يكتسب القيم والاتجاهات التالية: الموضوعية، الأمانة العلمية، الاقتصاد، نبذ الخرافات، احترام العمل اليدوي.
5. يقدّر الجهود المبذولة لترشيد استغلال الثروات الطبيعية.
6. يقدّر الأهمية الاقتصادية لبعض الموادّ، وتأثيراتها في الصحة العامة والبيئة.

مخطّط الوحدة الرابعة: الكيمياء الكهربائية

الفصل	الدرس	الأهداف	عدد الحصص	معالم الوحدة
1. تفاعلات الأكسدة والاختزال	1–1 طبيعة الخلايا الإلكتروكيميائية	• تعرّف تفاعلات الأكسدة والاختزال.	2	اكتشف بنفسك: بطارية الليمون
	1–2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال	• استخدام طريقة التغيّر في عدد التأكسد لوزن معادلات تفاعل الأكسدة والاختزال. • تقسيم معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال إلى نصفي تفاعل ثمّ استخدام طريقة عدد التأكسد أو أنصاف التفاعلات لوزن المعادلة.	5	
	1–3 الخلايا الإلكتروكيميائية	• شرح تركيب الخليّة الجافّة والموادّ التي تتأكسد والموادّ التي تختزل. • وصف تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية وتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في ضوء تفاعلات الأكسدة والاختزال.	5	
2. الخلايا الإلكتروكيميائية: أنصافها وجهودها	2–1 أنصاف الخلايا وجهود الخلايا	• تعرّف جهد الخليّة القياسي وجهد الاختزال القياسي. • استخدام جهد الاختزال القياسي لحساب جهد الخليّة القياسي.	4	
	2–2 الخلايا الإلكترولية	• التمييز بين الخليّة الإلكترولية والخليّة الفولتية وتعرّف الاستخدامات الممكنة للخلايا الإلكترولية. • تعرّف نواتج التحليل الكهربائي للماء، لمحلول الملح ولمصهور كلوريد الصوديوم.	3	علاقة الكيمياء بالصناعة: المعالجة بالطريقة الأنودية
حلّ أسئلة مراجعة الوحدة			4	
إجمالي عدد الحصص			23	

الوحدة الرابعة

الكيمياء الكهربائية

مكوّنات الوَحدة

الفصل الأوّل: تفاعلات الأكسدة والاختزال

الدرس 1–1: طبيعة الخلايا الإلكتروكيميائية

الدرس 1–2: وزن معادلات الأكسدة والاختزال

الدرس 1–3: الخلايا الإلكتروكيميائية

الفصل الثاني: الخلايا الإلكتروكيميائية: أنصافها وجهودها

الدرس 2–1: أنصاف الخلايا وجهود الخلايا

الدرس 2–2: الخلايا الإلكتروليتية

مقدمة

تهدف دراستنا للخلايا الإلكتروكيميائية إلى تعرّف معظم جوانب تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تضبط إنتاج الإلكترونات وبالتالي توليد التيّار الكهربائي. سنعالج بعض هذه المواضيع باستخدام بعض التفاعلات التي درسها الطالب في الصفّين التاسع والعاشر.
تتضمّن الوحدة فصلين، سيدرس الطالب في الأوّل مفهوم تفاعل الأكسدة والاختزال من خلال دراسة ما يحصل في خليّة فولتية.
سيدرس، أيضًا، أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال، ووزنها بطريقة عدد التأكسد أو بطريقة أنصاف التفاعلات بحسب المحيط (حمضي أو قاعدي). ومن ثمّ سيتعرّف أنواعًا مختلفة من الخلايا الفولتية. أمّا في الفصل الثاني، فسيدرس الطالب معنى أنصاف الخلايا وجهودها وذلك من خلال دراسة الجهود القياسية للأقطاب المكوّنة للخليّة. يشمل هذا الفصل عرضًا للخلايا الإلكتروكيميائية وتطبيقاتها في تحليل الماء، محلول كلوريد الصوديوم ومصهور كلوريد الصوديوم، وفي عملية الطلاء الكهربائي. تشمل هذه الوحدة بعض التطبيقات، الأمثلة، والتجارب العملية التي تعزّز فهم الطالب للمحتوى.

التعليق على الصورة الافتتاحية للوحدة

اطلب إلى الطلّاب تفحص الصورة الافتتاحية للوحدة، التعليق عليها ووصف ما يرونه فيها. ثم اطلب إليهم تعداد استعمالات ما يرونه في هذه الصورة. **[أجهزة الراديو، آلات تسجيل ...]**
وضّح للطلّاب أنّ الطاقة اللازمة لهذه الاستعمالات مصدرها تفاعلات الأكسدة والاختزال.

الوحدة الرابعة

الكيمياء الكهربائية
Electrochemistry

تبقينا تفاعلات الأكسدة والاختزال على قيد الحياة وهي تحدث في جميع التحوّلات الهامّة التي تستحوذ على الطاقة الشمسية. فالكائنات الحيّة بحاجة إلى الطاقة لكي تنمو وتتكاثر وتضمن لاستمرارها وتحصل عليها من الطاقة الكيميائية المختزَنة في الغذاء والتي مصدرها عملية البناء الضوئي التي تقوم بها الكائنات ذاتية التغذية. تُستَخدم تفاعلات الأكسدة والاختزال، أيضًا، في كثير من الصناعات الكيميائية كاستخراج المعادن من خاماتها وتحويل النفط إلى موادّ بتروكيميائية ومستحضرات طبّية. إلى ذلك، تُعتبر الكيمياء الكهربائية فرع من الكيمياء الفيزيائية وتهتمّ بدراسة التحوّلات الكيميائية التي تُنتج أو تمتصّ تيّارًا كهربائيًّا. ويوضّح استخدام البطاريات الكهربائية تفاعلات الأكسدة والاختزال لتوليد التيّار الكهربائي الذي يمدّ بالطاقة أجهزة الراديو، آلات التسجيل، أجهزة الكمبيوتر المحمولة، الهواتف النقّالة وغيرها.
كيف تولّد هذه التفاعلات الطاقة الكهربائية؟ كيف يمكن زيادة فعالية هذه الطاقة؟ هل يمكن أن تكون صديقة للبيئة؟

اكتشف بنفسك

بطارية الليمون

لإجراء هذا النشاط يجب توافر الموادّ التالية: حبّة ليمون، شريحة نحاس (5 cm × 2 cm)، شريحة خارصين (5 cm × 2 cm)، أسلاك توصيل معدنية، جهاز فولتمتر لقياس الجهد، مصباح كاشف كهربائي.

1. اغرس ما بين 2 cm و 3 cm من شريحة النحاس في حبّة الليمون.
2. اغرس ما بين 2 cm و 3 cm من شريحة الخارصين في حبّة الليمون على بعد حوالى 3 cm من شريحة النحاس على ألّا تتلامسان داخل الحبّة.
3. صِل الشريحتين بالفولتمتر بواسطة أسلاك توصيل معدنية. سجّل قيمة الجهد التي تظهر على الشاشة.
4. صِل مصباح كاشف كهربائي بالشريحتين بواسطة أسلاك معدنية. ماذا تلاحظ؟
5. صِل صمّام ثنائي مشعّ للضوء (LED). سجّل ملاحظتك.

فصول الوحدة

الفصل الأوّل
- تفاعلات الأكسدة والاختزال

الفصل الثاني
- الخلايا الإلكتروكيميائية: أنصافها وجهودها

أهداف الوحدة
- يصف تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية وتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في ضوء تفاعلات الأكسدة والاختزال.
- يشرح تركيب الخليّة الجافّة والموادّ التي تتأكسد والموادّ التي تُختزَل.
- يقسم معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال إلى نصفي تفاعل ثمّ يستخدم طريقة التغيّر في عدد التأكسد أو طريقة أنصاف التفاعلات لوزنها.
- يتعرّف جهد الخليّة القياسي وجهد الاختزال القياسي.
- يستخدم جهد الاختزال القياسي في حساب جهد الخليّة القياسي.
- يميّز بين الخليّة الإلكتروليتية والخليّة الفولتية ويتعرّف الاستخدامات الممكنة للخلايا الإلكتروليتية.
- يتعرّف نواتج التحليل الكهربائي للماء، لمحلول الملح ولمصهور كلوريد الصوديوم.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: بطارية الليمون
علاقة الكيمياء بالصناعة: المعالجة بالطريقة الأنودية

12

إجابة أسئلة مقدّمة الوحدة

[تنتج من التحوّلات الإلكتروكيميائية إلكترونات تسمح بتوليد الطاقة الكهربائية.
من خلال استعمال فلزّات قادرة على توليد طاقة في ظروف تفاعلية مختلفة
نعم، خصوصًا إذا كانت الخلايا قابلة لإعادة الشحن]

اكتشف بنفسك

اطلب إلى الطلّاب تنفيذ هذا النشاط ضمن مجموعات والإجابة عن الأسئلة الواردة في كتاب الطالب

3. ينبغي أن يساوي الجهد حوالى 1 V.
4. يتناقص الجهد بين الشريحتين بسرعة إلى صفر لأنّ الجهد الذي تنتجه هذه البطّارية غير كافٍ لإنارة مصباح.
5. تحتاج هذه المصابيح إلى تيّار قدره 2 mA وجهد قدره 2.3 V لذلك لن تتمكّن بطّارية الليمون من إنارتها.

الأهداف المعرفية

أتوقع أن يكون الطالب قادرًا على أن:

1. يحدّد المفردات والعبارات الكيميائية التالية:

عامل مؤكسد، عامل مختزل، تفاعل أكسدة، تفاعل اختزال، خليّة جلفانية، خليّة فولتية، خليّة جافّة، جسر ملحي، أنود، كاثود، خلايا أوّلية، خلايا ثانوية، المركم الرصاصي، خليّة وقود، عدد التأكسد، الجهد الكهربائي، خليّة إلكتروكيميائية، قطب، تحليل كهربائي، خليّة إلكتروليتية، نصف خليّة، جهد الاختزال، جهد الخليّة القياسي، قطب الهيدروجين القياسي.

2. يتعرّف المفاهيم العلمية التالية:

- كيفية الحصول على المعادلة النهائية لتفاعل أكسدة واختزال.
- استخدام الخلايا الإلكتروكيميائية لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، مثال على ذلك الخلايا الجلفانية وكيفية عملها.
- استخدام الخلايا الإلكتروكيميائية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية مثال على ذلك الخلايا الإلكتروليتية.
- تفسير أنّ الجهد الكهربائي للخليّة الفولتية هو مقياس قدرة الخليّة على إنتاج تيّار كهربائي ينشأ نتيجة التنافس على الإلكترونات بين نصفي الخليّة وهذا ما يسمّى جهد الخليّة.
- التعبير عن جهد الخليّة القياسي E°_{cell} من خلال معرفة $E^{\circ}_{reduction}$ و $E^{\circ}_{oxidation}$.
- شرح سبب استعمال قطب الهيدروجين القياسي لقياس جهود اختزال الخلايا.
- تحديد أنّ نصف الخليّة الذي لديه قيمة موجبة أكبر (أو قيمة سالبة أصغر) لجهد الاختزال هو الذي يحدث عنده الاختزال في الخليّة.
- شرح سبب تلقائية أو عدم تلقائية تفاعل ما من خلال معرفة ما إذا كانت قيمة جهد الخليّة موجبة أو سالبة.
- تفسير استخدام الخليّة الإلكتروليتية في عملية التحليل الكهربائي.
- يشرح عملية الطلاء بالكهرباء ويشير إلى أهمّيتها.

3. يعطي أمثلة عن التطبيقات الحياتية لمفاهيم هذه الوحدة ويفسّرها مثل:

- المركم الرصاصي والخليّة الجافّة مثالان على الخلايا الفولتية التي تنتج تيّارًا كهربائيًا.
- خليّة الوقود تُستخدَم كمصدرٍ إضافي للطاقة في الغوّاصات، والآليات الفضائية العسكريّة.
- إنتاج غاز الهيدروجين والأكسجين من خلال تحليل الماء في خليّة إلكتروليتية.
- إنتاج فلزّ الصوديوم وغاز الكلور في خلال تحليل مصهور كلوريد الصوديوم كهربائيًّا في خليّة إلكتروليتية.
- استخدام التحليل الكهربائي لطلاء أو ترسيب فلزّ على جسم معدني لإضافة قيمة أو للحماية.

الأهداف المهارية

أتوقّع أن يكتسب الطالب المهارات التالية:

- كتابة معادلة تفاعل اختزال ومعادلة تفاعل أكسدة والمعادلة النهائية لتفاعل أكسدة واختزال.
- تحديد إشارة الأنود والكاثود في الخليّة الجلفانية والخليّة الإلكتروليتية.
- كتابة الرمز الاصطلاحي لخليّة جلفانية وتحديد تفاعل الأكسدة والاختزال.
- تحديد ما إذا كان التفاعل تفاعل أكسدة واختزال أم لا.
- استعمال طريقة التغيير في أعداد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال في محيط حمضي أو قاعدي.
- استعمال طريقة أنصاف التفاعلات لوزن معادلات الأكسدة والاختزال في محيط حمضي أو قاعدي.
- تحديد جهد خليّة ما قبل تركيبها استنادًا إلى معرفة مكوّناتها.

الأهداف الانفعالية

أتوقع أن يكتسب الطالب:

1. الاتجاهات التالية:

- الدقّة في حلّ مشكلة أو ظاهرة ما بناءً على مفهومها العلمي.
- إجراء الأنشطة لتوضيح بعض الحقائق العلمية وإثباتها.

2. الميول العلمية المناسبة التالية:

- وضع خرائط للمفاهيم توضّح مفاهيم الوحدة.
- تخصيص ملفّ يجمع فيه الطالب الأبحاث والدراسات التي قام بها في خلال دراسته لهذه الوحدة.

3. أوجه التقدير التالية:

- تقدير الأهمّية الاقتصادية لبعض الموادّ، وتأثيراتها في الصحة العامّة والبيئة.
- تقدير الجهود المبذولة لترشيد استغلال الثروات الطبيعية.
- تقدير جهود العلماء عامّة، وعلماء الكيمياء خاصّةً، وإسهاماتهم.

الفصل الأول

الفصل الأوّل

تفاعلات الأكسدة والاختزال

Redox Reactions

"تستطيع بعض التفاعلات الكيميائية أن تولّد تيّارًا كهربائيًّا كما يستطيع التيّار الكهربائي أن ينتج تفاعلات كيميائية."
شغلت هذه العلاقة بين الطاقة الكهربائية والتفاعلات الكيميائية العلماء على مدى قرون ولكنهم لم يتوصّلوا إلى فهمها إلّا في خلال القرنين الماضيين. وكان ألساندرو فولتا أوّل من أثبت أنّ التيّار الكهربائي ينتج من ربط جسمين معدنيين مختلفين بجسم موصل. واعتُبرت هذه التجربة أولى الخطوات باتجاه اختراع الخلايا الكهربائية.
تستفيد الخلايا من التغيّرات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث فيها لإنتاج الطاقة التي تتعدّد استعمالاتها. ويعتمد الإنسان في اختيار نوع الطاقة المستخدمة على كونها صديقة له وللبيئة وقليلة التكلفة.

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- طبيعة الخلايا الإلكتروكيميائية

الدرس الثاني
- وزن معادلات الأكسدة والاختزال

الدرس الثالث
- الخلايا الإلكتروكيميائية

13

تفاعلات الأكسدة والاختزال

دروس الفصل

الدرس 1–1: طبيعة الخلايا الإلكتروكيميائية

الدرس 1–2: وزن معادلات الأكسدة والاختزال

الدرس 1–3: الخليّة الجافّة

في هذا الفصل، سيدرس الطلّاب الخليّة الفولتية أو الخليّة الجلفانية كي يعمّقوا فهمهم لكيفية تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، من خلال تفاعلات تُسمّى تفاعلات الأكسدة والاختزال.
سيدرسون، أيضًا، طرق وزن مثل هذه التفاعلات في محيط قاعدي وحمضي وأثرها في بناء خلايا متعدّدة التطبيقات.
وسينفّذون، في هذا الفصل، نشاط عملي لتعزيز فهمهم لتفاعلات الأكسدة والاختزال:
- تفاعل بين فلزّ وكاتيون فلزّ آخر.

اختبار المعلومات السابقة لدى الطلاب

- قسّم الطلّاب إلى مجموعتين واكتب على السبّورة تفاعل إحلال ثنائي وتفاعل إحلال أحادي كما يظهر في الجدول التالي:

معادلة التفاعل	المعادلة الأيونية
$2NaI_{(aq)} + Pb(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow PbI_{2(s)} + 2NaNO_{3(aq)}$	$2(Na^+ + I^-)_{(aq)} + (Pb^{2+} + 2NO_3^-)_{(aq)} \rightarrow PbI_{2(s)} + 2(Na^+ + NO_3^-)_{(aq)}$
$Fe_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow FeCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$	$Fe_{(s)} + 2(H^+ + Cl^-)_{(aq)} \rightarrow (Fe^{2+} + 2Cl^-)_{(aq)} + H_{2(g)}$

- كلّف كلّ مجموعة بإكمال الجدول.
- وجّه أسئلة حول المعادلات الواردة فيه التي درسها الطلّاب في وقت سابق، وذلك تمهيدًا للدرس (نوع التفاعل وطريقة كتابة الصيغ والمعادلة الأيونية) مع التشديد على شحنات العناصر وكيفية معرفتها.
- دعهم يلاحظون التغيّر في شحنات الحديد في تفاعل الإحلال الأحادي انطلاقًا من مفهومهم عن الفرق بين الشحنات السالبة والموجبة ويلاحظوا الدليل على حدوث هذا التغيّر.

خلفية علمية

الميول في الجدول الدوري

لقد تعلّمنا سابقًا أنّ استعدادية عنصر ما للتفاعل تُسمّى تفاعلية العنصر وقد توضّحت بعد دراستنا ميول العناصر في الجدول الدوري. تشير هذه الميول إلى أنّ بعض الذرّات تفقد إلكترونًا أو أكثر لتكوّن أيونًا موجبًا بناءً على مفهوم طاقة التأين وهي تمتلك تأثيرًا في ترتيب فلزّات العناصر ودرجة فعاليتها. كما أنّ هنالك ذرّات أخرى تكتسب إلكترونًا أو أكثر لتكون أيونًا سالبًا بناءً على مفهوم الميل الإلكتروني ويمتلك تأثيرًا في توزيع اللافلزّات ودرجة فعاليتها.

الأهداف:
- تعرّف تفاعلات الأكسدة والاختزال

صفحات الطالب: من ص 14 إلى ص 16

عدد الحصص: 2

الأدوات المستعملة: جهاز عرض، سلسلة النشاط الكيميائي للفلزّات

1. قدِّم وحفِّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلاب يتفحصّون الصورة الافتتاحية للدرس ويقرؤون الفقرة المرافقة لها. وضِّح للطلاب أنّ بعض الفلزّات من مثل الحديد تكتسي بطبقة حمراء داكنة تُسمّى الصدأ عند تعرّضها للهواء الرطب. تتكوّن هذه الطبقة من أكسيد الحديد III Fe_2O_3 ويُشكّل أكسيد الحديد III مادّة مسامية منفذة للهواء وقابلة للتفتيت. لذلك يتآكل الحديد شيئًا فشيئًا حتّى يتحوّل كليًّا إلى أكسيد الحديد III كما توضِّح المعادلة التالية:

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)}$$

توضِّح المعادلة أنّ الأكسجين الموجود في الهواء الرطب يؤدّي الدور الأساسي في هذا التفاعل. أشر للطلاب أنّ هذا التفاعل يُسمّى أيضًا تفاعل أكسدة وأنّه تفاعل بطيء.

وجّه إلى الطلّاب السؤال التالي:

هل يمكن حماية الحديد من الصدأ؟ كيف؟

نعم. لوقاية الحديد من التآكل (الأكسدة) يُكسى بطبقة من مادّة غير منفذة للهواء من مثل الدهان أو الفلزّات التي لا تتأثّر بالهواء الرطب كالخارصين، القصدير والنيكل.

2. علِّم وطبِّق

1.2 مناقشة

وضِّح أنّ معادلة تفاعل الخارصين والنحاس النهائية تظهر انتقال الإلكترونات من ذرّات الخارصين إلى كاتيونات النحاس. ويعدّ هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال.

استعن بالشكل (2) لتوضِّح للطلّاب أنّ أيونات النحاس تُستبدل في المحلول تدريجيًّا بأيونات الخارصين فيختفي لون المحلول الأزرق وأنّ بإمكانهم الاعتماد على ذلك، لتمثيل نصفي التفاعل الموزونين (الأكسدة والاختزال).

الدرس 1-1 طبيعة الخلايا الإلكتروكيميائية

Nature of Electrochemical Cells

الأهداف العامة
- يتعرّف تفاعلات الأكسدة والاختزال.

شكل (1)

ينتج الصدأ الواضح على هذه الشاحنة من تفاعل أكسدة واختزال عند تعرّضها للماء والهواء معًا.

تحظى العمليات الإلكتروكيميائية بأهمّية علمية في الكيمياء وفي الحياة اليومية إذ تدخل في عمليات مألوفة كثيرة مثل استخلاص الفلزّات من خاماتها وتآكل المعادن (شكل 1). نذكر من استخداماتها، أيضًا، الطلاء بالكهرباء الذي يُستعمل في طلاء الأدوات المنزلية وقطع السيارات لحمايتها من الصدأ الذي يكلّف العالم مليارات الدولارات سنويًّا.

تمدّنا الخلايا الإلكتروكيميائية بمعلومات حول البيئة الكيميائية والطاقة اللازمة لحدوث العديد من تفاعلات الأكسدة والاختزال المهمّة.

وساعدت المعرفة الإلكتروكيميائية العلماء في صنع ما يلزم من أجهزة حديثة لإجراء الأبحاث الطبية الحيوية وتحليل التلوّث.

1. تفاعلات الأكسدة والاختزال

Redox Reactions

عند غمر شريحة خارصين في محلول مائي من كبريتات النحاس (II) أزرق اللون (شكل 2)، يمكن تسجيل الملاحظات التالية:
- تتكوَّن طبقة لونها بنّي غامق على سطح شريحة الخارصين.

14

2.2 استخدام وسيلة مرئية

اعرض على الطلّاب سلسلة توضّح النشاط الكيميائي للفلزّات مقارنةً بالهيدروجين. مستخدمًا جهاز عرض واطلب إليهم تحديد موضع الخارصين والنحاس.

K	بوتاسيوم
Na	صوديوم
Ca	كالسيوم
Mg	مغنيسيوم
Al	ألمنيوم
Zn	خارصين
Fe	حديد
Sn	قصدير
Pb	رصاص
H_2	هيدروجين
Cu	نحاس
Hg	زئبق
Ag	فضّة
Au	ذهب

وجِّه إلى الطلّاب السؤالين التاليين:

- علامَ يدلّ وجود الخارصين في موضع أعلى من النحاس؟
  [الخارصين أكثر نشاطًا من النحاس.]
- هل يمكن تفسير حلول كاتيونات الخارصين محلّ كاتيونات النحاس في النشاط السابق؟ [تأكسد فلزّ الخارصين في وجود كاتيونات النحاس لأنّه أكثر نشاطًا]

ساعد الطلّاب على استنتاج أن الفلزّات الأكثر نشاطًا كيميائيًّا (أي الأعلى في السلسلة) أكثر استعدادًا للأكسدة. ثمّ اطلب إلى الطلّاب تحديد الفلزّ الأكثر نشاطًا والفلزّ الأقل نشاطًا. [البوتاسيوم هو الفلزّ الأكثر نشاطًا والذهب هو الفلزّ الأقل نشاطًا.]

اسأل الطلّاب: بناء على معلوماتكم حول سلسلة نشاط الفلزّات، ماذا يحدث إذا عكسنا الوضع في النشاط السابق فوضعنا شريحة من النحاس في كأس يحتوي على محلول كبريتات الخارصين؟
[لا يُطلى النحاس تلقائيًّا بطبقة من الخارصين أي لا يترسّب على النحاس طبقة من الخارصين لأنّ النحاس لا يتأكسد بواسطة كاتيونات الخارصين.]

- اسألهم: هل يستطيع أحدكم تعريف الكهرباء؟
  [سيلان الإلكترونات في موصل]

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلاب للدرس

لتقييم استيعاب الطلاب لتفاعلات الأكسدة والاختزال وعمل الخليّة الجلفانية، وجِّه إليهم الأسئلة التالية:

- اطلب إلى الطلّاب إعطاء أمثلة على تفاعلات أكسدة واختزال وعلى استخداماتها. [عملية الطلاء بالكهرباء لحماية الأدوات المنزلية من الصدأ، استخراج المعادن من خاماتها ...]

- يبهت لون المحلول الأزرق تدريجيًّا حتّى يختفي كليًّا بعد بضع ساعات.
- يتآكل سطح شريحة الخارصين.

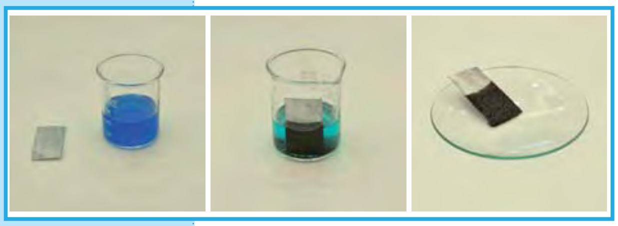
يدلّ تكوّن طبقة بنّية اللون من ذرّات النحاس Cu على تحوّل كاتيونات النحاس Cu^{2+} إلى ذرّات نحاس Cu. يحدث هذا التحوّل عندما يكتسب كاتيون النحاس إلكترونين اثنين كما توضّح المعادلة الإلكترونية التالية:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$$

يشير اكتساب كاتيون النحاس للإلكترونين إلى أنّه عامل مؤكسد Oxidizing Agent. وتسمّى عملية اكتساب الإلكترونات بالاختزال Reduction.

الاختزال يتمّ لكلّ مادّة تكتسب إلكترونات ويحدث لها نقص في عدد التأكسد، كما توضّح المعادلات التالية:

$$Cl_{2(g)} + 2e^- \rightarrow 2Cl^-_{(aq)}$$
$$S^-_{(aq)} + 1e^- \rightarrow S^{2-}_{(aq)}$$
$$Fe^{3+}_{(aq)} + 1e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$$



شكل (2)
تفاعل الأكسدة والاختزال بين ذرّات الخارصين وكاتيونات النحاس

يتناقص تركيز كاتيونات النحاس Cu^{2+} في المحلول بفعل تحوّلها إلى ذرّات نحاس Cu. نتيجة لذلك، يبهت لون المحلول الأزرق إلى أن يختفي بسبب تفاعل كاتيونات النحاس كلّها.

من أين اكتسبت كاتيونات النحاس الإلكترونات؟

يدلّ تآكل سطح شريحة الخارصين على أنّ بعض ذرّات الخارصين Zn قد تفاعلت وفقد كلّ منها إلكترونين فتحوّلت إلى كاتيونات الخارصين Zn^{2+}.

بعد انتهاء التفاعل (اختفاء اللون الأزرق من المحلول) يمكن إضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم، قطرة بعد قطرة، إلى المحلول الناتج، فيتكوّن راسب أبيض من هيدروكسيد الخارصين $Zn(OH)_2$. يثبت هذا الاختبار وجود كاتيونات الخارصين Zn^{2+} في المحلول الناتج.

15

- اكتب تفاعلي أكسدة واختزال واطلب إلى الطلّاب أن يفرّقوا بينهما وأن يشيروا إلى العامل المختزل والعامل المؤكسد.
[تفاعل الاختزال هو تفاعل تكتسب فيه الذرّة أو الأيون إلكترونًا أو أكثر وتُسمّى عاملًا مؤكسدًا وتفاعل الأكسدة هو تفاعل تفقد فيه الذرّة أو الأيون إلكترونًا أو أكثر وتُسمّى عاملًا مختزلًا.]

2.3 إعادة التعليم

قسّم الطلّاب إلى مجموعات صغيرة وارسم على السبّورة الجدول التالي:

الفلزّ	المحلول (يحتوي على كاتيون فلزّي)	الفلزّ الناتج	الكاتيون الناتج
$Fe_{(s)}$	$Cu^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{4\,(aq)}$	$Cu_{(s)}$	$Fe^{2+}_{(aq)}$
$Al_{(s)}$	$Fe^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{4\,(aq)}$	$Fe_{(s)}$	$Al^{3+}_{(aq)}$
$Cu_{(s)}$	$Ag^{+}_{(aq)} + NO^{-}_{3\,(aq)}$	$Ag_{(s)}$	$Cu^{2+}_{(aq)}$

وجّه إلى الطلّاب الأسئلة التالية:

1. اكتبوا المعادلة الإلكترونية التي توضّح الأكسدة والاختزال في كلّ من التفاعلات التي يوضّحها الجدول واستنتجوا العامل المؤكسد والعامل المختزل.

[Fe مع Cu^{2+}

أكسدة $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$ — $Fe_{(s)}$ عامل مختزل

اختزال $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$ — $Cu^{2+}_{(aq)}$ عامل مؤكسد

Al مع Fe^{2+}

أكسدة $Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$ — $Al_{(s)}$ عامل مختزل

اختزال $Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ — $Fe^{2+}_{(aq)}$ عامل مؤكسد

Cu مع Ag^+

أكسدة $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$ — $Cu_{(s)}$ عامل مختزل

اختزال $Ag^{+}_{(aq)} + 1e^- \rightarrow Ag_{(s)}$ — $Ag^{+}_{(aq)}$ عامل مؤكسد]

2. اكتبوا المعادلة التي توضّح تفاعل الأكسدة والاختزال.

$Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$]

$2Al_{(s)} + 3Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Fe_{(s)}$

[$Cu_{(s)} + 2Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$

إجابات أسئلة الدرس 1–1

1. يشير اكتساب كاتيون الفلزّ إلكترونات على أنّه اختزل وتسمى هذه العملية بعملية الاختزال.
2. عملية أكسدة واختزال لها أثر إيجابي:
الطلاء بالكهرباء يحمي الأدوات المنزلية من الصدأ.
عملية أكسدة واختزال لها أثر سلبي:
صدأ القطع الحديدية في السيّارات يسبّب اهترائها.

توضّح المعادلة الإلكترونية التالية كيفية تحوّل ذرّات الخارصين إلى كاتيونات الخارصين Zn^{2+}.

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

فقدت ذرّة الخارصين إلكترونين ما يدلّ على أنّ الخارصين عامل مختزل Reducing Agent. وتسمّى عملية فقد الإلكترونات الأكسدة Oxidation.
الأكسدة تتمّ لكلّ مادّة تفقد إلكترونات وتحدث لها زيادة في عدد التأكسد، كما توضّح المعادلات التالية:

$$Na_{(s)} \rightarrow Na^{+}_{(aq)} + 1e^-$$
$$Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + 1e^-$$
$$S^{-}_{(aq)} \rightarrow S_{(s)} + 1e^-$$

استنتاج: يتبادل الخارصين وكاتيونات النحاس الإلكترونات في خلال هذا التفاعل الذي يُسمّى تفاعل أكسدة واختزال.
نحصل، بجمع معادلتي الأكسدة والاختزال، على معادلة التفاعل الذي حدث بين الخارصين وكاتيونات النحاس.

(اختزال) $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

(أكسدة) $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

$$Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

ملاحظة: تشكّل المعادلات التي توضّح نصفي تفاعل الاختزال والأكسدة وسيلة لإظهار تبادل الإلكترونات بين العامل المختزل والعامل المؤكسد لا أكثر ولا يمكن أن تتواجد إحداهما من دون الأخرى في الحالة المستقرّة في محلول مائي. توضّح المعادلة النهائية التفاعل الذي حدث في الواقع.

مراجعة الدرس 1–1

1. إلامَ يشير اكتساب كاتيون الفلزّ إلكترونات؟ وماذا تُسمَّى هذه العملية؟
2. نصادف الكثير من عمليات الأكسدة والاختزال في حياتنا اليومية. اذكر بعض هذه العمليات مبيّنًا أثرها الإيجابي أو السلبي.

الدرس 2-1

وزن معادلات الأكسدة والاختزال

صفحات الطالب: من ص 17 إلى ص 29

صفحات الأنشطة: من ص 15 إلى ص 17

عدد الحصص: 5

الأهداف:

- يستخدم طريقة التغيّر في عدد التأكسد لوزن معادلات تفاعل الأكسدة والاختزال.
- يقسم معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال إلى نصفي تفاعل ثمّ يستخدم طريقة عدد التأكسد أو أنصاف التفاعلات لوزن المعادلة.

الأدوات المستعملة: الموادّ المطلوبة في النشاط 1.2

1. قدّم وحفّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلّاب يتفحّصون الصورة الافتتاحية للدرس ويقرؤون الفقرة المرافقة لها. اسأل الطلّاب ما إذا كانت المعادلات الواردة فيها تُمثّل تفاعلات أكسدة واختزال.

دع الطلّاب يتذكّرون ما يعرفونه عن عملية البناء الضوئي، واكتب على السبّورة معادلته الكيميائية ثمّ اسألهم: هل هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال؟

تقبّل جميع الإجابات المنطقية وفسّر أنّ تحديد ما إذا كان التفاعل تفاعل أكسدة واختزال ممكن من خلال ملاحظة تغيير عدد التأكسد.

2.1 اختبار المعلومات السابقة لدى الطلاب

لتقييم المعلومات السابقة لدى الطلّاب حول أنواع التفاعلات الكيميائية، اكتب معادلة تمثّل تفاعل من كلّ نوع ثمّ اطلب إلى الطلّاب تحديد تفاعلات الأكسدة والاختزال.

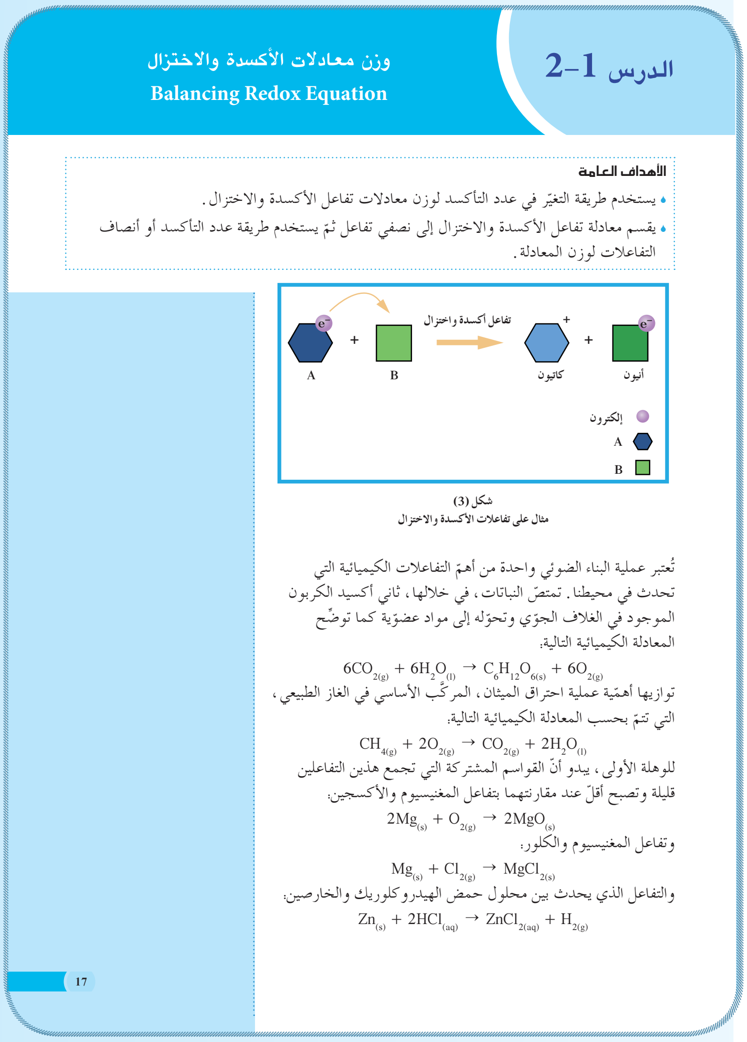
تفاعل تكوين: $Fe + S \rightarrow FeS$ [تفاعل أكسدة واختزال]

تفاعل انحلال: $2H_2O \rightarrow O_2 + 2H_2$ [تفاعل أكسدة واختزال]

تفاعل حمض مع قاعدة (تفاعل إحلال مزدوج):

$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$ [ليس تفاعل أكسدة واختزال]

تفاعل إحلال مفرد: $Fe + CuSO_4 \rightarrow FeSO_4 + Cu$ [تفاعل أكسدة واختزال]


الدرس 2-1

وزن معادلات الأكسدة والاختزال

Balancing Redox Equation

الأهداف العامة

- يستخدم طريقة التغيّر في عدد التأكسد لوزن معادلات تفاعل الأكسدة والاختزال.
- يقسم معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال إلى نصفي تفاعل ثمّ يستخدم طريقة عدد التأكسد أو أنصاف التفاعلات لوزن المعادلة.

شكل (3)

مثال على تفاعلات الأكسدة والاختزال

تُعتبر عملية البناء الضوئي واحدة من أهمّ التفاعلات الكيميائية التي تحدث في محيطنا. تمتصّ النباتات، في خلالها، ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوّي وتحوّله إلى مواد عضوّية كما توضّح المعادلة الكيميائية التالية:

$$6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \rightarrow C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)}$$

توازيها أهمّية عملية احتراق الميثان، المركّب الأساسي في الغاز الطبيعي، التي تتمّ بحسب المعادلة الكيميائية التالية:

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

للوهلة الأولى، يبدو أنّ القواسم المشتركة التي تجمع هذين التفاعلين قليلة وتصبح أقلّ عند مقارنتهما بتفاعل المغنيسيوم والأكسجين:

$$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$$

وتفاعل المغنيسيوم والكلور:

$$Mg_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow MgCl_{2(s)}$$

والتفاعل الذي يحدث بين محلول حمض الهيدروكلوريك والخارصين:

$$Zn_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow ZnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

17

2. علِّم وطبّق

1.2 نشاط

اعتاد الطلّاب ملاحظة تحوّل لون شرائح البطاطا أو التفّاح إلى بنّي عند تعرّضها للأكسجين بفعل عملية الأكسدة التي يحفّزها وجود أنزيمات في الطعام.
اشرح أنّ منع عملية الأكسدة أو تخفيف سرعتها ممكن. فسّر أن القشرة الخارجية تمثّل حاجزًا فيزيائيًا طبيعيًا للأكسجين. أمّا الحماية الكيميائية فتتمثّل باستعمال مضادّات الأكسدة، كعصير الليمون، التي تعمل بمثابة عوامل مختزلة وتوقف عمل الأنزيمات.
قسّم الطلّاب إلى مجموعات ووزّع على كلّ مجموعة ما يلي:
تفّاحة وبطاطا، ورق لاصق، مناديل ورقية، كأس ماء سبق غليه لطرد معظم الأكسجين الذائب فيه، كأس مياه غازيّة، كؤوس فيها محاليل سكّر وملح وخلّ كلّ على حدة.
دع الطلّاب يقصّون البطاطا والتفّاح شرائحًا ويغمرون بسرعة شريحة في كلّ كأس مع وضع ورقة لاصقة لتحديد المحلول.
اطلب إليهم إخراج الشّرائح بعد غمرها لعدّة دقائق ووضعها على مناديل ورقية وملاحظة أيّ من الشرائح سوف يتغيّر لونها. دعهم يحدّدون أيّ من السوائل السابقة تؤمّن أحسن وقاية ضدّ عملية الأكسدة. اطلب إليهم أن يجروا بحثًا أو يكتبوا تقريرًا يفسّر هذه النتائج وأن يعرضوه أمام زملائهم.

2.2 مناقشة

اكتب على السبّورة المعادلتين الكيميائيتين:

$$2HCl + Fe \quad FeCl_2 + H_2$$

$$HCl + NaOH \quad NaCl + H_2O$$

دع الطلّاب يحدّدون عدد تأكسد كلّ الذرّات في مركّباتها لكلتا المعادلتين.
دعهم يستنتجون أنّ المعادلة التي تُظهِر تغيّرًا في عدد التأكسد هي معادلة أكسدة واختزال.

[

أكسدة

$$\overset{+1\,-1}{2HCl} + \overset{0}{Fe} \longrightarrow \overset{+2\,-1}{FeCl_2} + \overset{0}{H_2}$$

اختزال

تفاعل أكسدة واختزال

$$\overset{+1-1}{HCl} + \overset{+1\,-2+1}{NaOH} \qquad \overset{+1\,-1}{NaCl} + \overset{+1\,-2}{H_2O}$$

ليس تفاعل أكسدة واختزال

]

مع ذلك، تنتمي هذه التفاعلات كلّها إلى المجموعة نفسها وهي أمثلة على تفاعلات أكسدة واختزال (شكل 3).
سوف نناقش في هذا الدرس طرقًا عملية تسمح بتعرّف تفاعلات الأكسدة والاختزال وبوزن معادلاتها.

1. تعرّف تفاعلات الأكسدة والاختزال بواسطة عدد التأكسد

Identifying Redox Reactions Using the Oxidation Number

يمكن تقسيم جميع التفاعلات الكيميائية بصفة عامة إلى قسمين. يشمل الأوّل تفاعلات الأكسدة والاختزال، التي يحدث فيها انتقال إلكترونات من أحد المتفاعلات إلى الآخر، في حين يشمل الثاني جميع التفاعلات الأخرى التي لا يحدث فيها انتقال إلكترونات. على سبيل المثال، تفاعلات الإحلال المزدوج (الترسيب) وتفاعلات الأحماض والقواعد ليست تفاعلات أكسدة واختزال، على عكس الكثير من تفاعلات الإحلال المفرد وتفاعلات التحلّل وتفاعلات الاحتراق.
يمكن التمييز بين تفاعلات الأكسدة والاختزال وبين غيرها من التفاعلات من خلال تغيّر عدد التأكسد للعنصر نفسه بين الموادّ المتفاعلة والموادّ الناتجة باتباع الخطوات التالية:

- تحديد عدد التأكسد لكلّ عنصر في المعادلة (جدول 1).
- ملاحظة أيّ تغيّر في عدد التأكسد:
  – إذا زاد عدد التأكسد يكون العنصر عاملًا مختزلًا تعرّض لأكسدة.
  – إذا نَقُص عدد التأكسد يكون العنصر عاملًا مؤكسدًا تعرّض لاختزال.

مثال على ذلك، تغيّر عدد تأكسد الصوديوم والكلور في التفاعل الكيميائي التالي:

$$\overset{0}{2Na_{(s)}} + \overset{0}{Cl_{2(g)}} \longrightarrow \overset{+1\,-1}{2NaCl_{(s)}}$$

نلحظ زيادة عدد تأكسد الصوديوم من (0) إلى (+1) أي أنّ الصوديوم تأكسد وتناقص عدد تأكسد الكلور من (0) إلى (−1) أي أنّ الكلور اختُزِل. وبالتالي يُعتبر هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال.

قواعد حساب عدد التأكسد	قيمة عدد التأكسد
عدد تأكسد العناصر القلوية في المركّبات Na ، Li ، K	+1
عدد تأكسد العناصر القلوية الأرضية في المركّبات Mg ، Ca	+2
عدد تأكسد Al في المركّبات	+3
عدد تأكسد S مع الفلزّات أو الهيدروجين	−2
عدد تأكسد I ، Br ، Cl في المركّبات (ما عدا مع الأكسجين أو الفلور)	−1
عدد تأكسد F في جميع المركّبات	−1
عدد تأكسد O في معظم المركّبات	−2
عدد تأكسد O في فوق الأكاسيد	−1
عدد تأكسد H مع الفلزّ (في هيدريدات الفلزّات)	−1
عدد تأكسد NO_3^- ، OH^-	−1
عدد تأكسد NH_4^+	+1
عدد تأكسد CO_3^{2-} ، SO_4^{2-}	−2
عدد تأكسد H_2O ، NH_3 (مركّبات متعادلة)	صفر

جدول (1)
أعداد التأكسد

18

مثال (1)

وضّح ما إذا كان التفاعلان التاليان تفاعلي أكسدة واختزال:
(أ) $HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$
(ب) $2HCl_{(aq)} + Fe_{(s)} \rightarrow FeCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: صمِّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.
يجب تحديد أعداد التأكسد لكلّ من عناصر المعادلة الكيميائية، وملاحظة ما إذا حدث أيّ تغيّر.
2. حلّ: طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.

(أ) $$\overset{+1\,-1}{HCl_{(aq)}} + \overset{+1\,-2\,+1}{NaOH_{(aq)}} \longrightarrow \overset{+1\,-1}{NaCl_{(aq)}} + \overset{+1\,-2}{H_2O_{(l)}}$$

لم يتغيّر عدد تأكسد أيّ من العناصر ما يعني أنّ هذا التفاعل ليس تفاعل أكسدة واختزال.

(ب) $$\overset{+1\,-1}{2HCl_{(aq)}} + \overset{0}{Fe_{(s)}} \longrightarrow \overset{+2\,-1}{FeCl_{2(aq)}} + \overset{0}{H_{2(g)}}$$

زاد عدد تأكسد عنصر الحديد أي أنّ الحديد تأكسد. في حين نَقُص عدد تأكسد الهيدروجين أي أنّ الهيدروجين قد اختُزل. وبالتالي هذا التفاعل هو تفاعل أكسدة واختزال.
3. قيّم: هل النتيجة لها معنى؟
المثال (أ) هو تفاعل إحلال مزدوج وهذا النوع من التفاعلات لا ينتمي إلى فئة تفاعلات الأكسدة والاختزال.
أمّا المثال (ب) فهو تفاعل إحلال مفرد وهذا النوع من التفاعلات ينتمي إلى فئة تفاعلات الأكسدة والاختزال.

ثمّة موادّ يمكن، في آن واحد، أن تكون عاملًا مؤكسدًا وعاملًا مختزلًا أو أن تُختزَل وتتأكسد. نذكر منها فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) الذي يحتوي على أنيون الأكسيد (O_2^{2-}) ويساوي عدد تأكسده (−1). تُظهِر دراسة عملية تفكّك هذا المركّب إلى أكسجين وماء، بملاحظة تغيّر عدد تأكسده، أنّه يؤدّي دور العامل المؤكسد والعامل المختزل في آن معًا.

تفاعل أكسدة

$$\overset{-1}{2H_2O_{2\,(aq)}} \longrightarrow \overset{-2}{2H_2O_{(l)}} + \overset{0}{O_{2\,(g)}}$$

تفاعل اختزال

19

3.2 مناقشة

وضِّح للطلاب أنّ الإلكترونات لا تختفي ولا تتواجد من تلقاء نفسها. لذلك، عندما يتأكسد عنصر ما يجب بالمقابل أن يُختزَل عنصر آخر مشارك في التفاعل. وجّه إلى الطلاب السؤال التالي:

- هل يمكن لنفس العنصر في تفاعل ما أن يتأكسد ويُختزَل في خلال تفاعل أكسدة واختزال؟ [نعم]

أشر إلى أن هيبوكلوريت الصوديوم هو مرّكب كيميائي صيغته الجزيئية NaClO، ويمتاز بخواصّه المعقّمة والمبيِّضة.
يُعرَف هيبوكلوريت الصوديوم باسم "ماء جافيل" وقد أكتشفه الفرنسي كلود لويس برتولي (1784 – 1822) في العام 1755 وأسماه "ماء جافيل".
تُعتبَر معالجة هيدروكسيد الصوديوم بغاز الكلور أكثر طريقة شيوعًا لتحضير هيبوكلوريت الصوديوم. توضّح المعادلة التالية طريقة تحضيره.

$$NaOH_{(aq)} + Cl_{2\,(g)} \rightarrow NaClO_{(aq)} + NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

أشر إلى أنّ هذه المعادلة غير موزونة واطلب إليهم أن يستعينوا بخطوات الوزن بطريقة أعداد التأكسد لوزنها. اطلب إلى الطلّاب أن يحدِّدوا أعداد تأكسد كلّ العناصر الواردة في المعادلة.

$$\overset{+1-2+1}{[NaOH_{(aq)}} + \overset{0}{Cl_{2\,(g)}} \rightarrow \overset{+1+1-2}{NaClO_{(aq)}} + \overset{+1\ -1}{NaCl_{(aq)}} + \overset{+1\ -2}{H_2O_{(l)}]}$$

دع الطلّاب يشيرون إلى العامل المؤكسد والعامل المختزل.

[عنصر الكلور في الموادّ المتفاعلة يحدث له تأكسد واختزال.

$$Cl \rightarrow Cl^{+} + 1e^{-}$$

$$[Cl + 1e^{-} \rightarrow Cl^{-}$$

اطلب إلى الطلّاب كتابة المعادلة الموزونة. (بما أنّ عدد الإلكترونات المتبادلة هو 1، اطلب إلى الطلّاب التأكّد من وزن المعادلة من حيث الذرّات والشحنة.)

$$[2NaOH_{(aq)} + Cl_{2\,(g)} \rightarrow NaClO_{(aq)} + NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}]$$

4.2 مناقشة

ناقش مع الطلّاب كيفية وزن معادلات تفاعلات الأكسدة والاختزال بطريقة أنصاف التفاعلات. وضِّح لهم أنّ هذه الطريقة تفترض تقسيم التفاعل إلى خطوتين منفصلتين تحدثان في آن معًا وبالتالي فإنّ التفاعل النهائي هو مجموع نصفي التفاعل أي تفاعل الأكسدة وتفاعل الاختزال.
نوّه أيضًا بأنّ تفاعلات الأكسدة تتضمّن خسارة إلكترونات تُمثَّل بكتابة عدد الإلكترونات المفقودة على الجهة اليمنى من المعادلة.
يقابلها في تفاعلات الاختزال اكتساب إلكترونات يُمثَّل بكتابة عدد الإلكترونات المُكتسَبة على الجهة اليسرى.

5.2 مناقشة [يجري الطالب نشاط (1) ص (15)]

ناقش مع الطلّاب خطوات وزن المعادلة بطريقة أنصاف التفاعلات المذكورة في كتاب الطالب ص 23 واعرض أمثلة عدّة حتى تضمن استيعابهم لها.
شدّد على اختلاف طريقة وزن المعادلات بحسب الوسط الذي يحدث فيه التفاعل (حمضي أو قاعدي). اسأل الطلّاب: كيف تختلف الطريقة باختلاف الوسط؟

2. وزن معادلات الأكسدة والاختزال
Balancing Redox Equations

لا تختفي الإلكترونات ولا تتواجد من تلقاء نفسها. لذلك، عندما يتأكسد عنصر ما يجب، بالمقابل، أن يُختزَل عنصر آخر مشارك بالتفاعل.
بالفعل، الإلكترونات التي تُفقَد في خلال تفاعل الأكسدة يجب أن تُكتَسب في خلال تفاعل الاختزال بما أنّ الشحنة الكلّية للموادّ المتفاعلة تساوي الشحنة الكلّية للموادّ الناتجة.
توضِّح المعادلة التالية أكسدة عنصر النحاس Cu وتحوّله إلى كاتيون النحاس Cu^{2+}(II) بواسطة كاتيون الفضّة Ag^{+}.

$$Cu_{(s)} + Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + Ag_{(s)}$$

للوهلة الأولى، تبدو المعادلة موزونة لأنّ عدد ذرّات كلّ عنصر متساو في جهتي المعادلة. إلّا أنّ كلّ ذرّة نحاس قد فقدت إلكترونين فيما اكتسبت ذرّة الفضّة إلكترونًا واحدًا. لوزن عدد الإلكترونات علينا وزن الشحنة بإضافة المعامل 2 أمام كاتيون الفضّة Ag^{+} وكذلك أمام ذرّة الفضّة Ag.

$$Cu_{(s)} + 2Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$$

بعض معادلات تفاعلات الأكسدة والاختزال بسيطة كالمعادلة السابقة والبعض الآخر معقّد، كالمعادلات التي تتضمّن أنيونات فيها ذرّات أكسجين، ويحتاج إلى طرق وزن خاصّة.
ثمّة طريقتان لوزن معادلات الأكسدة والاختزال:

- طريقة أعداد التأكسد Oxidation Number Method
- طريقة أنصاف التفاعلات (أيون – إلكترون)
  Half–Reactions Method (Ion – Electron Method)

1.2 وزن المعادلات بطريقة أعداد التأكسد
Balancing Equations Using Oxidation Numbers

خطوات وزن معادلة الأكسدة والاختزال بطريقة أعداد التأكسد تتمّ بمقارنة الزيادة والنقص في أعداد التأكسد كما هو موضّح في المثال التالي لاختزال خام الحديد.

$$Fe_2O_{3(s)} + CO_{(g)} \rightarrow Fe_{(s)} + CO_{2(g)}$$ (معادلة غير موزونة)

الخطوة الأولى: حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرّات في المعادلة (كتابة الأعداد فوق الذرّات):

$$\overset{+3\ -2}{Fe_2O_{3(s)}} + \overset{+2-2}{CO_{(g)}} \longrightarrow \overset{0}{Fe_{(s)}} + \overset{+4-2}{CO_{2(g)}}$$

20

وخذ في الاعتبار أنّ عدد التأكسد المذكور هو شحنة كلّ ذرّة فبالرغم من أنّ الشحنة الموجبة الكلّية للحديد Fe في المركَّب Fe_2O_3 تساوي (6+)، يساوي عدد تأكسد كلّ ذرّة Fe (3+).
الخطوة الثانية: حدّد الذرّات التي تأكسدت وتلك التي اختُزِلت. في هذا التفاعل، نقُص عدد تأكسد الحديد من (3+) إلى صفر أي أن الحديد قد اختُزل. في حين، زاد عدد تأكسد الكربون من (2+) إلى (4+) أي أنّ الكربون قد تأكسد، ونلحظ أن عدد تأكسد الأكسجين لم يتغيّر.

الخطوة الثالثة: صِل العنصر الذي تأكسد مع ناتج تأكسده بقوس خطّي كبير واكتب على القوس عدد الإلكترونات المفقودة. ثمّ صل العنصر الذي اختُزل مع ناتج اختزاله بقوس خطّي كبير واكتب على القوس عدد الإلكترونات المكتسبة.

$$\overset{+3\ -2}{Fe_2O_{3(s)}} + \overset{+2-2}{CO_{(g)}} \longrightarrow \overset{0}{Fe_{(s)}} + \overset{+4-2}{CO_{2(g)}}$$

(C: +2 ؛ Fe: −3)

الخطوة الرابعة: حدّد المعاملين اللذين يجب ضرب فارقي عدد التأكسد بهما حتّى يتساوى عدد الإلكترونات المكتسبة مع تلك المفقودة.
اضرب، في المعادلة السابقة، زيادة عدد التأكسد بالمعامل 3 واضرب نقص عدد التأكسد بالمعامل 2 فتتساوى الزيادة $(+6 = (+2) \times 3)$ مع النقصان $(-6 = (-3) \times 2)$.
أي ضع المعامل 2 أمام الحديد في الجانب الأيمن من المعادلة لأنّ المركَّب Fe_2O_3، في الجانب الأيسر، لا يحتاج إلى أيّ معامل نظرًا إلى أنّه يحتوي على ذرّتي Fe. ثمّ ضع المعامل 3 أمام CO و CO_2:

$$Fe_2O_{3(s)} + 3CO_{(g)} \longrightarrow 2Fe_{(s)} + 3CO_{2(g)}$$

($3 \times (+2) = +6$ ؛ $2 \times (-3) = -6$)

الخطوة الخامسة: تأكّد من وزن المعادلة من حيث عدد الذرّات والشحنة.
يمكن، إن دعت الحاجة، وزن باقي أجزاء المعادلة بفحص عدد الذرّات الأخرى.

$$Fe_2O_{3(s)} + 3CO_{(g)} \longrightarrow 2Fe_{(s)} + 3CO_{2(g)}$$

21

[يُضاف H_2O عند أحد طرفي المعادلة لموازنة ذرّات الأكسجين ويُضاف H^+ عند الطرف الآخر لموازنة ذرّات الهيدروجين في الوسط الحمضي. أمّا في الوسط القاعدي فيُضاف H_2O لموازنة ذرّات الهيدروجين ويضاف OH^- في الجهة الأخرى.]

اسأل: لماذا يُسمَح بهذه الإضافة؟ [لا تغيّر هذه الإضافة التفاعل نفسه ولكنّها تحدّد وسط التفاعل. نجد في المحاليل الحمضيّة كمّيّة كاتيونات H^+ زائدة، ونجد في المحاليل القاعدية كمّيّة أنيونات OH^- زائدة].

3. قيِّم وتوسَّع

1.3 تقييم استيعاب الطلاب للدرس

لتقييم استيعاب الطلّاب لهذا الدرس اطرح عليهم الأسئلة التالية:

- $2Cu(OH)_{2(s)} \xrightarrow{\Delta} 2CuO_{(s)} + 2H_2O_{(l)}$

هل يُعتبَر هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال؟ ولماذا؟

[لا يُعتبَر هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال، لعدم تغيّر عدد تأكسد أيّ عنصر.]

- $CuO_{(s)} + CO_{(g)} \rightarrow Cu_{(s)} + CO_{2(g)}$

هل يُعتبَر هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال؟ ولماذا؟

[نعم، يُعتبَر هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال، فقد اختُزِل النحاس (نقص عدد تأكسده من +2 إلى صفر) وتأكسد الكربون (زاد عدد تأكسده من +2 إلى +4).]

مثال (2)

زن معادلة الأكسدة والاختزال التالية بطريقة أعداد التأكسد:

$$K_2Cr_2O_{7(aq)} + H_2O_{(l)} + S_{(s)} \rightarrow KOH_{(aq)} + Cr_2O_{3(s)} + SO_{2(g)}$$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: **صمّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.**
طبّق الخطوات الخمس السابقة لطريقة أعداد التأكسد كي تزن المعادلة.

2. حلّ: **طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.**

الخطوة الأولى: حدّد أعداد التأكسد.

+1 +6 −2   +1 −2   0   +1 −2 +1   +3 −2   +4 −2

$$K_2Cr_2O_{7(aq)} + H_2O_{(l)} + S_{(s)} \longrightarrow KOH_{(aq)} + Cr_2O_{3(s)} + SO_{2(g)}$$

الخطوة الثانية: حدّد الذرّات التي تأكسدت وتلك التي اختُزِلت.
نقُص عدد تأكسد الكروم Cr أي اختُزل الكروم في حين زاد عدد تأكسد الكبريت S أي تأكسد الكبريت.

الخطوة الثالثة: صل بين الذرّات التي تغيّر عدد تأكسدها موضّحًا إشارة وقيمة هذه التغيّرات.

−3

+6   0   +3   +4

$$K_2Cr_2O_{7(aq)} + H_2O_{(l)} + S_{(s)} \longrightarrow KOH_{(aq)} + Cr_2O_{3(s)} + SO_{2(g)}$$

+4

الخطوة الرابعة: زن الزيادة والنقص في أعداد التأكسد.
نلحظ أنّ عدد تأكسد الكبريت زاد من (0) إلى (+4) وفي حين نَقُص عدد تأكسد الكروم من (+6) إلى (+3)، أي أن ذرّة الكبريت تفقد أربعة إلكترونات، وتكتسب كلّ ذرّة كروم ثلاثة إلكترونات. وبما أن كلّ جزيء ثاني كرومات البوتاسيوم يحتوي على ذرّتي كروم، فهو يكتسب 6 إلكترونات مصدرها الكبريت. لكي يتساوى عدد الإلكترونات المكتسبة وتلك المفقودة، لا بدّ من وجود جزيئين ثاني كرومات البوتاسيوم (يكتسبان 12 إلكترونًا) وثلاث ذرّات كبريت (تفقد 12 إلكترونًا)، وبالتالي لا بدّ من وضع المعامل 2 أمام ثاني كرومات البوتاسيوم والمعامل 3 أمام الكبريت.

$4 \times (-3) = -12$

+6   0   +3   +4

$$2K_2Cr_2O_{7(aq)} + H_2O_{(l)} + 3S_{(s)} \longrightarrow KOH_{(aq)} + 2Cr_2O_{3(s)} + 3SO_{2(g)}$$

$3 \times (+4) = +12$

22

مثال (2) (تابع)

الخطوة الخامسة: التأكّد من صحّة المعادلة وتكملة الوزن بحيث يتساوى عدد الذرّات في طرفيها تماشيًا مع قانون بقاء المادّة. ولكي يتحقّق ذلك لا بدّ من وضع المعامل 4 أمام KOH لوزن البوتاسيوم، ووضع المعامل 2 أمام H_2O لوزن الهيدروجين والأكسجين فتصبح المعادلة النهائية كما يلي:

$$2K_2Cr_2O_{7(aq)} + 2H_2O_{(l)} + 3S_{(s)} \rightarrow 4KOH_{(aq)} + 2Cr_2O_{3(s)} + 3SO_{2(g)}$$

3. قيّم: **هل النتيجة لها معنى؟**
بفحص المعادلة يتبيّن أنّ المعادلة قد وُزِنت بطريقة صحيحة.

أسئلة تطبيقية وحلّها

استخدم طريقة أعداد التأكسد لوزن معادلات التأكسد والاختزال التالية:

(أ) $KClO_{3(s)} \rightarrow KCl_{(s)} + O_{2(g)}$

(ب) $As_2O_{3(s)} + Cl_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_3AsO_{4(aq)} + HCl_{(aq)}$

(جـ) $Bi_2S_{3(s)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow Bi(NO_3)_{3(aq)} + NO_{(g)} + S_{(s)} + H_2O_{(l)}$

(د) $MnO_{2(s)} + H_2SO_{4(aq)} + H_2C_2O_{4(aq)} \rightarrow MnSO_{4(aq)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

الحلّ:

(أ) $2KClO_{3(s)} \rightarrow 2KCl_{(s)} + 3O_{2(g)}$

(ب) $5H_2O_{(l)} + As_2O_{3(s)} + 2Cl_{2(g)} \rightarrow 2H_3AsO_{4(aq)} + 4HCl_{(aq)}$

(جـ) $Bi_2S_{3(s)} + 8HNO_{3(aq)} \rightarrow 2Bi(NO_3)_{3(aq)} + 4H_2O_{(l)} + 2NO_{(g)} + 3S_{(s)}$

(د) $MnO_{2(s)} + H_2SO_{4(aq)} + H_2C_2O_{4(aq)} \rightarrow MnSO_{4(aq)} + 2CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

2.2 وزن المعادلات بطريقة أنصاف التفاعلات

Balancing Equations Using the Half−Reactions

تقضي هذه الطريقة بتقسيم التفاعل النهائي إلى نصفين هما نصف تفاعل الأكسدة ونصف تفاعل الاختزال وبوزنهما كلّ على حدة. خطوات هذه الطريقة مختلفة، ولكنّها تستخدم أيضًا أعداد التأكسد، وتصلح لوزن معادلات التفاعلات الأيونية.

تُطبَّق هذه الطريقة على أكسدة كاتيون الحديد Fe^{2+}(II) بواسطة أنيون البرمنجنات MnO_4^- في محلول حمضي ($H^+_{(aq)}$) كمحلول حمض الكبريتيك ($H_2SO_{4(aq)}$).

$$MnO^-_{4(aq)} + Fe^{2+}_{(aq)} + H^+_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + Fe^{3+}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

23

الخطوة الأولى: حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرّات في المعادلة.

+7 −2   +2   +1   +2   +3   +1 −2

$$MnO^-_{4(aq)} + Fe^{2+}_{(aq)} + H^+_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + Fe^{3+}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

الخطوة الثانية: حدّد العنصر الذي اختُزِل والعنصر الذي تأكسد.
نَقُص عدد تأكسد المنجنيز من (+7) إلى (+2) أي أنّ المنجنيز اختُزِل.
زاد عدد تأكسد الحديد من (+2) إلى (+3) أي أنّ الحديد تأكسد.
نلاحظ أنّ الذرّات المتأكسدة والمختزلة موزونة في طرفي المعادلة.

الخطوة الثالثة: اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال.

نصف تفاعل الاختزال: $MnO^-_{4(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)}$

نصف تفاعل الأكسدة: $Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)}$

الخطوة الرابعة: زن الأكسجين بإضافة جزيء ماء عن كلّ ذرّة أكسجين ناقصة في طرف المعادلة حيث ينقص الأكسجين.

$$MnO^-_{4(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$

الخطوة الخامسة: زن الهيدروجين بإضافة أيون (H^+) عن كلّ ذرّة هيدروجين ناقصة في طرف المعادلة حيث ينقص الهيدروجين.

$$MnO^-_{4(aq)} + 8H^+_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$

الخطوة السادسة: زن الشحنات بإضافة إلكترونات إلى كلّ نصف تفاعل على حدة.

$$MnO^-_{4(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$
$$Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + e^-$$

الخطوة السابعة: وحّد عدد الإلكترونات بضرب نصفي التفاعل بالمعاملين المناسبين.

$$1 \times \quad MnO^-_{4(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$
$$5 \times \quad Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + e^-$$

فتصبح المعادلتان:

$$MnO^-_{4(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$
$$5Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow 5Fe^{3+}_{(aq)} + 5e^-$$

24

- $Zn_{(s)} + As_2O_{3(aq)} \rightarrow AsH_{3(aq)} + Zn^{2+}_{(aq)}$

زن المعادلة التالية مستخدمًا طريقة أنصاف التفاعلات.

يحدث التفاعل التالي في وسط قاعدي:

$[6Zn_{(s)} + As_2O_{3(aq)} + 9H_2O_{(l)} \rightarrow 6Zn^{2+}_{(aq)} + 2AsH_{3(aq)} + 12OH^-_{(aq)}]$

- زن المعادلة التالية مستخدمًا طريقة التغيّر في عدد التأكسد، وعيّن العنصر الذي اختُزِل والعنصر الذي تأكسد.

$$HNO_{3(aq)} + H_2S_{(g)} \rightarrow NO_{(g)} + 4H_2O_{(l)} + H_2SO_{4(aq)}$$

]

اختزال: $3e^-$ $(\times 8)$

$+5$ -2 $+2$ $+6$

$$8HNO_{3(aq)} + 3H_2S_{(g)} \quad 8NO_{(g)} + 4H_2O_{(l)} + 3H_2SO_{4(aq)}$$

أكسدة: $-8e^-$ $(\times 3)$

N: اختزل S: تأكسد[

2.3 إعادة التعليم

ذكِّر الطلّاب بالخطوات التي يجب اتباعها لمعرفة ما إذا كان التفاعل تفاعل أكسدة واختزال أم لا.

وضِّح للطّالب أنّ زيادة عدد التأكسد تعني أنّ العنصر قد تأكسد بينما نقصانه يعني أنّ العنصر قد اختُزِل. اكتب معادلة التفاعل التالي على السبّورة:

$$MnO^-_{4(aq)} + I^-_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + I_{2(s)}$$

الخطوة الثامنة: اجمع نصفي التفاعل.

$$MnO^-_{4\,(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$
$$5Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow 5Fe^{3+}_{(aq)} + 5e^-$$
$$MnO^-_{4\,(aq)} + 5Fe^{2+}_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 5Fe^{3+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$

في خلال وزن بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال بطريقة أنصاف التفاعلات، قد تجد بعض المركَّبات أو الأيونات المتكرّرة. يُحذف العنصر المتكرّر من الطرفين للحصول على المعادلة النهائيّة.

مثال (3)

استخدم طريقة أنصاف التفاعلات لوزن معادلة الأكسدة والاختزال التالية، علمًا أن التفاعل يحدث في وسط حمضي:

$$KMnO_{4(aq)} + HCl_{(aq)} \rightarrow MnCl_{2(aq)} + Cl_{2(g)} + H_2O_{(l)} + KCl_{(aq)}$$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: **صمِّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.**
اتبع الخطوات الثماني لوزن المعادلة السابقة بطريقة أنصاف التفاعلات.
2. حلّ: **طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.**

الخطوة الأولى: اكتب المعادلة غير الموزونة في صورة أيونية وحدّد أعداد تأكسد جميع ذرّات المعادلة.

$+1$ $+7\ -2$ $+1$ -1 $+2$ -1 0 $+1\ -2$ $+1$ -1

$$K^+_{(aq)} + MnO^-_{4(aq)} + H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \longrightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} + Cl_{2(g)} + H_2O_{(l)} + K^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

الخطوة الثانية: حدّد العنصر الذي اختُزِل والعنصر الذي تأكسد.
نَقُص عدد تأكسد المنجنيز من (7+) إلى (2+) أي أنّ المنجنيز اختُزِل.
زاد عدد تأكسد الكلور من (1−) إلى (0) أي أنّ الكلور تأكسد.

الخطوة الثالثة: اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال.
نصف تفاعل الاختزال: $MnO^-_{4\,(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)}$
نصف تفاعل الأكسدة: $Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2\,(g)}$

الخطوة الرابعة: زن الأكسجين بإضافة جزيء ماء، عن كل ذرّة أكسجين ناقصة، إلى طرف المعادلة حيث ينقص الأكسجين.

$$MnO^-_{4\,(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$

25

مثال (3) (تابع)

الخطوة الخامسة: زن الهيدروجين بإضافة أيون (H^+)، عن كلّ ذرّة هيدروجين ناقصة، إلى طرف المعادلة حيث ينقص الهيدروجين (يحدث التفاعل في وسط حمضي).

$$MnO^-_{4\,(aq)} + 8H^+_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$

ملاحظة: زن ذرّات الكلور.

$$2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2\,(g)}$$

الخطوة السادسة: زن الشحنات بإضافة إلكترونات إلى كلّ نصف تفاعل على حدة.

$$MnO^-_{4\,(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$
$$2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2\,(g)} + 2e^-$$

الخطوة السابعة: وحّد عدد الإلكترونات بضرب نصفي التفاعل بالمعاملين المناسبين.

$$2 \times \quad MnO^-_{4\,(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$
$$5 \times \quad 2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2\,(g)} + 2e^-$$

فتصبح المعادلتان:

$$2MnO^-_{4\,(aq)} + 16H^+_{(aq)} + 10e^- \rightarrow 2Mn^{2+}_{(aq)} + 8H_2O_{(l)}$$
$$10Cl^-_{(aq)} \rightarrow 5Cl_{2\,(g)} + 10e^-$$

الخطوة الثامنة: اجمع نصفي التفاعل

$$2MnO^-_{4(aq)} + 16H^+_{(aq)} + 10Cl^-_{(aq)} \rightarrow 2Mn^{2+}_{(aq)} + 5Cl_{2(g)} + 8H_2O_{(l)}$$

3. قيّم: **هل النتيجة لها معنى؟**
المعادلة موزونة من حيث الذرّات والشحنات.

ملاحظة: في الوسط القاعدي بعد وزن الأكسجين، يوزن النقص في ذرّات الهيدروجين بإضافة جزيء ماء (H_2O) عن كلّ ذرّة هيدروجين ناقصة وفي طرف المعادلة الآخر يُضاف أيون هيدروكسيد (OH^-) عن كلّ جزيء ماء تمّت إضافته.

26

مثال (4)

استخدم طريقة أنصاف التفاعلات لوزن معادلة الأكسدة والاختزال التالية، علمًا أن التفاعل يحدث في وسط قاعدي.

$$NO^-_{2(aq)} + Al_{(s)} \rightarrow NH_{3(g)} + AlO^-_{2(aq)}$$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: **صمِّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.**
اتبع الخطوات الثماني لوزن المعادلة السابقة بطريقة أنصاف التفاعلات.
2. حلّ: **طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.**

الخطوة الأولى: اكتب المعادلة غير الموزونة في صورة أيونية وحدّد أعداد التأكسد لجميع الذرّات.

$+3-2$ 0 $-3\ +1$ $+3-2$

$$NO^-_{2\,(aq)} + Al_{(s)} \longrightarrow NH_{3\,(g)} + AlO^-_{2\,(aq)}$$

الخطوة الثانية: حدّد العنصر الذي اختُزِل والعنصر الذي تأكسد.
نَقُص عدد تأكسد النيتروجين من (3+) إلى (3−) أي أنّ النيتروجين اختُزِل.
زاد عدد تأكسد الألمنيوم من (0) إلى (3+) أي أنّ الألمنيوم تأكسد.

الخطوة الثالثة: اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال.
نصف تفاعل الأكسدة: $Al_{(s)} \rightarrow AlO^-_{2\,(aq)}$
نصف تفاعل الاختزال: $NO^-_{2\,(aq)} \rightarrow NH_{3\,(g)}$

الخطوة الرابعة: زن الأكسجين بإضافة جزيء ماء، عن كل ذرّة أكسجين ناقصة، إلى طرف المعادلة حيث ينقص الأكسجين.

$$Al_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow AlO^-_{2\,(aq)}$$
$$NO^-_{2\,(aq)} \rightarrow NH_{3\,(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

الخطوة الخامسة: زن الهيدروجين بإضافة جزيء ماء، عن كلّ ذرّة هيدروجين ناقصة، إلى طرف المعادلة حيث ينقص الهيدروجين وإضافة أنيون OH^- إلى الطرف الآخر.

$$4OH^-_{(aq)} + Al_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow AlO^-_{2\,(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$
$$NO^-_{2\,(aq)} + 7H_2O_{(l)} \rightarrow NH_{3\,(g)} + 2H_2O_{(l)} + 7OH^-_{(aq)}$$

27

فسّر طريقة تحديد ما إذا كان التفاعل تفاعل أكسدة واختزال أم لا. ذكِّر الطلّاب بخطوات وزن معادلة الأكسدة والاختزال بطريقة التغيّر في أعداد التأكسد وبطريقة أنصاف التفاعلات في محيط حمضي ومحيط قاعدي.

إجابات أسئلة مراجعة الدرس 1–2

.1

$$ClO^-_{3(aq)} + 6I^-_{(aq)} + 6H^+_{(aq)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + 3I_{2(aq)} + 3H_2O_{(l)}$$

$$5C_2O^{2-}_{4\,(aq)} + 2MnO^-_{4(aq)} + 16H^+_{(aq)} \rightarrow 2Mn^{2+}_{(aq)} + 10CO_{2(g)} + 8H_2O_{(l)}$$

$$Br_{2(l)} + SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 2Br^-_{(aq)} + SO^{2-}_{4\,(aq)} + 4H^+_{(aq)}$$

.2

$$4MnO^-_{4(aq)} + 3ClO^-_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 4MnO_{2(s)} + 3ClO^-_{4(aq)} + 4OH^-_{(aq)}$$

$$2Cr^{3+}_{(aq)} + 3ClO^-_{(aq)} + 10OH^-_{(aq)} \rightarrow 2CrO^{2-}_{4\,(aq)} + 3Cl^-_{(aq)} + 5H_2O_{(l)}$$

$$6Mn^{3+}_{(aq)} + I^-_{(aq)} + 6OH^-_{(aq)} \rightarrow 6Mn^{2+}_{(aq)} + IO^-_{3(aq)} + 3H_2O_{(l)}$$

.3 (أ) أكسدة $2 \times \quad Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$

اختزال $3 \times \quad 2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$

$$2Al_{(s)} + 6H^+_{(aq)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 3H_{2(g)}$$

(ب) أكسدة $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

اختزال $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

$$Cu^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)} \rightarrow Cu_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)}$$

(جـ) أكسدة $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

اختزال $2 \times \quad Ag^+_{(aq)} + 1e^- \rightarrow Ag_{(s)}$

$$Cu_{(s)} + 2Ag^+_{(aq)} \rightarrow 2Ag_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)}$$

مثال (4) (تابع)

الخطوة السادسة: زن الشحنات بإضافة الإلكترونات حيث يلزم.

$$4OH^-_{(aq)} + Al_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow AlO^-_{2\,(aq)} + 4H_2O_{(l)} + 3e^-$$

$$6e^- + NO^-_{2\,(aq)} + 7H_2O_{(l)} \rightarrow NH_{3\,(g)} + 2H_2O_{(l)} + 7OH^-_{(aq)}$$

تصبح هذه التفاعلات بعد حذف جزيئات الماء من طرفي المعادلة الواحدة على الشكل التالي:

$$Al_{(s)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow AlO^-_{2\,(aq)} + 3e^- + 2H_2O_{(l)}$$

$$NO^-_{2\,(aq)} + 6e^- + 5H_2O_{(l)} \rightarrow NH_{3\,(g)} + 7OH^-_{(aq)}$$

الخطوة السابعة: وحّد عدد الإلكترونات بضرب نصفي التفاعل بالمعاملين المناسبين.

$$2 \times \quad Al_{(s)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow AlO^-_{2\,(aq)} + 3e^- + 2H_2O_{(l)}$$

$$1 \times \quad NO^-_{2\,(aq)} + 6e^- + 5H_2O_{(l)} \rightarrow NH_{3\,(g)} + 7OH^-_{(aq)}$$

فتصبح المعادلتان:

$$2Al_{(s)} + 8OH^-_{(aq)} \rightarrow 2AlO^-_{2\,(aq)} + 6e^- + 4H_2O_{(l)}$$

$$NO^-_{2\,(aq)} + 6e^- + 5H_2O_{(l)} \rightarrow NH_{3\,(g)} + 7OH^-_{(aq)}$$

الخطوة الثامنة: اجمع نصفي التفاعل.

$$2Al_{(s)} + 8OH^-_{(aq)} + NO^-_{2(aq)} + 5H_2O_{(l)} \rightarrow 2AlO^-_{2\,(aq)} + 4H_2O_{(l)} + NH_{3\,(g)} + 7OH^-_{(aq)}$$

$$2Al_{(s)} + OH^-_{(aq)} + NO^-_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow 2AlO^-_{2\,(aq)} + NH_{3\,(g)}$$

3. **قيّم: هل النتيجة لها معنى؟**

المعادلة موزونة من حيث الذرّات والشحنات.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. باستخدام طريقة أنصاف التفاعلات، زن التفاعلات التالية التي تجري في وسط حمضي.

(أ) $Sn^{2+}_{(aq)} + Cr_2O^{2-}_{7\,(aq)} \rightarrow Sn^{4+}_{(aq)} + Cr^{3+}_{(aq)}$

(ب) $CuS_{(s)} + NO^-_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + NO_{2(g)} + SO_{2(g)}$

(جـ) $I^-_{(aq)} + NO^-_{3(aq)} \rightarrow I_{2(s)} + NO_{(g)}$

الحلّ:

(أ) $3Sn^{2+}_{(aq)} + 14H^+_{(aq)} + Cr_2O^{2-}_{7\,(aq)} \rightarrow 3Sn^{4+}_{(aq)} + 2Cr^{3+}_{(aq)} + 7H_2O_{(l)}$

(ب) $CuS_{(s)} + 8NO^-_{3\,(aq)} + 8H^+_{(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2\,(aq)} + SO_{2\,(g)} + 6NO_{2\,(g)} + 4H_2O_{(l)}$

(جـ) $6I^-_{(aq)} + 2NO^-_{3\,(aq)} + 8H^+_{(aq)} \rightarrow 3I_{2\,(s)} + 2NO_{(g)} + 4H_2O_{(l)}$

أسئلة تطبيقية وحلّها (تابع)

2. باستخدام طريقة أنصاف التفاعلات زن التفاعلات التالية التي تجري في وسط قاعدي:

(أ) $MnO^-_{4(aq)} + I^-_{(aq)} \rightarrow MnO_{2(s)} + I_{2(s)}$

(ب) $NiO_{2(s)} + S_2O^{2-}_{3\,(aq)} \rightarrow Ni(OH)_{2(s)} + SO^{2-}_{3\,(aq)}$

(جـ) $Zn_{(s)} + NO^-_{3(aq)} \rightarrow NH_{3(aq)} + Zn(OH)^{2-}_{4\,(aq)}$

الحلّ:

(أ) $6I^-_{(aq)} + 2MnO^-_{4\,(aq)} + 4H_2O_{(l)} \rightarrow 3I_{2\,(s)} + 2MnO_{2\,(s)} + 8OH^-_{(aq)}$

(ب) $S_2O^{2-}_{3\,(aq)} + 2NiO_{2\,(s)} + 2OH^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow 2SO^{2-}_{3\,(aq)} + Ni(OH)_{2\,(s)}$

(جـ) $4Zn_{(s)} + NO^-_{3\,(aq)} + 6H_2O_{(l)} + 7OH^-_{(aq)} \rightarrow 4Zn(OH)^{2-}_{4\,(aq)} + NH_{3\,(aq)}$

مراجعة الدرس 1–2

1. زن المعادلات التالية بطريقة أعداد التأكسد:

(وسط حمضي) $ClO^-_{3(aq)} + I^-_{(aq)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + I_{2(s)}$

(وسط حمضي) $C_2O^{2-}_{4\,(aq)} + MnO^-_{4(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + CO_{2(g)}$

(وسط حمضي) $Br_{2(l)} + SO_{2(aq)} \rightarrow Br^-_{(aq)} + SO^{2-}_{4\,(aq)}$

2. باستخدام طريقة أنصاف التفاعلات، اكتب المعادلة الأيونية الموزونة للتفاعلات التالية:

(وسط قاعدي) $MnO^-_{4(aq)} + ClO^-_{2(aq)} \rightarrow MnO_{2(s)} + ClO^-_{4(aq)}$

(وسط قاعدي) $Cr^{3+}_{(aq)} + ClO^-_{(aq)} \rightarrow CrO^{2-}_{4\,(aq)} + Cl^-_{(aq)}$

(وسط قاعدي) $Mn^{3+}_{(aq)} + I^-_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + IO^-_{3(aq)}$

3. اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال لكلّ من التفاعلات التالية وزن التفاعل إن دعت الحاجة.

(أ) $Al_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

(ب) $Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)}$

(جـ) $Cu_{(s)} + Ag^+_{(aq)} \rightarrow Ag_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)}$

الدرس 1-3

الخلايا الإلكتروكيميائية

الأهداف:

- يشرح تركيب الخليّة الجافّة والموادّ التي تتأكسد والموادّ التي تختزل.
- يصف تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية وتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في ضوء تفاعلات الأكسدة والاختزال.

صفحات الطالب: من ص 30 إلى ص 41

عدد الحصص: 5

الأدوات المستعملة: جهاز عرض، الموادّ المطلوبة في النشاط 1.2

1. قدّم وحفّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلّاب يتفحّصون الصورة الافتتاحية للدرس، ويقرؤون الفقرة المرافقة لها. اسأل الطلّاب عمّا يعرفونه عن بطّارية السيّارة (أي المركم الرصاصي).

[تمدّ السيّارة بالطاقة اللازمة لتنشيط بدء احتراق الجازولين في المحرّك.]

اطلب إلى الطلّاب ذكر نوع آخر من البطّاريات يستخدمونه في حياتهم اليومية وإعطاء أمثلة عن استخداماته.

[البطّارية الجافّة، استخداماتها عديدة كتزويد آلات التصوير وآلات التحكّم عن بعد بالطاقة.]

2.1 حثّ الطلّاب على التفكير في مثال من الحياة اليومية واستنتاج فكرة الدرس العامّة

اختر مجموعة آلات تستخدم بطّاريات جافّة ذات أحجام مختلفة ثمّ اسأل الطلّاب: ما الذي يميزها عن بعضها البعض؟ هل يختلف حجمها فقط أم كذلك الطاقة الناتجة منها أم مدّة خدمتها؟ هل هذه الخلايا من النوع الذي يُعاد شحنه أم لا؟

2. علّم وطبّق

1.2 استعراض نشاط عملي يساعد الطلّاب على تعلّم الدرس

قسّم الطلّاب إلى مجموعات ووزّع على كلّ مجموعة شريحة خارصين وكأسًا يحتوي على محلول كبريتات النحاس II. اطلب إليهم وضع شريحة الخارصين في كأس محلول الكبريتات وملاحظة التغيّر الذي يطرأ ثمّ اسمح لهم بعرض ملاحظاتهم وتقديم تفسيرات للتغيّرات التي طرأت وناقشها معهم. اطلب إليهم المقارنة بين النتائج التجريبية التي توصّلوا إليها وبين الشكل (5) في كتاب الطالب.

الدرس 1-3

الخلايا الإلكتروكيميائية
Electrochemical Cells

الأهداف العامة

- يشرح تركيب الخليّة الجافّة والموادّ التي تتأكسد والموادّ التي تُختزَل.
- يصف تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية وتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في ضوء تفاعلات الأكسدة والاختزال.

شكل (4)
تزوّد الطاقة الكهربائية الناتجة من المركم الرصاصي السيّارة بالطاقة.

لا تزال الخلايا الفولتية مثل الخليّة الجافّة تزوّد الكاشفات الكهربائية، أجهزة الراديو، الحاسبات الإلكترونية، آلات التصوير، ألعاب الأطفال، الهواتف النقالة وأجهزة الكمبيوتر بالطاقة اللازمة لتشغيلها. وتُستخدَم بطّارية التخزين الرصاصية أو المركم الرصاصي المعتادة في مجالات كثيرة خصوصًا في السيّارات (شكل 4). وقد ابتُكرت حديثًا، خليّة تُعدّ الأهمّ حاليًّا، هي خليّة الوقود التي تستعمل في مجالات عديدة وخصوصًا لتزويد الآليات الفضائيّة بالطاقة.

ما هي التفاعلات الكيميائية التي تحدث في هذه الخلايا؟ وهل هي تفاعلات أكسدة واختزال؟

1. الخلايا الإلكتروكيميائية Electrochemical Cells

الخلايا الإلكتروكيميائية Electrochemical Cells هي أنظمة أو أجهزة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية أو العكس من خلال تفاعلات أكسدة واختزال. وتقسم الخلايا الإلكتروكيميائية إلى قسمين:

- **خلايا تنتج طاقة كهربائية من خلال التفاعلات الكيميائية** (الأكسدة والاختزال) **وتسمّى بالخلايا الجلفانية أو الخلايا الفولتية Galvanic Cell or Voltaic Cell** ومنها الخليّة الجافة والمركم الرصاصي وخليّة الوقود.

30

وضِّح لهم أنّ تفاعل أكسدة واختزال تلقائي يحدث عندما نغمر شريحة خارصين في محلول كبريتات النحاس II.
اسأل الطلّاب: لماذا تغيّر لون مسحوق من الخارصين بينما صار لون المحلول باهتًا؟

[يتغيّر لون الخارصين إلى البني بسبب ترسّب فلزّ النحاس على فلزّ الخارصين الذي لم يتأكسد. يبهت محلول كبريتات النحاس الأزرق تدريجيًا لأنّ محلول كبريتات الخارصين عديم اللون يحلّ محلّه.]

2.2 مناقشة

وضّح للطلّاب أنّ تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، والعكس هو عملية إلكتروكيميائية.
الفت نظر الطلّاب إلى أن جميع العمليات الإلكتروكيميائية هي تفاعلات أكسدة واختزال. وضّح لهم أنّ استخدام تفاعل أكسدة واختزال كمصدر للطاقة الكهربائية، يتطلّب أن يحدث التفاعل في أنصاف خلايا منفصلة يصلها سلك توصيل لتشكيل دائرة خارجية.
وضّح لهم أن التيّار الكهربائي يُستخدَم لإحداث تغيّر كيميائي ويُستخدَم هذا التفاعل، بدوره، كخليّة إلكتروكيميائية. اسأل الطلّاب: في ضوء ما سبق، هل يستطيع أحدكم تعريف الخليّة الإلكتروكيميائية؟

[الخليّة الإلكتروكيميائية هي وسيلة أو جهاز يحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية أو العكس.]

3.2 مناقشة

أشر للطلّاب أنّ الطاقة المصاحبة للاختزال أو الأكسدة تُسمّى جهدًا. إذا صاحبت اكتساب إلكترونات أي تفاعل اختزال تُسمّى جهد اختزال أمّا إذا صاحبت فقدان إلكترونات أي تفاعل أكسدة فتُسمّى جهد أكسدة. أشر للطلّاب أيضًا أنّ إشارة جهد الاختزال تكون عكس إشارة جهد الأكسدة (راجع المثال صفحة 32 في كتاب الطالب).
وضِّح للطلّاب أنّ الحصول على الطاقة الكهربائية من خلال تفاعل الأكسدة والاختزال يشترط أن يكون التفاعل تلقائيًّا ومستمرًّا.
يكون التفاعل تلقائيًّا بسبب وجود فرق جهد ناتج من الاختلاف في النشاط الكيميائي ومن تفاعلات الأكسدة والاختزال.
يكون التفاعل مستمرًّا عندما تحدث تفاعلات الأكسدة والاختزال في أنصاف الخلايا.
ويتمّ توليد التيار الكهربائي بوجود موصلات:

- موصل معدني يصل الخلايا لتأمين حركة الإلكترونات في الدائرة الخارجية.
- جسر ملحي لتأمين حركة الأيونات (الموجبة أو السالبة) داخل الخليّة.

- **خلايا تحتاج إلى طاقة كهربائية وينتج منها تفاعل كيميائي من نوع الأكسدة والاختزال وتُعرَف هذه الخلايا باسم الخليّة الإلكتروليتية Electrolytic Cell** وستتمّ مناقشتها لاحقًا.

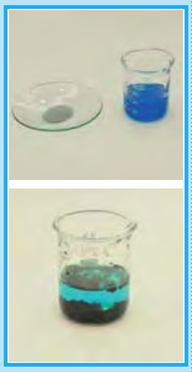
كيف يمكن أن تنتج طاقة كهربائية من تفاعل أكسدة واختزال يحدث بشكل تلقائي ومستمرّ؟
يتمّ التفاعل بين الخارصين ومحلول كبريتات النحاس (II) بشكل تلقائي ومستمرّ ويصحبه طرد طاقة حرارية قدرها 217.6 kJ/mol. تظهر هذه الحرارة بوضوح عند استبدال شريحة الخارصين بمسحوق الخارصين إذ يزيد ذلك مساحة سطح المماسّ (شكل 5). ويمكن قياس الحرارة التي يطردها التفاعل بواسطة ميزان الحرارة. ويجري، في هذا التفاعل، تبادل الإلكترونات مباشرة بين سطح فلزّ الخارصين $Zn_{(s)}$ وبين كاتيونات النحاس Cu^{2+}(II) المتلامسين في المحلول بحسب التفاعل التالي:

$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)} \quad \Delta H = -217.6\ kJ/mol$$

وبالتالي لا يمكن الحصول على طاقة كهربائية وإنّما يمكن الحصول على طاقة حرارية ويرجع ذلك إلى عدم وجود موصل فلزّي لحركة الإلكترونات (دائرة مفتوحة).
ونستنتج من ذلك أنّ:

- المادّة التي تأكسدت هي فلزّ الخارصين والمادّة التي اختُزِلت هي كاتيونات النحاس (II).
- الخارصين أكثر نشاطًا من النحاس ويحلّ محلّه في مركّباته تتأكسد ذرّاته بينما تُختزَل كاتيونات النحاس (II).

لمعرفة النشاط الكيميائي للفلزّات يمكن أن نضع الفلزّ في محلول يحتوي على أيونات الهيدروجين لمقارنة شدّة التفاعل في حال حدوثه. مثال على ذلك يتأكسد فلزّ الخارصين وفلزّ الحديد في محلول مائي لحمض الهيدروكلوريك، بينما لا يحدث أيّ تفاعل عند غمر برادة من النحاس في المحلول نفسه. اكتب المعادلات الدالّة على التفاعلات السابقة.
تبعًا للتجارب المخبرية نرى أن تفاعل فلزّ الخارصين مع حمض الهيدروكلوريك أكثر شدّة من تفاعل فلزّ الحديد مع حمض الهيدروكلوريك. وبالتالي يمكن ترتيب هذه الفلزّات تبعًا لنشاطها الكيميائي، الخارصين يليه الحديد يليه النحاس.



شكل (5)
تفاعل طارد للحرارة بين مسحوق الخارصين ومحلول كبريتات النحاس (II)

31

بِمَ تفسّر ذلك؟
كاتيونات الخارصين هي الأقلّ ميلًا إلى اكتساب الإلكترونات بينما كاتيونات النحاس (II) هي الأكثر ميلًا إلى اكتساب الإلكترونات.
نستنتج من ذلك أن **جهد الاختزال Reduction Potential هو الطاقة المصاحبة لاكتساب المادّة للإلكترونات أي ميلها إلى الاختزال**. وبالتالي في المثال السابق الخارصين يمتلك أقلّ جهد اختزال والنحاس يمتلك أكبر جهد اختزال.
أمّا جهد الاختزال القياسي Standard Reduction Potential (E°) فهو جهد الاختزال عند الظروف القياسية (عند درجة الحرارة 25 °C وضغط غاز، إن وجد، 101 kPa وتركيز المحلول 1 M).

مثال على ذلك:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)} \qquad E^\circ = +0.34\ V$$
$$Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \qquad E^\circ = -0.34\ V$$

نستنتج من المثال السابق أنّ جهد الاختزال يساوي جهد الأكسدة مع اختلاف الإشارة. وقد تمّ اعتماد أنّ جهد الاختزال القياسي للهيدروجين يساوي صفرًا بحسب نظام الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية IUPAC.
كيف يمكن الحصول على طاقة كهربائية من هذا التفاعل؟
يتضمّن التفاعل السابق (فلزّ الخارصين وكاتيونات النحاس (II)) عملية أكسدة (فقد إلكترونات) وعملية اختزال (اكتساب إلكترونات). إذا تمكّنت الإلكترونات من الانتقال في تفاعل تلقائي من هذا النوع عبر موصل فلزّي يمكن استخدام هذا التفاعل كمصدر للطاقة الكهربائية.
تُسمَّى الخلايا المنتجة للطاقة الكهربائية عندئذ خلايا جلفانية وهي أنظمة تحوِّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية عن طريق تفاعل أكسدة واختزال يحدث بشكل تلقائي ومستمرّ.
ماذا نعني بشكل تلقائي ومستمرّ؟ نعني بذلك استيفاء شروط توليد تيّار كهربائي وهي كالتالي:

- وجود فرق جهد ناتج من الاختلاف في النشاط الكيميائي ومن تفاعلات الأكسدة والاختزال.
- وجود حاملات الشحنات (موصلات): موصل فلزّي أو إلكتروني لحركة الإلكترونات في الدائرة الكهربائية الخارجية وموصل إلكتروليتي أو أيوني لحركة الأيونات (الموجبة أو السالبة) في الخليّة.

32

4.2 مناقشة

أشر للطلّاب أنّ الخلية الإلكتروكيميائية التي تنتج طاقة كهربائية من خلال التفاعلات الكيميائية، تتكوّن من نصفي خليّة. أشر أيضًا إلى أنّ نصف الخليّة يُشكِّل أحد إلكترودَيها.

وضِّح للطلّاب أنّ نصف الخليّة (الإلكترود أو القطب) يتكوّن من شريحة فلزّية مغمورة في محلول مادّة إلكتروليتية يكون عادة فيها الكاتيون مشتقّ من فلزّ من نفس طبيعة الشريحة.

وجّه للطلّاب السؤال التالي:

أعط مثالًا على محلول إلكتروليتي يمكن استعماله في كلّ من أنصاف الخلايا التي تحتوي على أحد المعادن التالية:

خارصين Zn: كبريتات الخارصين $ZnSO_4$

حديد Fe: كبريتات الحديد II $FeSO_4$

نحاس Cu: كبريتات النحاس II $CuSO_4$

فضّة Ag: نيترات الفضّة $AgNO_3$

وضّح للطلّاب أن تركيز المحلول الإلكتروليتي والضغط والحرارة تسمح بتمييز نصف الخليّة القياسية عن أنصاف الخلايا الأخرى.

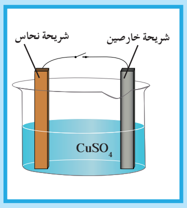
يكون نصف الخليّة قياسي عندما يكون تركيز المحلول الإلكتروليتي 1 M عند درجة حرارة 25 °C وضغط يعادل 101 kPa.

وضّح للطلّاب أن حالة اتزان تحدث بين ذرّات الفلزّ الذي تتكوّن منه الشريحة وكاتيوناته الموجودة في المحلول الإلكتروليتي.

لذلك لا يحدث أيّ تفاعل في نصف الخليّة (يكون تركيز المحلول ثابتًا وكتلة الشريحة ثابتة)، لذلك يُعتبَر نصف الخليّة المفرد دائرة مفتوحة.

مثال على ذلك الخليّة الإلكتروكيميائية الموضَّحة في الشكل (6) تتكوّن من وعاء يحتوي على شريحة خارصين وشريحة نحاس، تسمّيان أقطابًا، كلّ منهما مغمورتان جزئيًّا في محلول إلكتروليتي وليكن كبريتات النحاس (II) والدائرة الخارجية تتكوّن من سلك من النحاس ومفتاح وفولتمتر لقياس فرق الجهد. عند فتح الدائرة الكهربائية يحدث تفاعل أكسدة عند شريحة الخارصين الذي تميل ذرّاته إلى خسارة إلكترونات ويُسمّى **أنودًا Anode**. يحدث تفاعل اختزال لكاتيونات النحاس، عند شريحة النحاس، وتُسمّى **كاثودًا Cathode**.

للتحكّم في استمرارية التفاعل أُعدّ نصفا الخليّة في مكانين منفصلين فيزيائيًّا (الخليّة الجلفانية).



شكل (6)
ينتج من تأكسد كلّ ذرّة خارصين $2e^-$ ينتقلان عبر السلك الفلزّي إلى قطب النحاس حيث تختزل أيون Cu^{2+}.

1.1 أنصاف الخلايا Half – Cells

يتكوّن **نصف الخليّة Half – Cell** من وعاء يحتوي على شريحة مغمورة جزئيًّا في محلول إلكتروليتي لأحد مركَّبات مادّة الشريحة. وعندما تكون الظروف قياسية أي عند درجة حرارة 25 °C وضغط يعادل 101 kPa وتركيز محلول 1 M يُسمَّى نصف الخليّة **نصف الخليّة القياسي Standard Half – Cell** (شكل 7). وتوجد أنواع أخرى من أنصاف الخلايا تكون فيها مادّة الشريحة مختلفة عن الأيونات الموجودة في المحلول.

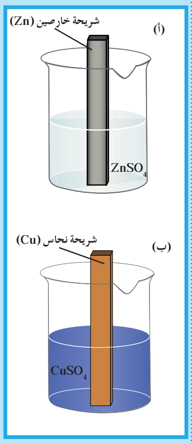
مثال على أنصاف الخلايا القياسية: $Zn^{2+}_{(aq)}$ (1 M)/$Zn_{(s)}$

نصف خليّة الخارصين القياسية التي تتكوّن من وعاء يحتوي على شريحة خارصين مغمورة جزئيًّا في محلول مائي تركيزه 1 M من كاتيونات الخارصين (Zn^{2+}) عند درجة حرارة 25 °C وضغط يعادل 101 kPa.

وتحدث حالة اتزان بين ذرّات شريحة الخارصين وكاتيوناته.

ونتيجة حالة الاتزان: $Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Zn_{(s)}$

- يبقى تركيز الكاتيونات في المحلول ثابتًا.
- تبقى كتلة الشريحة ثابتة.
- يُعتبَر نصف الخليّة المفرد دائرة مفتوحة.



شكل (7)
مثال على نصف خليّة الخارصين القياسية (أ) ونصف خليّة النحاس القياسية (ب) ويعبّر عنه الرمز الاصطلاحي لتصنيف خليّة كالمثال التالي: $X^{n+}_{(aq)}$ (1 M)/$X_{(s)}$ وهي تعبّر عن عملية الاختزال للنوع الموجود لنصف الخليّة.

2.1 نصف خليّة الهيدروجين القياسية Standard Hydrogen Half–Cell

يتكوّن **نصف خليّة الهيدروجين القياسية Standard Hydrogen Half – Cell** كما هو موضَّح في الشكل (8) من قطب بلاتين مغمور في محلول حمضي يحتوي على كاتيون الهيدروجين عند ظروف قياسية. والقطب نفسه عبارة عن شريحة رقيقة مربّعة وصغيرة من البلاتين مغطّاة بطبقة سوداء من البلاتين المجزّأ تجزيئًا دقيقًا الذي يعمل كمادّة محفِّزة. حيث يوضع القطب داخل غلاف زجاجي يمرّ فيه غاز الهيدروجين بضغط 101 kPa.

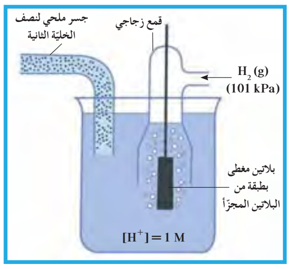
33

5.2 استخدام الصورة المرئية

اطلب إليهم ملاحظة الشكل (8) في كتاب الطالب الذي يوضّح قطب الهيدروجين الذي اختاره العلماء كقطب قياسي واصطلحوا أنّ قيمة جهد الاختزال عنده تساوي 0 V.

وضّح لهم أنّ الرمز $E^\circ_{H^+/H_2}$ يمثّل جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الهيدروجين القياسية.

وضّح لهم أنّ بإمكانهم استعمال نصف خليّة الهيدروجين القياسية، معلوم الجهد، لحساب جهد نصف الخليّة الآخر باستعمال المعادلة التي سيتعلمها في الفصل التالي.



شكل (8)
قطب هيدروجين قياسي اصطلح اعتبار أنّ قيمة جهد اختزاله تساوي صفر فولت

ويمكن تمثيل نصف التفاعل الذي يحدث عند الطبقة السوداء من البلاتين كالتالي:

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons H_{2\,(g)} \qquad E^\circ_{H^+/H_2} = 0.00\ V$$

يمثّل الرمز $E^\circ_{H^+/H_2}$ جهد الاختزال القياسي، ويُعرف بأنه ميل كاتيونات الهيدروجين إلى أن تكتسب إلكترونات وتُختزَل إلى غاز الهيدروجين H_2.

الرمز الاصطلاحي لنصف خليّة الهيدروجين القياسية هو:

$H^+_{(aq)}$ (1 M)/$H_{2(g)}$(1atm), Pt

2. الخليّة الجلفانية Galvanic Cell

الخليّة الجلفانية هي خليّة تنتج طاقة كهربائية من خلال التفاعلات الكيميائية وهي تتكوّن من نصف خليّة خارصين، ونصف خليّة نحاس، وموصّل فلزّي وجسر ملحي.

1.2 تركيب الخليّة الجلفانية Galvanic Cell Composition

تتألّف الخليّة الجلفانية (خليّة خارصين – نحاس) Zn – Cu من العناصر التالية:

- موصل فلزّي في الدائرة الخارجية ومفتاح وفولتمتر لقياس فرق الجهد.
- جسر ملحي، وهو أنبوب على شكل حرف U يحتوي على محلول إلكتروليتي من مثل نيترات البوتاسيوم (KNO_3) المذاب في جيلاتين لربط نصفي الخليّة.

34

6.2 مناقشة

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الشكل (9) الذي يوضّح الخليّة الجلفانية (الفولتية) التي يُستخدَم فيها الخارصين والنحاس. يتكوّن نصفها الأوّل من شريحة خارصين مغمورة في محلول من كبريتات الخارصين في حين يتكوّن نصفها الثاني من شريحة نحاس مغمورة في محلول من كبريتات النحاس. ويفصل النصفين جسر ملحي يحتوي على إلكتروليت قوي مثل محلول نيترات البوتاسيوم. يُخلَط الإلكتروليت المُستعَمل مع مادّة هلامية لمنع امتزاج السوائل. وضّح لهم إمكانية استبدال الجسر الملحي بلوح مسامي يسمح للأيونات بالمرور من نصف خليّة إلى آخر من دون اختلاط المحاليل بشكل تام.

فسِّر أنّ توصيل فولتمتر أو مصباح كهربائي في الدائرة الخارجية سيؤكّد لنا مرور التيّار الكهربائي. أشر إلى أن القوّة الدافعة الكهربائية لمثل هذه الخليّة تنتج من تفاعل أكسدة واختزال تلقائي بين فلزّ الخارصين وأيونات النحاس. اسأل الطلّاب: هل يتأكسد فلزّ الخارصين أم يُختزَل؟

[يتأكسد.]

وضّح أنّ شريحتي الخارصين والنحاس في الخليّة تُعرفان بالقطبين، وأنّ القطب هو موصل الإلكترونات إلى أو من المادّة ويُطلَق عليه اسم أنود أو كاثود. يُسمّى القطب الذي يحدث عنده أكسدة الأنود (القطب السالب) في حين يُسمّى القطب الذي يحدث عنده الاختزال الكاثود (القطب الموجب). اشرح للطلّاب أنّ القطبين غير مشحونين وأنّ شحنة جميع أجزاء الخليّة الفولتية تظلّ موزّعة في جميع الأوقات فالإلكترونات المتنقّلة توازن أيّ شحنة يمكن أن تنشأ عند حدوث الأكسدة والاختزال.

7.2 مناقشة

اسأل الطلّاب: ماذا يحدث داخل الخليّة الإلكتروكيميائية أثناء تفاعلات الأكسدة والاختزال؟

[تتمّ العملية التي تحدث في الخليّة الإلكتروكيميائية الجلفانية (الفولتية) وفقًا للخطوات التالية:

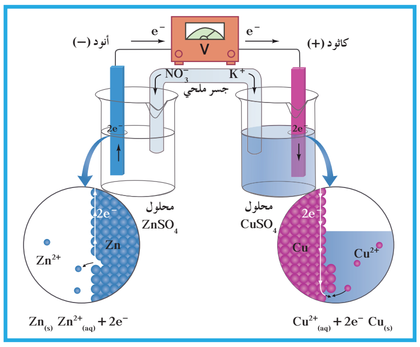
– تنتج الإلكترونات عند قطب الخارصين تبعًا لنصف تفاعل الأكسدة فيتأكسد القطب ويصبح أنودًا أو قطبًا سالبًا.

– تترك الإلكترونات أنود الخارصين وتنتقل عبر الدائرة الخارجية، فيضيء المصباح.

– تنتقل الإلكترونات إلى شريحة النحاس في محلول نصف تفاعل الاختزال. فتصبح شريحة النحاس القطب الموجب أو الكاثود في الخليّة.

– تتحرّك الأيونات الموجبة والسالبة بين المحاليل المائية عن طريق الجسر الملحي.]

في الخلية الجلفانية يغلق الموصل الفلزّي الدائرة الخارجية ويغلق الجسر الملحي الدائرة الداخلية (شكل 9).



شكل (9)
في هذه الخليّة الجلفانية تتولّد الإلكترونات من أكسدة Zn إلى كاتيونات Zn^{2+} وتصعد إلى أعلى شريحة الخارصين ثمّ تمرّ عبر السلك الكهربائي حتى تصل إلى شريحة النحاس وتختزل هذه الإلكترونات كاتيونات Cu^{2+} المحيطة بشريحة النحاس إلى Cu.

2.2 كيف تعمل الخليّة الجلفانية؟
How does the Galvanic Cell Work?

عند ربط قطبي الخليّة لتشكيل الدائرة الخارجية، ينحرف مؤشّر الفولتمتر ما يدلّ على مرور تيّار كهربائي. يمرّ التيّار الكهربائي في الدائرة الخارجية من قطب النحاس إلى قطب الخارصين ما يعني أنّه يمرّ في الاتّجاه المعاكس في الدائرة الداخليّة للخليّة المؤلّفة من المحاليل والجسر الملحي.

التفاعلات والتغيّرات التي تحدث في خلال عمل الخليّة الجلفانية هي:

(أ) نقص كتلة قطب الخارصين Decrease in Zn Electrode Mass

تنتج الإلكترونات عن قطب الخارصين بسبب أكسدة فلزّ الخارصين Zn وتحوّله إلى كاتيونات خارصين Zn^{2+} بحسب التفاعل التالي:

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

يزداد تركيز كاتيونات الخارصين Zn^{2+} في المحلول وتتناقص كتلة قطب الخارصين الذي يسمّى الأنود ويوصف بأنّه سالب بسبب تولّد الإلكترونات عنده.

(ب) زيادة كتلة قطب النحاس Increase in Cu Electrode Mass

تختزل الإلكترونات التي تصل إلى هذا القطب كاتيونات النحاس (II) Cu^{2+} الموجودة في محلول كبريتات النحاس (II) فتتحوّل إلى ذرّات نحاس تترسّب على شريحة النحاس.

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$$

ينتج من التفاعل نقص تركيز كاتيونات النحاس Cu^{2+} وزيادة كتلة شريحة النحاس الذي يسمّى الكاثود ويوصف بأنّه موجب لأنّه يكتسب الإلكترونات الآتية من الأنود.

3.2 الجسر الملحي Salt Bridge

يستمرّ التفاعلان التاليان في خلال عمل الخليّة:

تفاعل الأكسدة عند الأنود: $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

تفاعل الاختزال عند الكاثود: $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

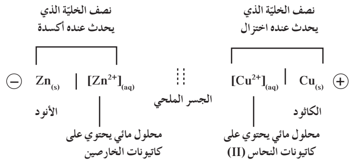
يتزايد تركيز كاتيونات الخارصين Zn^{2+} عند الأنود ما يؤدّي إلى تزايد الشحنات الموجبة في المحلول. في حين يتناقص تركيز كاتيونات النحاس Cu^{2+} عند الكاثود وبالتالي تزيد الشحنات السالبة في المحلول نتيجة اختزال كاتيونات النحاس.

لإعادة التعادل الكهربائي للمحاليل في نصفي الخليّة، تهاجر أيونات الجسر الملحي إلى المحاليل في كلا الكأسين. تهاجر كاتيونات إلكتروليت الجسر الملحي إلى نصف خليّة النحاس في منطقة الكاثود (التي تحتوي على عدد أكبر من الأنيونات) في حين تهاجر أنيونات إلكتروليت الجسر الملحي إلى نصف خليّة الخارصين في منطقة الأنود (التي تحتوي على عدد أكبر من الكاتيونات).

4.2 الرمز الاصطلاحي للخلايا الجلفانية
Galvanic Cell Representation

يُعبّر الرمز الاصطلاحي بإيجاز عن الخليّة إذ يدلّ على تركيبها والتفاعلات التي تحدث في خلال عملها.

يُعبَّر عن الخليّة الجلفانية Cu – Zn بالتالي:



8.2 مناقشة

اشرح للطلّاب أنّ الخليّة الفولتية خارصين – نحاس، رغم أهمّيتها التاريخية، لا تُستخدَم تجاريًا ويقتصر استعمالها على شرح كيفية توليد الطاقة الكهربائية بفعل التغيّر الكيميائي.

دعهم يستنتجون أنّنا نحتاج إلى مصدر طاقة كهربائية متنقّل وأنّ البطّاريات الجافّة المدمجة وذات الحجم الصغير تُعَدّ حاليًّا مثالًا على الخلايا الفولتية. وضِّح للطلّاب أنّ الخليّة الجافّة الشائعة هي خليّة إلكتروكيميائية تنتج جهد يساوي حوالى 1.5 V وعمرها الافتراضي قصير.

ناقش مع الطلّاب: ما هي الموادّ التي تتأكسد؟ وما هي الموادّ التي تُختزَل في الخليّة الجافّة؟

[يتأكسد الخارصين، وتُختزَل كاتيونات الأمونيوم والمنجنيز]

9.2 مناقشة

وضِّح للطلّاب كيف يمكن تمثيل أنصاف التفاعلات في الخليّة الجافّة، واكتب معادلتي الأكسدة والاختزال على السبّورة ثمّ اطرح عليهم الأسئلة التالية:

$$Zn_{(s)} \quad Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

$$2MnO_{2(s)} + 2NH^+_{4(aq)} + 2e^- \quad Mn_2O_{3(s)} + 2NH_{3(g)} + H_2O_{(l)}$$

- اكتب معادلة التفاعل النهائي في الخليّة الجافّة.

[$Zn_{(s)} + 2MnO_{2(s)} + 2NH^+_{4(aq)} \quad Zn^{2+}_{(aq)} + Mn_2O_{3(s)} + 2NH_{3(g)} + 2H_2O_{(l)}$]

- ما دور عمود الجرافيت في الخليّة الجافّة؟

[يعمل عمود الجرافيت كموصل فقط ولا يُختزَل على الرغم من أنّه كاثود].

فسّر للطلّاب أن كاتيونات الخارصين تتفاعل مع جزيئات الأمونيا لتكوين مركّب $[Zn(NH_3)_2]^{2+}$ أو $[Zn(NH_3)_2.(H_2O)]^{2+}$.

10.2 مناقشة

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الشكل (11) في كتاب الطالب الذي يشرح دور المركم الرصاصي في السيّارة. وضِّح للطلّاب أن إدارة مفتاح تشغيل السيّارة تؤدّي إلى إشعال الجازولين بفعل إطلاق المركم الرصاصي طاقة تنشّط بدء الاحتراق الداخلي في محرّك السيّارة. فسِّر للطلّاب أنّ إعادة شحن البطّارية من جديد تبدأ عند دوران محرّك السيّارة. يحدث تفاعل عكسي عند إعادة شحن بطّارية المركم الرصاصي عن طريق دوران المولّد الكهربائي (الدينامو) الموجود في السيّارة. اشرح للطلّاب أنّ التفاعل العكسي غير تلقائي ويتمّ بتمرير تيّار كهربائي مستمرّ عبر المركم في عكس اتجاه التيّار الذي ينتجه المركم. وضِّح أنّ كمّيات صغيرة من كبريتات الرصاص تتساقط تدريجيًّا مع مرور الوقت ما يؤدّي، في نهاية المطاف، إلى إتلاف إحدى خلايا المركم فيتوجّب استبداله بآخر جديد.

ألفت نظر الطلّاب إلى أنّ الشكل (12) في كتاب الطالب يوضّح عمليتي تفريغ المركم الرصاصي وإعادة شحنه. اكتب نصفي التفاعل على السبّورة. وذكّر الطلّاب بأنّ تفاعل الأكسدة والاختزال يحدث في وسط حمضي لذلك نرى كاتيونات H^+ في نصفي التفاعل.

3. تطبيقات على الخلايا الجلفانية

Galvanic Cell Applications

تُصنّف الخلايا التجارية إلى نوعين هما خلايا أوّلية وخلايا ثانوية. **تحوِّل الخلايا الأوّلية Primary Cells الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة حدوث تفاعلات أكسدة واختزال بشكل تلقائي وهي غير قابلة لإعادة الشحن** مثال عليها الخليّة الجافّة (خليّة لوكلانشيه Leclanche Cell) أي خليّة خارصين – كربون. **في حين تحوِّل الخلايا الثانوية Secondary Cells الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة حدوث تفاعلات أكسدة واختزال بشكل تلقائي ولكنّها قابلة لإعادة الشحن** بتوصيلها بمصدر خارجي للتيّار الكهربائي يعمل على عكس التفاعلات التي حدثت في الخليّة. مثال على هذه الخلايا المركم الرصاصي (بطارية السيارة) الشائع الاستخدام.

اخترع المهندس الفرنسي جورج لوكلانشيه Georges Leclanche **الخليّة الجافّة Dry Cell** في العام 1866م وأصبحت **تُعرف باسمه أي خليّة لوكلانشيه Leclanche Cell وهي تُعتبَر مصدرًا رئيسيًّا للطاقة الكهربائية في ألعاب الأطفال والكاشفات الكهربائية وغيرها.**

1.3 الخليّة الجافّة (خارصين – كربون)

Dry Cell (Zinc – Carbon)

تتألّف الخليّة الجافّة من:

- الأنود، وهو عبارة عن جدار من الخارصين، يفصل بينه وبين الموادّ الكيميائيّة الأخرى ورق مسامي يشبه الجسر الملحي من حيث الوظيفة.
- الكاثود، وهو عبارة عن قضيب من الجرافيت (كربون)، يمرّ بمركز الخليّة الجافّة وهو غير نشط كيميائيًّا. يملأ الفراغ بين القطبين معجون رطب مكوّن من كلوريد الخارصين $ZnCl_2$، وكلوريد الأمونيوم NH_4Cl وثاني أكسيد المنجنيز MnO_2 (شكل 10).

شكل (10)
تركيب الخليّة الجافّة

التفاعلات في الخليّة الجافّة Reactions in Dry Cell

يبدأ تفريغ الخليّة عند إغلاق الدائرة ويبدأ تدفّق الإلكترونات من الخليّة.

عند الأنود، يتأكسد الخارصين Zn ويتحوّل إلى كاتيونات الخارصين Zn^{2+} التي تنتشر في المعجون الرطب:

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

تنتقل الإلكترونات في خلال هذا التفاعل من الخارصين إلى قضيب الجرافيت عبر الدائرة الخارجية.

37

عند الكاثود، تُختزَل كاتيونات الأمونيوم:

$$2NH^+_{4(aq)} + 2e^- \quad 2NH_{3(g)} + H_{2(g)}$$

يؤكسد ثاني أكسيد المنجنيز MnO_2 غاز الهيدروجين الذي تكوّن في خلال اختزال الأمونيوم ويمنعه من التراكم.

$$H_{2(g)} + 2MnO_{2(s)} \quad Mn_2O_{3(s)} + H_2O_{(l)}$$

تسمح المعادلتان السابقتان بكتابة تفاعل الاختزال الذي يحدث عند الكاثود.

$$2MnO_{2(s)} + 2NH^+_{4(aq)} + 2e^- \quad Mn_2O_{3(s)} + 2NH_{3(g)} + H_2O_{(l)}$$

عند جمع معادلتي تفاعل الأكسدة والاختزال جمعًا جبريًّا يمكن الحصول على التفاعل النهائي للخليّة الذي ينتج جهدًا قدره 1.5 V.

$$Zn_{(s)} + 2MnO_{2(s)} + 2NH^+_{4(aq)} \quad Zn^{2+}_{(aq)} + 2NH_{3(g)} + Mn_2O_{3(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

يتفاعل الأمونيا NH_3 مع أيونات الخارصين لإنتاج مركّب خارصين – أمونيا معقّد (Zinc – Ammonia Complex) يمنع، عند تكوّنه، انبعاث وتراكم غاز الأمونيا.

$$Zn^{2+}_{(aq)} + 2NH_{3(g)} \quad [Zn(NH_3)_2]^{2+}_{(aq)}$$

وتصبح المعادلة النهائية:

$$Zn_{(s)} + 2MnO_{2(s)} + 2NH^+_{4(aq)} \quad [Zn(NH_3)_2]^{2+}_{(aq)} + Mn_2O_{3(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

وهذا يؤدّي إلى عدم إمكانية إعادة الشحن.

2.3 المركم الرصاصي (بطّارية السيارة)

Lead Storage Batteries

المركم الرصاصي Lead Storage Batteries هو بطّارية مكوّنة من خلايا فولتية متصلة ببعضها البعض. يشيع استخدامه كبطّارية للسيارات إذ يولّد فرقًا في الجهد قدره 12 V. يتكوّن المركم الرصاصي من ألواح رصاصية شبكية كما هو موضّح في الشكل (11).

وتُملأ هذه الألواح تبادليًّا أحدها بالرصاص الإسفنجي (Pb) ويمثّل الأنود والآخر بعجينة من ثاني أكسيد الرصاص (PbO_2) ويمثّل الكاثود. ويغمر هذه الألواح محلول حمض كبريتيك مخفّف يعمل كسائل موصل للتيار الكهربائي (إلكتروليت).

تُكتب أنصاف التفاعلات كالتالي:

الأكسدة:

$$Pb_{(s)} \quad PbSO_{4(s)}$$

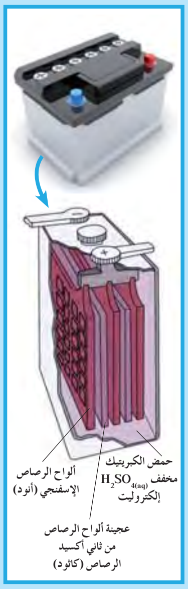
$$Pb_{(s)} + SO^{2-}_{4(aq)} \quad PbSO_{4(s)} + 2e^-$$

الاختزال:

$$PbO_{2(s)} \quad PbSO_{4(s)}$$

$$PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} \quad PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

$$PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)} + 2e^- \quad PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$



شكل (11)
يتكوّن المركم الرصاصي من ستّ خلايا، متصلة على التوالي، تبلغ القوة الدافعة الكهربائية لكلّ منها 2 V.

38

11.2 مناقشة

وضّح للطلّاب أنّ بطّارية المركم الرصاصي تكفّ عن التجدّد بعد فترة من الاستعمال ما استدعى إنتاج أقطاب قابلة للتجديد تدخل في تركيب خلايا يُطلق عليها اسم خلايا الوقود.

اطلب إليهم ملاحظة الشكل (13) في كتاب الطالب الذي يوضّح خليّة وقود هيدروجين – أكسجين (H_2/O_2) وهي مصدر نظيف للطاقة الكهربائية. يُستخدَم مثل هذه الخلايا في الآليات الفضائية.

اشرح لهم أنّ خلايا الوقود تضمّ ثلاثة أقسام يفصلها عن بعضها بعضًا قطبان من الكربون المسامي وتحتوي على محلول مركّز من هيدروكسيد البوتاسيوم. وضّح لهم أنّ غاز الأكسجين هو العامل المؤكسد عند الكاثود، وأنّ غاز الهيدروجين هو العامل المختزل عند الأنود وينتشر هذان الغازان عبر الأقطاب.

ناقش مع الطلّاب أنّ التفاعل النهائي للخليّة هو أكسدة الهيدروجين لتكوين الماء.

وضّح للطلّاب إمكانية استبدال غاز الهيدروجين بأنواع أخرى من الوقود مثل الميثان والأمونيا واستبدال غاز الأكسجين بغازات أخرى من مثل الأوزون.

اطلب إلى الطلّاب تعداد فوائد خلايا الوقود واسألهم: هل تصلح لتزويد الآليات الفضائية بالطاقة للرحلات الطويلة؟

[لا تحتاج إلى إعادة شحن، لا تنتج ملوّثات، ولا يصدر عنها أيّ ضوضاء وبالتالي يمكن استعمالها لتزويد الآليات الفضائية بالطاقة للرحلات الطويلة.]

إجابة السؤال الوارد في الشكل (13) في كتاب الطالب

[الماء]

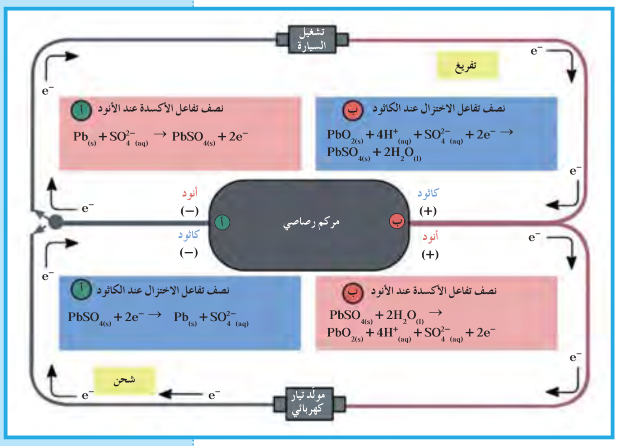
عند جمع معادلتي تفاعل الأكسدة والاختزال جمعًا جبريًّا نحصل على التفاعل النهائي للخليّة:

$$Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 2H_2SO_{4(aq)} \rightarrow 2PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

توضّح هذه المعادلة أنّ كبريتات الرصاص تتكوّن عند إغلاق الدائرة الخارجية للخليّة وتتراكم على الألواح ببطء فيقلّ تركيز حمض الكبريتيك وهذا ما يُسمّى عمليّة التفريغ.
يحدث التفاعل العكسي عند إعادة شحن المركم الرصاصي عن طريق دوران مولّد التيّار الكهربائي الموجود في السيارة.

$$2PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 2H_2SO_{4(aq)}$$

هذا التفاعل غير تلقائي ويتطلّب مرور تيّار كهربائي مستمرّ عبر خلايا المركم في عكس اتجاه التيّار الذي يمرّ أثناء عملية التفريغ. من الناحية النظرية، يمكن تفريغ المركم الرصاصي وإعادة شحنه لعدد لا نهائي من المرّات (شكل 12) ولكنّ عمره، من الناحية العملية، محدود ويرجع ذلك إلى ترسّب كمّيات صغيرة من كبريتات الرصاص في قاعه.



شكل (12)
تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تحدث عند تفريغ المركم الرصاصي وإعادة شحنه

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب

لتقييم استيعاب الطلّاب لهذا الدرس، اجرِ الخطوات التالية:

- اطلب إلى الطلّاب معرفة القطب الذي سيُسمّى الأنود والقطب الذي سيُسمّى الكاثود في الخليّة الجلفانية.

[يُسمّى قطب الخارصين الأنود وقطب النحاس الكاثود.]

- اطلب إلى الطلّاب شرح دور الجسر الملحي في الخليّة الجلفانية.

[ربط نصفي الخليّة الجلفانية ليمرّ التيّار الكهربائي كما أنّه يعيد التعادل الكهربائي للمحاليل في نصفي الخليّة.]

- اطلب إلى الطلّاب تمثيل الخليّة الجلفانية المكوّنة من الخارصين والنحاس.

$[\ominus Zn_{(s)} \mid [Zn^{2+}_{(aq)}] \parallel [Cu^{2+}_{(aq)}] \mid Cu_{(s)} \oplus]$

- اطلب إلى الطلّاب رسم جدول يقارن بين الخلايا الفولتية، الخلايا الجافّة والمركم الرصاصي.
- اطلب إليهم رسم مخطّط يوضّح المركم الرصاصي ونصفي التفاعل اللذين يحدثان عند الأنود والكاثود.
- اطلب إليهم إعطاء أمثلة على استخدامات خلايا الوقود.
- أسألهم: ممَّ ينتج التيّار الكهربائي في خلايا الوقود؟

[من سريان الإلكترونات الناتجة من تفاعل الأكسدة على الأنود]

3.3 خلايا الوقود Fuel Cells

لأنّ بطّاريات المركم الرصاصي تكفّ عن التجدّد بعد فترة من الاستعمال، تمّ حديثًا إنتاج أقطاب قابلة للتجدد، من دون عامل خارجي كتيّار كهربائي، تدخل في صنع خلايا يُطلق عليها اسم **خلايا الوقود Fuel Cells وهي خلايا فولتية تحتوي على مادّة وقود تتأكسد لتعطي طاقة كهربائية مستمرّة** ولا تحتاج إلى إعادة شحن. تُصمَّم هذه الخلايا بحيث لا ينطلق منها أيّ ملوّثات للبيئة وتعمل من دون أن تسبّب ضوضاء. وأبسط أنواع خلايا الوقود هي خليّة الوقود هيدروجين – أكسجين (خليّة الوقود H_2/O_2) الموضّحة في الشكل (13).

الأكسدة عند الأنود (وسط قاعدي):

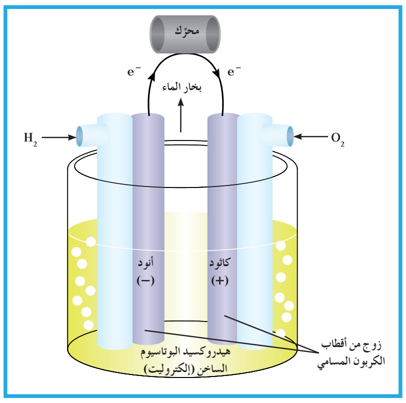
$$2H_{2(g)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + 4e^-$$
$$2H_{2(g)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + 4OH^-_{(aq)} + 4e^-$$
$$2H_{2(g)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow 4H_2O_{(l)} + 4e^-$$

الاختزال عند الكاثود (وسط قاعدي):

$$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$
$$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + 4OH^-_{(aq)}$$
$$O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^- \rightarrow 4OH^-_{(aq)}$$

والتفاعل النهائي للخليّة هو أكسدة الهيدروجين لتكوين الماء:

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$



شكل (13)
خليّة الوقود هيدروجين – أكسجين (H_2/O_2) هي مصدر نظيف للطاقة الكهربائية، وتُستخدَم مثل هذه الخلايا في الآليات الفضائية. ما هي الفضلات أو النواتج المهملة، إذا وُجِدت، التي تنتج من استخدام هذه الخلايا؟

2.3 إعادة التعليم

وضِّح أن الخلايا الأوّلية تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية ولا يمكن شحنها على عكس الخلايا الثانوية التي يمكن شحنها.
ناقش التفاعلات التي تحدث في الخلايا الجافّة، المركم الرصاصي وخلايا الوقود.
وضِّح للطلّاب أنّ المركم الرصاصي خليّة ثانوية يمكن إعادة شحنها من خلال ربطها بتيّار كهربائي. ذكّر الطلّاب بأن الجهد الناتج من المركم الرصاصي هو حصيلة عدد الخلايا الذي تتكوّن منه هذه الخليّة. ذكّر الطلّاب بأن خلايا الوقود خلايا فولتية لا تحتاج إلى إعادة شحن.

إجابات أسئلة الدرس 1–3

1. لا يمكن إطلاق إلكترونات إلى الدائرة الخارجية إذا لم يتم فصل فلّز الخارصين عن المحلول الذي يحتوي على كاتيونات النحاس بسبب تكوين راسب النحاس على قطب الخارصين.
2. مصدر الطاقة هو سريان الإلكترونات ناتجة من تفاعلات الأكسدة والاختزال.
3. يمكن منع تكوّن هذه الطبقة بتكوين مركَّبات خارصين معقّدة: $[Zn(NH_3)_2 . (H_2O)]^{2+}$ و $[Zn(NH_3)_2]^{2+}$ عندما تنتقل كاتيونات الخارصين إلى الكاثود حيث تتفاعل مع جزيئات الأمونيا NH_3.
4. عندما تُترَك البطّارية الجافّة لفترة من الزمن تحدث تفاعلات وتنتقل أيونات بحيث تزيل نواتج التفاعل السابق الموجودة في جوار القطبين.
5. للإضاءة، لتشغيل أجهزة الراديو، الحاسبات الإلكترونية، وغيرهما
6. الأنود هو شريحة الخارصين والكاثود هو شريحة الجرافيت. يتأكسد الخارصين عند الأنود، وتُختزَل كاتيونات الأمونيا عند الكاثود. الرسم التوضيحي هو الشكل (10) الوارد ص (37) في كتاب الطالب.

يمكن استبدال الهيدروجين بأنواع أخرى من الوقود من مثل الميثان (CH_4) والأمونيا (NH_3) واستبدال الأكسجين بغازات مؤكسدة من مثل الكلور (Cl_2) والأوزون (O_3). تُنتَج حاليًّا، خلايا الوقود وتستخدم كمصادر إضافية للطاقة في الغوّاصات والآليات العسكرية والفضائية.

مراجعة الدرس 1–3

1. لماذا يجب فصل فلزّ الخارصين عن المحلول الذي، يحتوي على كاتيونات النحاس، في الخليّة الجلفانية؟
2. ما هو مصدر الطاقة الناتجة من الخليّة الجلفانية؟
3. في حال سحب كمّية كبيرة من التيّار من الخليّة الجافّة، تكوّن الأمونيا (NH_3)، التي تنتج عند قطب الجرافيت، طبقة عازلة حول القطب. كيف يمكن منع تكوّن مثل هذه الطبقة العازلة في الظروف العادية؟
4. من الملاحَظ أنّ البطّارية الجافّة تبدو وكأنّها قد فرغت بعد استخدامها لإضاءة كاشف كهربائي لمدّة ساعة. هل يمكن أن تولّد، مجدّدًا، تيّارًا كهربائيًّا إن لم تُستعمل لبعض الوقت؟
5. عدّد أهمّ استخدامات البطّارية الجافّة؟
6. اشرح كيفية تركيب الخليّة الجافّة موضّحًا المادّة المؤكسدة والمادّة المختزلة في هذا النوع من الخلايا وادعم شرحك برسم توضيحي.

41

الفصل الثاني

الخلايا الإلكتروكيميائية: أنصافها وجهودها

دروس الفصل

الدرس 2–1: أنصاف الخلايا وجهود الخلايا

الدرس 2–2: الخلايا الإلكتروكيميائية

في هذا الفصل، سيتعرّف الطلّاب معنى جهود الأقطاب القياسية وكيفية قياسها لقياس جهد الخليّة وتوقّع ما إذا كان تفاعل الأكسدة والاختزال تلقائي أو غير تلقائي. كما سيتعرّفون الأهمية الصناعية للخلايا الإلكتروكيميائية في خلال دراستهم عملية التحليل الكهربائي للماء، محلول كلوريد الصوديوم ومصهور كلوريد الصوديوم.

سينفّذ الطلّاب في هذا الفصل نشاطين عمليين يعزّزان فهمهم لهذه الخلايا ولمعنى أنصاف التفاعلات هما:

- جهود الاختزال
- التحليل الكهربائي للماء بوجود أزرق البروموثيمول

اختبار المعلومات السابقة لدى الطلاب

وجّه إليهم أسئلة حول كيفية تحديد ما إذا كان تفاعل ما تفاعل أكسدة واختزال أم لا.

قسّم الطلّاب إلى مجموعات ودعهم يناقشون إجاباتهم بشأن المعادلتين التاليتين:

$$Fe_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow FeCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

$$2KClO_{3(s)} \rightarrow 2KCl_{(s)} + 3O_{2(g)}$$

دعهم يستعملون المفردات التالية في إجاباتهم ويعلّلون اختيارهم: تفاعل أكسدة، تفاعل اختزال، عامل مؤكسد، عامل مختزل، عدد التأكسد.

الفصل الثاني

الخلايا الإلكتروكيميائية: أنصافها وجهودها

Electrochemical Cells: Half – Cells and Cell Potentials

بمجرد ذكر اسم العالم الإيطالي لويجي جلفاني Luigi Galvani يتوارد إلى ذهنك اسم الخليّة الجلفانية التي سُمّيت تيمّنًا به. وهي تُسمّى في بعض الأحيان الخلايا الفولتية تيمّنًا بالعالم الإيطالي ألساندرو فولتا Alessandro Volta.

مع تقدّم الزمن والتكنولوجيا، أصبحت هذه الخلايا المحرّك الأساسي الذي يولّد الطاقة الكهربائية لتشغيل كثير من الأدوات التي نعتمد عليها في حياتنا اليومية كأجهزة الكمبيوتر، الساعات الرقمية، الهواتف النقّالة، إلخ. ولكن شيء واحد لم يتغيّر وهو اعتمادها كلّها على تفاعلات إلكتروكيميائية بين موادّ ذات جهود كهربائية مختلفة. يؤدّي الاختلاف إلى حركة إلكترونات، من عامل مختزل في الأنود إلى عامل مؤكسد في الكاثود، تُعرف بالتيّار الكهربائي.

دروس الفصل

الدرس الأوّل

- أنصاف الخلايا وجهود الخلايا

الدرس الثاني

- الخلايا الإلكتروليتية

42

خلفية علمية

الخلايا

تفاعلات الأكسدة والاختزال هي تفاعلات مبنية على انتقال إلكترونات من عامل مختزل إلى عامل مؤكسد. ويُعتبَر العالم فالتر هيرمان نيرنست Walther Hermann Nernst (1864–1941) من أوائل واضعي النظرية الإلكتروكيميائية التي تشرح هذه التفاعلات التي باتت مجتمعاتنا اليوم تعتمد عليها بشكل كبير. نذكر من استعمالاتها اليومية تشغيل الكمبيوتر، الراديو، السيّارات، الهواتف النقّالة، الساعات إلخ. ونلاحظ ضرورة وجود قطب سالب وآخر موجب في الخليّة وتوافر مكوّنات فلزّية وغير فلزّية مختلفة. ونلاحظ أيضًا، قدرة كلّ خليّة على إنتاج كمّية محدّدة من الطاقة الكهربائية. وتظهر أهمّية هذه الخلايا على المستوى الصناعي بفضل دورها في إنتاج هيدروكسيد الصوديوم وفلزّي الصوديوم والألمنيوم وغازات من مثل الكلور، الهيدروجين والأكسجين إلخ.

الدرس 1-2

أنصاف الخلايا وجهود الخلايا

الأهداف:

- يتعرّف جهد الخليّة القياسي وجهد الاختزال القياسي.
- يستخدم جهد الاختزال القياسي لحساب جهد الخليّة القياسي.

الأدوات المستعملة: جهاز عرض، بطاريات جافّة، أسلاك توصيل مع مشبك، مصباح كهربائي، جدول جهود الاختزال القياسية، ورقة عمل تحتوي على جدول جهود الاختزال القياسية.

صفحات الطالب: من ص 43 إلى ص 54

صفحات الأنشطة: من ص 18 إلى ص 21

عدد الحصص: 4

1. قدِّم وحفِّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الصورة الافتتاحية للدرس التي تمثّل سيّارة كهربائية تعمل على البطّاريات الجافّة. اطلب إليهم إعطاء أمثلة على أجهزة مختلفة نستخدمها في حياتنا اليومية وتعمل على البطّاريات الجافّة. دعهم يعطون أمثلة على أجهزة من مثل لعب الأطفال، الكشّافات وأجهزة التحكّم عن بعد.

وضِّح لهم أن كلّ البطّاريات المستعملة في هذه الأجهزة تُعرَف ببطّاريات فرق الجهد بين الطرف السالب والطرف الموجب. وهي تعمل وبطّارية السيّارة وفق المبدأ نفسه، إلّا أنّ بعضها قابل للشحن والبعض الآخر غير قابل للشحن يُرمى بعد استهلاكه.

وضِّح لهم أن هذا النوع من البطّاريات يُعرَف بمقاساته المختلفة، AAA، AA، C، D وفرق الجهد عنده يساوي 1.5 V.

2. علِّم وطبِّق

1.2 استعراض نشاط عملي يساعد الطلّاب على تعلُّم الدرس

قسم الطلّاب إلى مجموعات لتنفيذ هذا النشاط. وزِّع على كلّ مجموعة بطّاريتين جافّتين وأسلاك توصيل مع مشبك ومصباح كهربائي صغير.

اطلب إليهم توصيل بطّارية واحدة بالمصباح الكهربائي وملاحظة قوّة إضاءة المصباح ومن ثمّ توصيل بطّاريّتين على التوالي بالمصباح الكهربائي وملاحظة قوّة إضاءة المصباح ومقارنتها بقوّة إضاءته في الحالة الأولى. وضِّح لهم أنّ فرق الجهد الكهربائي للخليّة (البطّارية الجافّة أو الخليّة الفولتية) هو مقياس قدرة الخليّة على توليد التيّار الكهربائي الذي يُقاس بالفولت.

الدرس 1-2

أنصاف الخلايا وجهود الخلايا
Half-Cells and Cell Potentials

الأهداف العامة

- يتعرّف جهد الخليّة القياسي وجهد الاختزال القياسي.
- يستخدم جهد الاختزال القياسي لحساب جهد الخليّة القياسي.

شكل (14)
استخدام الخلايا الجافّة في الألعاب

تُعدّ بطّارية السيّارة، أو المركم الرصاصي، البطّارية الأكثر استخدامًا ويبلغ فرق الجهد بين الأنود والكاثود فيها 12 V. يشيع كذلك استخدام بطّاريات من نوع آخر هي تلك التي تشغّل الكاشفات الكهربائية، أجهزة التحكّم عن بعد، أجهزة الراديو، أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة (CD) إلخ. يبلغ فرق الجهد بين قطبي هذه البطّاريات 1.5 V أيًّا كانت مقاساتها AA, AAA, C, D (شكل 14).

1. الجهد الكهربائي Electrical Potential

الجهد الكهربائي Electrical Potential للخليّة الفولتية هو مقياس قدرة الخليّة على إنتاج تيّار كهربائي. ويُقاس عادة بالفولت (V) للخليّة كلّها إذ لا يمكن قياس جهد نصف خليّة مفردة. على سبيل المثال، لا يمكن قياس الجهد الكهربائي لنصف خليّة الخارصين أو الجهد الكهربائي لنصف خليّة النحاس وهما منفصلان عن بعضهما بعضًا ولكن عند توصيلهما لتكوين خليّة فولتية يصبح من الممكن قياس الفرق في الجهد.

43

راجع مع الطلّاب الخليّة الفولتية ووضّح لهم أنّه لايمكن قياس جهد نصف خليّة مفردة. أي لا يمكن قياس الجهد الكهربائي لنصف خليّة الخارصين أو الجهد الكهربائي لنصف خليّة النحاس وهما منفصلين وإنّما يجب توصيلهما لقياسه.

دعهم يستنتجون أنّ جهد الخليّة يساوي جهد الاختزال لنصف الخليّة الذي يحدث عنده الاختزال ناقص جهد الاختزال لنصف الخليّة الذي تحدث عنده الأكسدة.

$$E_{cell} = E_{reduction} - E_{oxidation}$$

2.2 مناقشة

وضِّح للطلّاب أن جهد الخليّة القياسي هو جهد الخليّة عند درجة حرارة 25 °C وعندما تساوي جميع تركيزت الأيونات في أنصاف الخلايا 1 M وعندما تخضع الغازات، إن وُجِدت، لضغط 101 kPa.

وضِّح لهم أنّ جهد نصف الخليّة الذي يحدث عنده الاختزال يُعبَّر عنه بالرمز بـ $E^{\circ}_{reduction}$ ونصف الخليّة الآخر أي الذي تحدث عنده الأكسدة يُعبَّر عنه بالرمز $E^{\circ}_{oxidation}$. وأنّ العلاقة العامّة لجهد الخليّة هي:

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$

3.2 استخدام الصورة المرئية

وضِّح للطلّاب أنّ بإمكانهم بناء خليّة فولتية بتوصيل نصف خليّة هيدروجين قياسي بنصف خليّة الخارصين. اشرح لهم أنّه لتحديد التفاعل النهائي لهذه الخليّة يجب أن نحدِّد نصف الخليّة الذي يحدث عنده الاختزال. اطلب إليهم ملاحظة الشكل (15) في كتاب الطالب الذي يوضّح تركيب الخليّة الفولتية من نصف خليّة هيدروجين قياسية ونصف خليّة خارصين.

أسألهم: أين يحدث الاختزال وما هو الأيون الذي يُختزَل في هذه الخليّة؟

[في جميع الخلايا الإلكتروكيميائية يحدث الاختزال عند الكاثود وتحدث الأكسدة عند الأنود. ويعطي الفولتمتر قراءة موجبة عندما يوصل قطب الخارصين كما هو موضَّح في الشكل. تعني القراءة الموجبة أنّ قطب الخارصين هو الأنود وأنّ قطب الهيدروجين هو الكاثود حيث تُختزل كاتيونات الهيدروجين.]

اكتب على السبّورة معادلات نصفي التفاعل والتفاعل النهائي للخليّة. ناقش مع الطلّاب المعادلات ودعهم يشرحونها لزملائهم لتعميق فهمهم لها.

4.2 مناقشة

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الشكل (15) ووضّح لهم أن استخدام قطب الهيدروجين القياسي يسمح بحساب جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الخارصين بحسب معادلة جهد الخليّة القياسي:

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$

يفوق جهد الاختزال لنصف الخليّة الذي يحدث عنده الاختزال جهد الاختزال لنصف الخليّة الذي تحدث عنده الأكسدة والفرق بين هذين الجهدين يُسمّى جهد الخليّة Cell Potential.

جهد الخليّة = جهد الاختزال لنصف الخليّة الذي يحدث عنده الاختزال − جهد الاختزال لنصف الخليّة الذي يحدث عنده الأكسدة

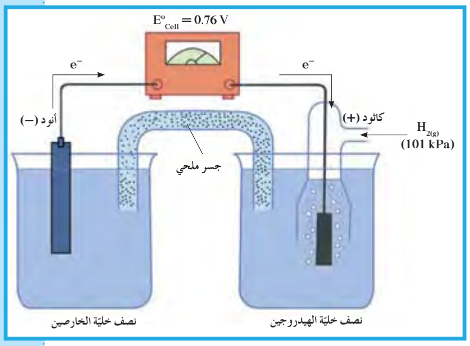
$$E_{cell} = E_{cathode} - E_{anode}$$
أو
$$E_{cell} = E_{reduction} - E_{oxidation}$$

هل تعلم؟

V = 1 J/C (V = Volt; J = Joule; C = Coulomb)

2. جهود الاختزال القياسية لأنصاف الخلايا
Standard Reaction Potentials for Half−Cells

يمكن إعداد خليّة فولتية بتوصيل نصف خليّة هيدروجين قياسية بنصف خليّة خارصين قياسية كما هو موضّح في الشكل (15). ولتحديد التفاعل النهائي في هذه الخليّة يجب تحديد نصف الخليّة الذي يحدث الاختزال عنده.



شكل (15)
تتكوّن هذه الخليّة الفولتية من نصف خليّة خارصين ونصف خليّة هيدروجين. أين يحدث الاختزال؟ وما هو الأيون الذي يُختزل في هذه الخليّة؟

يحدث اختزال في جميع الخلايا الإلكتروكيميائية عند الكاثود في حين تحدث الأكسدة عند الأنود. ويعطي الفولتمتر قراءة تساوي +0.76 V. عندما يوصل قطب الخارصين بالطرف السالب ويوصل قطب الهيدروجين بالطرف الموجب، يتأكسد الخارصين، أي أنّه الأنود. في حين تُختزَل كاتيونات الهيدروجين أي أن قطب الهيدروجين هو الكاثود.

44

يمكن الآن كتابة أنصاف التفاعلات والتفاعل النهائي للخليّة.

الأكسدة $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + \cancel{2e^-}$ (عند الأنود)

الاختزال $2H^+_{(aq)} + \cancel{2e^-} \rightarrow H_{2(g)}$ (عند الكاثود)

التفاعل النهائي $Zn_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

يسمح استخدام قطب الهيدروجين القياسي بحساب جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الخارصين باستخدام معادلة جهد الخليّة القياسي التي سبق ذكرها وهي:

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$

ولهذه الخليّة $E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{H^+/H_2} - E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn}$

يساوي جهد الخليّة 0.76 V ويساوي جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الهيدروجين صفر فولت دائمًا (أي $E^{\circ}_{H^+/H_2} = 0$ V) وبالتعويض عن هذه القيم في المعادلة السابقة يمكن الحصول على جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الخارصين.

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{cathode} - E^{\circ}_{anode}$$
$$E^{\circ}_{cell} = 0 - E^{\circ}_{anode} = +0.76 \text{ V}$$
$$E^{\circ}_{anode} = -0.76 \text{ V}$$

يساوي جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الخارصين $E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76$ V ولقيمته إشارة سالبة لأنّ ميل كاتيونات الخارصين للاختزال إلى فلزّ الخارصين (أي إلى كسب إلكترونات) في هذه الخليّة أقلّ من ميل كاتيونات الهيدروجين إلى الاختزال إلى غاز الهيدروجين وبالتالي لا تُختزل كاتيونات الخارصين وإنّما يتأكسد فلزّ الخارصين إلى كاتيونات الخارصين Zn^{2+}. لذلك تشير الإشارة السالبة إلى أنّ الإلكترونات تنتقل من قطب الخارصين باتجاه قطب غاز الهيدروجين.

يمكن وصل أنصاف خلايا مختلفة بنصف خليّة الهيدروجين بطريقة مماثلة. وباستخدام هذه الطريقة، يمكن تحديد قيمة جهد الاختزال القياسي لأيّ نصف خليّة. على سبيل المثال، تساوي القيمة المقاسة لجهد خليّة هيدروجين − نحاس قياسية 0.34 V. يعمل النحاس، في هذه الحالة، ككاثود وتُختَزل كاتيوناته إلى فلزّ النحاس. وعندما تُركّب الخليّة وتُشغّل، يؤدّي نصف خليّة الهيدروجين دور الأنود فيتأكسد غاز الهيدروجين إلى كاتيونات هيدروجين.

45

دع الطلّاب يلاحظون في الشكل (15) أنّ جهد الخليّة المُقاس يساوي 0.76 V+ وأنّ جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الهيدروجين يساوي صفرًا. وضِّح لهم أنّه بالتعويض عن القيم السابقة في المعادلة يمكن الحصول على جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الخارصين الذي يساوي 0.76 V−.
وضِّح لهم أنّ القيمة سالبة لأنّ ميل كاتيونات الخارصين للاختزال إلى فلزّ الخارصين أي إلى اكتساب إلكترونات، في هذه الخليّة، أقلّ من ميل كاتيونات الهيدروجين للاختزال إلى غاز هيدروجين.
دعهم يستنتجون أنّ كاتيونات الخارصين لا تُختزَل وبدلًا من ذلك يتأكسد فلزّ الخارصين إلى كاتيونات خارصين.
وضِّح لهم أنّ بناء خلايا فولتية بالطريقة نفسها من نصف خليّة الهيدروجين ونصف خليّة مختلف يسمح بحساب جهد الاختزال القياسي المراد حسابه.
أعطهم كمثال نصف خليّة النحاس القياسي الذي يساوي جهد اختزاله القياسي 0.34 V+. يعمل النحاس في هذه الحالة ككاثود فتُختزَل كاتيونات النحاس إلى فلزّ النحاس عندما تعمل الخليّة بعد توصيلها بنصف خليّة الهيدروجين القياسية التي تعمل كأنود.
اكتب على السبّورة معادلة جهد الخليّة القياسي العامّة ثم ساعد الطلّاب على تعويض القيم المعلومة فيها بهدف حساب جهد الاختزال القياسي للنحاس.
وضِّح للطلّاب أنّ جهد الاختزال القياسي للنحاس يساوي 0.34 V+ وقيمته موجبة لأنّ ميل كاتيونات النحاس إلى الاختزال في هذه الخليّة أكبر من ميل كاتيونات الهيدروجين إلى الاختزال.

5.2 مناقشة

أشر للطلّاب أنّ قيمة جهد الاختزال لعنصر ما هي مقياس للسهولة التي يفقد بها العنصر أو الأيون إلكتروناته.
وضِّح للطلّاب أنّ الأقطاب (أنصاف الخلايا) التي تفقد إلكترونات بسهولة أكثر من قطب الهيدروجين القياسي (نصف خلية الهيدروجين القياسية) تتميّز بجهود اختزال سالبة (−).
أمّا الأقطاب (أنصاف الخلايا) التي تفقد إلكتروناتها بصعوبة أكثر من قطب الهيدروجين القياسي (نصف خلية الهيدروجين القياسية) فتتميّز بجهود اختزال موجبة (+).
أشر للطلّاب أنّ أنصاف الخلايا الأدنى في جدول جهود الاختزال القياسية أكثر قابلية لفقدان الإلكترونات (الأكسدة) وذلك لأنّها رُتّبت بحسب قيم جهود الاختزال من القيمة الأقل عدديًّا إلى القيمة الأكثر عدديًّا.
وضِّح للطلّاب أن جدول الاختزال يساعد على توقّع تفاعل أكسدة واختزال بين فلزّ وكاتيون فلزّ آخر كما يمكن أن يساعد في الحسابات الكمّية لحالة الاتزان لتفاعل الخلية.
أشر للطلّاب أنّ أيّ عنصر في جدول جهود الاختزال القياسية يستطيع إزاحة أيّ عنصر أسفل منه في السلسلة من محلوله لأنّ العنصر الأقل جهد اختزال يمتلك القدرة على تكوين أيونات موجبة في المحلول.

يمكن حساب جهد الاختزال القياسي للنحاس كما يلي:

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$
$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{Cu^{2+}/Cu} - E^\circ_{H^+/H_2}$$
$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{Cu^{2+}/Cu} - 0 = +0.34\ V$$
$$E^\circ_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34\ V$$

توضّح هذه الحسابات أنّ جهد الاختزال القياسي للنحاس يساوي 0.34 V+ ولقيمته إشارة موجبة لأنّ ميل كاتيونات النحاس إلى الاختزال في هذه الخليّة أكبر من ميل كاتيونات الهيدروجين إلى الاختزال.

1.2 سلسلة جهود الاختزال القياسية
Standard Reduction Potential Series

يرتكز مفهوم سلسلة جهود الاختزال القياسية على ترتيب العناصر بحسب النشاط الكيميائي وفي حالة الفلزّات يتفاعل كلّ عنصر مع محلول ملح العنصر الآخر وتسجيل النتائج. توضِّح المعادلة التالية تفاعل عنصر X مع ملح العنصر Y.

$$X_{(s)} + Y^{2+}_{(aq)} \longrightarrow X^{2+}_{(aq)} + Y_{(s)}$$

نلاحظ ما يلي:
- حدثت عملية أكسدة للعنصر X وبالتالي يسلك سلوك الأنود ويُعتبَر عامل مختزل.
- اختزلت كاتيونات العنصر Y وبالتالي يسلك سلوك الكاثود ويُعتبَر عامل مؤكسد ولذلك العنصر X أكثر نشاطًا من العنصر Y ولديه أقلّ جهد اختزال.

ومن ثمّ يمكن ترتيب العناصر في سلسلة تنازلية بحسب النشاط الكيميائي وتصاعديًّا بحسب جهد الاختزال.
وباستخدام نصف خليّة الهيدروجين القياسية (جهد اختزاله = صفر) وتكوين خلايا جلفانية كما هو موضِّح في الرسم (شكل 15) يمكن حساب جهود الاختزال القياسية لأنصاف الخلايا وترتيبها ترتيبًا تصاعديًّا في ما يُعرَف بالسلسلة الإلكتروكيميائية.
رُتِّبت أنصاف خلايا مختلفة ترتيبًا تصاعديًّا تبعًا لجهود اختزالها القياسية مقارنة بنصف خليّة الهيدروجين القياسية. ويُعرَف هذا الترتيب باسم سلسلة جهود الاختزال القياسية، (جدول 2). وهو يتّفق مع القدرة المختلفة على اكتساب أو فقد الإلكترونات وبالتالي يتفق مع النشاط الكيميائي.

46

من مزايا ترتيب أنصاف الخلايا في السلسلة ما يلي:
- تمتلك قيم جهود الاختزال لأنصاف الخلايا التي تسبق الهيدروجين إشارة سالبة، ويدلّ ذلك على أنّ أي نصف خليّة منها يعمل كأنود عند توصيله بنصف خليّة الهيدروجين، وبالتالي فهو أكثر ميلًا إلى الأكسدة من الهيدروجين، وكاتيوناته أقل ميلًا إلى الاختزال ففي خليّة الخارصين – الهيدروجين القياسية مثلًا، يتأكسد الخارصين، بينما تختزل كاتيونات الهيدروجين.
- تمتلك بعض العناصر الفلزّية القدرة على أن تحلّ محلّ الهيدروجين في مركَّباته كالماء والأحماض إذا توفّرت الظروف المناسبة، فالخارصين مثلًا يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك ويتصاعد غاز الهيدروجين الذي يشتعل بفرقعة، بحسب المعادلة التالية:

$$Zn_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow ZnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

كذلك يتفاعل الصويوم بشدّة مع الماء ويتصاعد أيضًا غاز الهيدروجين بحسب المعادلة التالية:

$$2Na_{(s)} + 2H_2O_{(aq)} \longrightarrow 2NaOH_{(aq)} + H_{2(g)}$$

كما أنّ هذه العناصر الفلزّية لا توجد في الطبيعة في الحالة العنصرية، وإنّما توجد على شكل مركَّبات من مثل الكلوريدات أو الكبريتات، علّل ذلك. على ضوء ما سبق، فسّر لماذا يُحفَظ الصوديوم تحت سطح الكيروسين، ولماذا يصدأ الحديد عند تركه معرّضًا للهواء الرطب.
- تمتلك جهود الاختزال لأنصاف الخلايا التي تلي الهيدروجين إشارة موجبة، ويدلّ ذلك على أنّ أيّ نصف خليّة منها يعمل كاثودًا عند توصيله بنصف خليّة الهيدروجين، وبالتالي فهو أقلّ ميلًا إلى الأكسدة من الهيدروجين، وكاتيوناته أكثر ميلًا إلى الاختزال، فخليّة النحاس – الهيدروجين القياسية مثلًا، يتأكسد الهيدروجين، بينما تُختزَل كاتيونات النحاس (II).

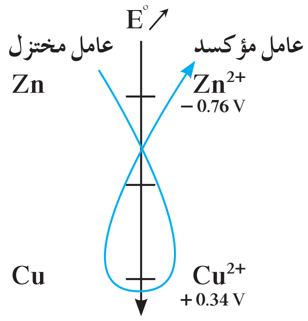
العناصر الفلزّية التي تلي الهيدروجين ليس لها القدرة على أن تحلّ محلّ الهيدروجين في مركَّباته كالماء والأحماض في الظروف العادية، فالنحاس والبلاتين مثلًا لا يتفاعلان مع الماء أو حمض الهيدروكلوريك في الظروف العادية. كما أنّها يمكن أن توجد في الطبيعة في الحالة العنصرية، بجانب وجودها على شكل مركَّبات مثل الكلوريدات أو الكبريتات، علّل ذلك. على ضوء ما سبق، فسّر لماذا يتمّ استخدام الفضّة والذهب والبلاتين في صناعة الحلي؟

47

طريقة γ (جاما)

فسّر للطلّاب أن هذه الطريقة تطبيق سهل يسمح بتحديد العامل المؤكسد والعامل المختزل في تفاعل أكسدة واختزال.

مثال: $E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76V$ $\quad$ $E^{\circ}_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34V$



أشر إلى أنّ قيم جهود اختزال أنصاف الخلايا توضع على محور يوضّح تغير جهد الاختزال بشكل متزايد. ثمّ يُكتَب العامل المؤكسد على يمين المحور والعامل المختزل على شماله. يُرسَم حرف γ اليوناني مع تحديد اتجاه التفاعل من العامل الأكثر ميلًا إلى الأكسدة (Zn) إلى العامل الأكثر ميلًا إلى الإختزال (Zn^{2+}). فتكون المعادلة النهائية:

$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$$

6.2 ورش عمل [يجري الطالب النشاط (2)]

اطلب إلى الطلّاب العمل ضمن مجموعات. أعط كلّ مجموعة ورقة عمل تحتوي على جدول يوضّح جهود الاختزال القياسية عند درجة 25 °C، أو اطلب إليهم مراجعة الجدول (2) الوارد ص 50 في كتاب الطالب. اسأل الطلّاب:

- ما المادّة الأكثر ميلًا إلى الاختزال؟ [F_2]
- ما المادّة الأقلّ ميلًا إلى الاختزال؟ [Li^+]

وجّه الطلّاب نحو استنتاج أنّ أنصاف التفاعلات تُرتَّب بحسب ميلها إلى الحدوث في اتجاه الاختزال.

دعهم يستنتجون أنّ أنصاف التفاعلات الموجودة في أعلى الجدول هي الأقلّ ميلًا إلى الحدوث كتفاعلات اختزال، بينما أنصاف التفاعلات الموجودة في أسفل الجدول هي الأكثر ميلًا إلى الحدوث كتفاعلات اختزال.

اطلب إلى الطلّاب أن يختاروا أمثلة من الجدول تثبت صحّة استنتاجاتهم وأن يشرحوها لزملائهم كاختزال كاتيونات Cd^{2+} إلى فلزّ الكادميوم على سبيل المثال.

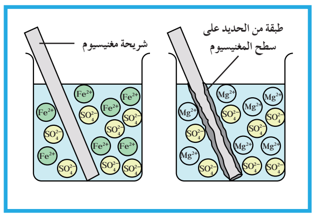
اطلب إلى الطلّاب أن يلاحظوا نمط تغيّر جهد الخليّة القياسي في الجدول (2) الذي يوضّح بعض جهود الاختزال القياسية عند درجة الحرارة 25 °C. اسأل الطلّاب:

كما يمكن استنتاج العلاقة بين وضع الفلزّات في السلسلة ونشاطها الكيميائي بالنسبة إلى بعضها البعض، من خلال دراسة ما حدث عند غمر قطب من الخارصين في محلول كبريتات النحاس (II)، حيث حلّ الخارصين محلّ كاتيونات النحاس في المحلول بحسب المعادلة التالية:

$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$$

وبالمثل عند غمر شريحة من المغنيسيوم Mg في محلول كبريتات الحديد (II)، نلاحظ تآكل سطح المغنيسيوم وتحوّل ذراته إلى كاتيونات مغنيسيوم Mg^{2+} تذوب في المحلول، وفي نفس الوقت تترسّب ذرّات الحديد على سطح المغنيسيوم، ما يدلّ على أنّ كاتيونات الحديد (II) في المحلول قد اختُزِلت، (شكل 16) ويمكن التعبير عن التغيّر الذي حدث بالمعادلة التالية:

$$Mg_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Fe_{(s)} + Mg^{2+}_{(aq)}$$



شكل (16)
تآكل شريحة المغنيسيوم عند غمرها في محلول كبريتات الحديد (II).

وبمراجعة جهود الاختزال القياسية في السلسلة نجد أن جهد اختزال الخارصين أقلّ من جهد اختزال النحاس، بالمثل جهد اختزال المغنيسيوم أقلّ من جهد اختزال الحديد، وبالتالي يمكن استنتج أنّ الفلزّ الأعلى في سلسلة جهود الاختزال القياسية يحلّ محلّ الكاتيونات التي تليه (أي التي تقع أسفله) ويطردها من محاليل مركّباتها، بينما لا يستطيع الفلزّ الذي يمتلك جهد اختزال أعلى (الفلزّ الذي يقع أسفل في السلسلة) أن يحلّ محلّ الكاتيونات التي تسبقه في السلسلة (التي تقع أعلى منه) ولا يستطيع أن يطردها من محاليل مركّباته.

أمّا اللافلزّات، فعلى عكس الفلزّات، يعتمد نشاطها على قدرتها على اكتساب الإلكترونات (عملية اختزال) وتسلك سلوك الكاثود، وعليه فإنّ اللافلزّ الذي يقع أسفل السلسلة يحلّ محلّ أنيون اللافلزّ الذي يسبقه (أي الذي يقع أعلى منه) ويطرده من محاليل مركّباته، بينما لا يستطيع اللافلزّ الذي يمتلك جهد اختزال أدنى (أي الأعلى في السلسلة) أن يحلّ محلّ أنيون اللافلزّ الذي يليه، ولا يستطيع أن يطرده من محاليل مركّباته.

48

الفلور، على سبيل المثال، يستطيع أن يحلّ محلّ جميع الهالوجينات في محاليل مركّباتها، بينما لا يستطيع اليود أن يحلّ محلّ أيّ منها، ومثال على ذلك التفاعلين التاليين:

$$Cl_{2(g)} + 2NaBr_{(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + Br_{2(l)}$$
$$Br_{2(l)} + 2KI_{(aq)} \longrightarrow 2KBr_{(aq)} + I_{2(s)}$$

اللذين يتمّ كل منهما بشكل تلقائي حيث يحلّ الكلور محل البروم في محاليل مركّباته، وكذلك يحلّ البروم محلّ اليود في محاليل مركّباته، بينما لا يتمّ التفاعلان التاليان بشكل تلقائي:

$$Cl_{2(g)} + 2NaF_{(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + F_{2(g)}$$
$$I_{2(s)} + 2KBr_{(aq)} \longrightarrow 2KI_{(aq)} + Br_{2(l)}$$

حيث لا يستطيع الكلور أن يحلّ محلّ الفلور في محاليل مركّباته، وكذلك لا يستطيع اليود أن يحلّ محلّ البروم في محاليل مركّباته.

يمكن الاعتماد على سلسلة جهود الاختزال لمعرفة العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة، وتدرّجها من حيث النشاط الكيميائي. فجميع العناصر التي تقع على يسار "/" (جدول 2) تُختزَل ولذا تُعتبَر عوامل مؤكسدة، وبما أنّ جهود الاختزال ترتفع كلّما اتجهنا إلى أسفل في هذا الترتيب (السلسلة)، فإنّ قدرة العناصر على اكتساب الإلكترونات، وبالتالي قدرتها على العمل كعوامل مؤكسدة، تزداد من أعلى إلى أسفل، أي أنّ "أقوى العوامل المؤكسدة هي تلك الأنواع التي تقع على يسار "/" وفي أسفل السلسلة".

وبذلك يُعتبَر عنصر الفلور F_2 أقوى العوامل المؤكسدة، بينما يُعتبَر كاتيون الليثيوم Li^+ أضعف العوامل المؤكسدة.

وبالمثل جميع الأنواع التي تقع على يمين "/" تتأكسد، ولذا تُعتبَر عوامل مختزلة، وبما أن جهود الاختزال تقلّ كلّما اتجهنا إلى أعلى في هذا الترتيب (السلسلة)، فإن قدرة الأنواع على خسارة الإلكترونات، وبالتالي قدرتها على العمل كعوامل مختزلة تزداد من أسفل إلى أعلى، أي أنّ "أقوى العوامل المختزلة هي تلك الأنواع التي تقع على يمين "/" وفي أعلى السلسلة". وبذلك يعتبر عنصر الليثيوم Li أقوى العوامل المختزلة، بينما يُعتبَر أنيون الفلور F^- أضعف العوامل المختزلة بالنسبة إلى التفاعلات السابقة في السلسلة.

49

- لماذا تكون جهود الاختزال القياسية عند 25 °C سالبة في أنصاف الخلايا الموجودة أعلى نصف خليّة الهيدروجين وموجبة في أنصاف الخلايا الموجودة أسفلها؟

[القيم سالبة في أنصاف الخلايا الموجودة أعلى نصف خليّة الهيدروجين لأنّ أنواع أقلّ ميلًا إلى الاختزال من الهيدروجين (قيمة جهد اختزالها أدنى من قيمة جهد اختزال الهيدروجين القياسية ((0 V)) وهي موجبة في أنصاف الخلايا الموجودة أسفل نصف خليّة الهيدروجين لأنّ الأنواع أكثر ميلًا إلى الاختزال من الهيدروجين (قيمة جهد اختزالها أعلى من قيمة جهد اختزال الهيدروجين القياسية ((0 V)).]

- ماذا تعني الزيادة التدريجية للقيم الموجبة لجهود الاختزال القياسية كلّما اتّجهنا إلى أسفل الجدول؟

[زيادة الميل إلى الاختزال]

دع الطلّاب يعرضون استنتاجاتهم وناقشها معهم وصوّبها إن دعت الحاجة. وضّح لهم أنّ نصف الخليّة ذا قيمة جهد الاختزال الأكبر يحدث الاختزال عنده في الخليّة.

وضّح لهم أنّ كتابة تفاعلات الخليّة وحساب جهد الخليّة النهائي لكلّ الخلايا، ممكن من دون تجميعها فعليًا إذ يمكن استخدام جهود الاختزال القياسية المعروفة لأنصاف الخلايا المختلفة الواردة في الجدول (2) للتنبؤ بنصف الخليّة الذي سوف يحدث عنده الاختزال أو الأكسدة.

أشر إلى إمكانية استخدام هذه المعلومات في حساب قيمة جهد الخليّة الناتجة E°_{cell}.

دع الطلّاب يستنتجون من الجدول أنّ تفاعل الأكسدة والاختزال يكون تلقائيًّا إذا كانت قيمة جهد الخليّة موجبة وغير تلقائي إذا كانت سالبة. والفت انتباههم إلى أنّ التفاعل الأخير يمكن أن يكون تلقائيًّا في الاتجاه العكسي فيكون لجهده القيمة العددية نفسها ولكن بإشارة موجبة.

القطب	نصف تفاعل	الجهد القياسي (V)
Li^+/Li	$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	−3.05
K^+/K	$K^+ + e^- \rightarrow K$	−2.93
Ba^{2+}/Ba	$Ba^{2+} + 2e^- \rightarrow Ba$	−2.90
Na^+/Na	$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	−2.71
Mg^{2+}/Mg	$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	−2.37
Al^{3+}/Al	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	−1.66
H_2O/H_2	$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	−0.83
Zn^{2+}/Zn	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	−0.76
Cr^{3+}/Cr	$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	−0.74
Fe^{2+}/Fe	$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	−0.44
H_2O/H_2 (pH = 7)	$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	−0.42
$PbSO_4/Pb$	$PbSO_4 + 2e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$	−0.36
Co^{2+}/Co	$Co^{2+} + 2e^- \rightarrow Co$	−0.28
Ni^{2+}/Ni	$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	−0.25
Sn^{2+}/Sn	$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	−0.14
Pb^{2+}/Pb	$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	−0.13
Fe^{3+}/Fe	$Fe^{3+} + 3e^- \rightarrow Fe$	−0.036
H^+/H_2	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0.000
S/H_2S	$S + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2S$	+0.14
$AgCl/Ag$	$AgCl + e^- \rightarrow Ag + Cl^-$	+0.22
Cu^{2+}/Cu	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0.34
O_2/OH^-	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	+0.40
Cu^+/Cu	$Cu^+ + e^- \rightarrow Cu$	+0.52
I_2/I^-	$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	+0.54
Fe^{3+}/Fe^{2+}	$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	+0.77
Ag^+/Ag	$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0.80
Hg^{2+}/Hg	$Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$	+0.85
Br_2/Br^-	$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	+1.07
O_2/H_2O	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.23
MnO_2/Mn^{2+}	$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	+1.28
Cl_2/Cl^-	$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	+1.36
MnO_4^-/Mn^{2+}	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.51
$PbO_2/PbSO_4$	$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$	+1.69
F_2/F^-	$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	+2.87

جدول (2)
جهود الاختزال القياسية عند الظروف القياسية

50

3. أهمّية حساب جهود الخلايا القياسية
Importance of Calculating Standard Cell Potentials

تتكوّن أيّ خليّة جلفانية من نصفي خليّة. يمتلك القطب الذي تحدث عنده عملية الاختزال جهد الاختزال الأكبر، في حين يمتلك القطب الآخر الذي تحدث عند عملية الأكسدة جهد الاختزال الأصغر. وإذا أخذنا ذلك في الاعتبار، يمكن كتابة تفاعلات الخليّة وحساب جهود كلّ الخلايا من دون تجميعها فعليًا. ويمكن، بسهولة، استخدام جهود الاختزال القياسية المعروفة لأنصاف الخلايا المختلفة من الجدول (2) لتوقّع نصف الخليّة الذي يحدث عنده الاختزال أو الأكسدة. ويمكن، بعدئذ استخدام هذه المعلومات لحساب قيمة الجهد القياسي للخليّة الناتجة (E°_{cell}).

يمكن استعمال الجهد القياسي للخليّة لتوقّع ما إذا كان التفاعل تلقائيًا أم لا. فإذا كان جهد خليّة تفاعل أكسدة واختزال موجب يكون التفاعل تلقائيًّا أمّا إذا كان سالبًا فيكون التفاعل غير تلقائي. ويكون التفاعل الأخير تلقائيًّا في الاتجاه المعاكس، ويمتلك جهده القيمة العددية نفسها ولكنّها موجبة.

مثال (1)

حدّد نصف خليّة الاختزال ونصف خليّة الأكسدة في الخليّة الفولتية المكوّنة من نصفي الخلايا التالية ثمّ احسب جهد الخليّة القياسي واكتب المعادلة النهائية.

$$Fe^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} \quad E^\circ_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0.77\ V$$
$$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Ni_{(s)} \quad E^\circ_{Ni^{2+}/Ni} = -0.25\ V$$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم:

$E^\circ_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0.77\ V$

$E^\circ_{Ni^{2+}/Ni} = -0.25\ V$

غير المعلوم:

الكاثود = ؟

الأنود = ؟

تفاعل الخليّة = ؟

جهد الخليّة =؟ V

يحدث تفاعل الاختزال عند نصف الخليّة الذي يمتلك أكبر جهد اختزال (الكاثود) وبالتالي يحدث تفاعل الأكسدة عند نصف الخليّة الذي يمتلك جهد اختزال أصغر (الأنود). اجمع نصفي التفاعل بعد التأكّد من تساوي عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة ثمّ احسب جهد الخليّة القياسي باستخدام المعادلة التالية:

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{reduction} - E^\circ_{oxidation}$$

51

3. قيِّم وتوسَّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب

لتقييم استيعاب الطلّاب لهذا الدرس اطرح عليهم الأسئلة التالية:

- كيف ينشأ الجهد الكهربائي في الخليّة؟ **[نتيجة التنافس على الإلكترونات بين نصفي الخليّة]**
- أين يحدث الاختزال وما هو الأيون الذي يُختزل في خليّة مكوّنة من نصف خليّة هيدروجين قياسي ونصف خليّة خارصين قياسي؟ **[يحدث الاختزال عند الكاثود، في خليّة الهيدروجين وتُختزل كاتيونات الهيدروجين.]**
- علّل اختيار خليّة الهيدروجين القياسية؟ **[لأنّ قيمة جهدها معلومة وتساوي 0 V.]**
- وضِّح معنى الإشارة الموجبة لجهد الاختزال القياسي للنحاس؟ **[كاتيونات النحاس أكثر ميلًا إلى الاختزال من كاتيونات الهيدروجين.]**
- اطلب إلى الطلّاب رسم الخليّة الفولتية المكوّنة من نصف خليّة خارصين ونصف خليّة هيدروجين.
- اطلب إليهم أن يحسبوا قيمة جهد الخليّة (E°_{cell}) من خلال استعمال جهود الاختزال القياسية المعروفة وأن يتوقّعوا ما إذا كان التفاعل تلقائيًّا أم لا.

2.3 إعادة التعليم

وضِّح للطلّاب أنّ الجهد الكهربائي للخليّة الفولتية هو مقياس قدرة الخليّة على توليد تيّار كهربائي.

راجع مع الطلّاب معنى الجهد الكهربائي ومصدره أي كونه ناتجًا من تنافس نصفي الخليّة على الإلكترونات مع الإشارة إلى أنّ الاختزال يحدث عند الكاثود بينما تحدث الأكسدة عند الأنود.

اطلب إلى أحد الطلّاب أن يذكر شفهيًّا معادلة قياس جهد الخليّة **[$E_{cell} = E_{cathode} - E_{anode}$].**

ذكّرهم بأنّ التفاعل يكون تلقائيًّا إذا كانت قيمة جهد الاختزال موجبة وغير تلقائي إذا كانت سالبة.

اختر أنصاف تفاعلات مع جهودها وفسّر كيفية تحليلها وإعادة كتابتها لحساب E°_{cell}.

مثال (1) (تابع)

2. احسب: **حلّ غير المعلوم.**

في هذه الخليّة، يُختزَل Fe^{3+} ويتأكسد Ni ولأنّ الاختزال يحدث في نصف خليّة Fe^{3+}، ويُعتبَر هذا النصف الكاثود. يُكتَب تفاعلا نصفي الخليّة في الاتجاه الذي يحدثان فيه فعلًا كالتالي:

الأكسدة (عند الأنود) $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

الاختزال (عند الكاثود) $Fe^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$

قبل جمع نصفي التفاعل، تأكّد من حذف الإلكترونات المفقودة والمكتسبة بعد جعل عددها متساوٍ في طرفي المعادلة. يفقد Ni إلكترونين عند تأكسده بينما يكتسب Fe^{3+} إلكترونًا واحدًا فقط أثناء عملية اختزاله لذا يجب ضرب معادلة تفاعل الحديد بالمعامل 2.

$$Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$
$$2 \times [Fe^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}]$$
$$Ni_{(s)} + 2Fe^{3+}_{(aq)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2Fe^{2+}_{(aq)}$$

يمكن الآن حساب جهد الخليّة القياسي.

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$
$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} - E^{\circ}_{Ni^{2+}/Ni}$$
$$= 0.77 - (-0.25) = 1.02\ V$$

لاحظ أنّ E° لنصف خليّة ما لا يُضرَب بأيّ معامل حتّى ولو ضُرِب إحدى أو كلا معادلتي نصفي الخليّة بمعاملات عددية ليتسنّى شطب الإلكترونات في طرفي معادلة الخليّة النهائية.

3. قيّم: **هل النتيجة لها معنى؟**

لقد نُظِّمت المعادلات بطريقة صحيحة وجُمعَت من دون أخطاء حسابية. إذا كان جهد الاختزال لعملية الاختزال موجبًا وجهد الاختزال للأكسدة سالبًا يكون جهد الخليّة E° موجبًا دائمًا.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. خليّة فولتية مكوّنة من نصفي الخلايا التالية:

$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$ $E^{\circ}_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34\ V$

$Al^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Al_{(s)}$ $E^{\circ}_{Al^{3+}/Al} = -1.66\ V$

اكتب معادلة الخليّة النهائية واحسب جهدها القياسي.

الحلّ:

$2Al_{(s)} + 3Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Cu_{(s)}$ $E^{\circ}_{cell} = +2.00\ V$

2. خليّة فولتية مكوّنة من نصفي الخلايا التالية:

$Ag^{+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Ag_{(s)}$ $E^{\circ}_{Ag^{+}/Ag} = +0.80\ V$

$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$ $E^{\circ}_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34\ V$

اكتب معادلة الخليّة النهائية واحسب جهدها القياسي.

الحلّ: $Cu_{(s)} + 2Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$ $E^{\circ}_{cell} = +0.46\ V$

52

مثال (2)

احسب جهد الخليّة E°_{cell} لتحديد ما إذا كان تفاعل الأكسدة والاختزال التالي تلقائيًّا أم لا.

$$Ni_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)}$$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: **اذكر المعلوم وغير المعلوم.**

المعلوم: (جدول 1)	غير المعلوم:
$E^{\circ}_{Ni^{2+}/Ni} = -0.25\ V$	$E^{\circ}_{cell} = ؟$
$E^{\circ}_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44\ V$	هل التفاعل تلقائي؟

يكون تفاعل الأكسدة والاختزال تلقائيًّا إذا كان جهد الخليّة القياسي موجبًا.

اكتب كلّ نصف تفاعل مع جهد اختزاله القياسي. احسب جهد الخليّة القياسي باستخدام:

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$

2. احسب: **حلّ غير المعلوم.**

معادلتا نصفي التفاعل في المعادلة المعطاة:

الأكسدة $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

الاختزال $Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$

عوّض قيم جهدي الاختزال القياسيين لنصفي الخليّة المنقولين عن الجدول (2) حيث كتبتا على هيئة معادلتي اختزال:

$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Ni_{(s)}$ $E^{\circ}_{Ni^{2+}/Ni} = -0.25\ V$

$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ $E^{\circ}_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44\ V$

نصف خليّة النيكل هو نصف خليّة الأكسدة ونصف خليّة الحديد هو نصف خليّة الاختزال وبالتالي جهد الخليّة القياسي هو الفرق بين جهد نصف خليّة الحديد وجهد نصف خليّة النيكل.

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$
$$E^{\circ}_{cell} = -0.44 - (-0.25) = -0.19\ V$$

ونظرًا لأنّ جهد الخليّة القياسي المحسوب عدد سالب، يكون تفاعل الأكسدة والاختزال غير تلقائي. وعلى ذلك يلزم تزويد التفاعل بقدر من الطاقة ليتمّ وإلّا وحده التفاعل العكسي سوف يحدث.

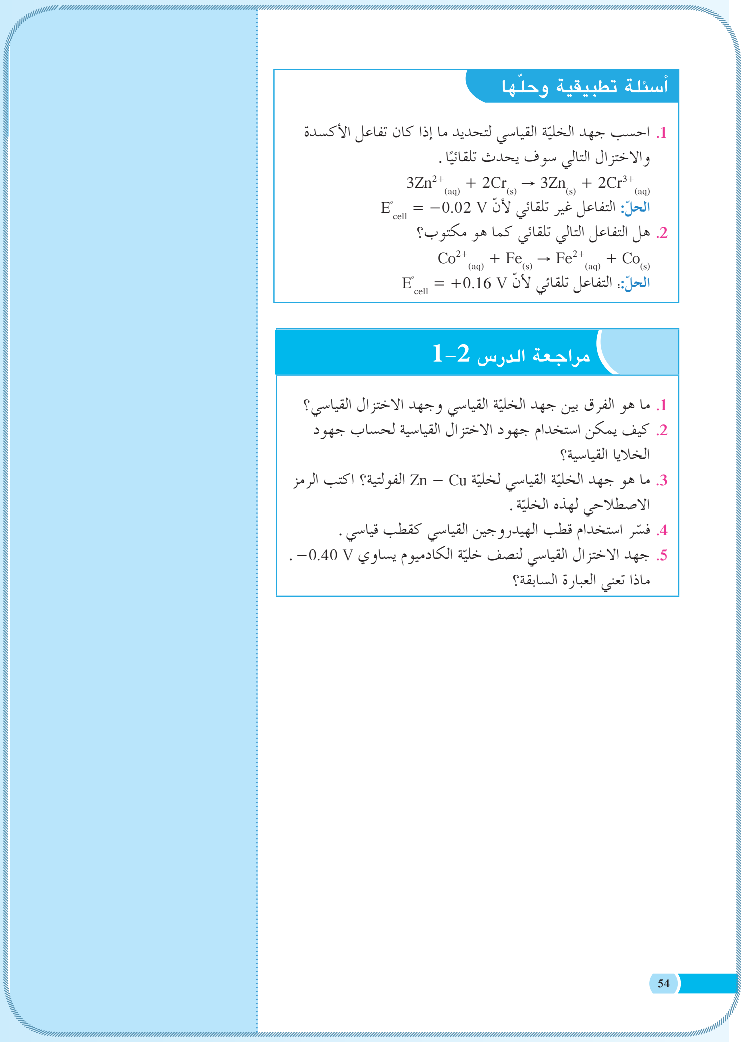
3. قيّم: **هل النتيجة لها معنى؟**

نظرًا لأنّ الحديد يسبق النيكل في سلسلة نشاط الفلزّات فمن المنطقي أنّ أيونات الحديد لم تُختزَل بواسطة ذرّات النيكل بل حصل العكس أي أنّ الحديد تأكسد في وجود أيونات النيكل واختُزِل الأخير إلى فلزّ النيكل.

53

إجابات أسئلة مراجعة الدرس 2–1

1. جهد الخليّة القياسي هو مقياس قدرة الخليّة على إنتاج تيّار كهربائي عند درجة حرارة 25 ºC وضغط 101 kPa وعندما يكون تركيز المحاليل 1 M في حين أنّ جهد الاختزال القياسي هو قياس ميل مادّة ما إلى اكتساب إلكترون عند درجة حرارة 25 ºC وضغط 101 kPa وعندما يكون تركيز المحاليل 1 M .
2. من خلال استعمال المعادلة التالية:
$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$
والإستعانة بجهود الاختزال القياسية لتحديد القطب الذي سيشكّل الأنود والقطب الذي سيشكّل الكاثود ولحساب جهد الخليّة ولتحديد ما إذا كان التفاعل تلقائيًّا أم لا .
3. $E^{\circ}_{cell} = 1.10\ V$
$$Zn_{(s)} \mid [ZnSO_4]_{(aq)} \parallel [CuSO_4]_{(aq)} \mid Cu_{(s)}$$
4. لأنّ جهد نصف خليّة الهيدروجين معلوم ويساوي 0 V .
5. $E^{\circ} = -0.40\ V$ للكادميوم (Cd) ما يعني أنّه أقلّ ميلًا إلى الاختزال من كاتيونات الهيدروجين.


أسئلة تطبيقية وحلّها

1. احسب جهد الخليّة القياسي لتحديد ما إذا كان تفاعل الأكسدة والاختزال التالي سوف يحدث تلقائيًا .
$$3Zn^{2+}_{(aq)} + 2Cr_{(s)} \rightarrow 3Zn_{(s)} + 2Cr^{3+}_{(aq)}$$
الحلّ: التفاعل غير تلقائي لأنّ $E^{\circ}_{cell} = -0.02\ V$
2. هل التفاعل التالي تلقائي كما هو مكتوب؟
$$Co^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Co_{(s)}$$
الحلّ:: التفاعل تلقائي لأنّ $E^{\circ}_{cell} = +0.16\ V$

مراجعة الدرس 2–1

1. ما هو الفرق بين جهد الخليّة القياسي وجهد الاختزال القياسي؟
2. كيف يمكن استخدام جهود الاختزال القياسية لحساب جهود الخلايا القياسية؟
3. ما هو جهد الخليّة القياسي لخليّة Zn – Cu الفولتية؟ اكتب الرمز الاصطلاحي لهذه الخليّة .
4. فسّر استخدام قطب الهيدروجين القياسي كقطب قياسي .
5. جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الكادميوم يساوي 0.40 V− .
ماذا تعني العبارة السابقة؟

54

صفحات الطالب: من ص 55 إلى ص 61

صفحات الأنشطة: من ص 22 إلى ص 23

عدد الحصص: 3

الأهداف:

- يميّز بين الخليّة الإلكتروليتية والخليّة الفولتية ويتعرّف الاستخدامات الممكنة للخلايا الإلكتروليتية.
- يتعرّف نواتج التحليل الكهربائي للماء لمحلول الملح ولمصهور كلوريد الصوديوم.

الأدوات المستعملة: جهاز عرض

1. قدِّم وحفِّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الصورة الإفتتاحية للدرس التي توضِّح أقراص الفيديو الرقمية (DVD). اسألهم: ماذا تعرفون عن هذه الأقراص؟ لماذا تُعدّ مهمّة جدًّا حاليًا في حفظ، نقل وتبادل المعلومات؟

دع الطلّاب يعرضون ما يعرفونه عن فوائد هذه الأقراص واستخداماتها ويشرحون كيف يستخدمونها في أجهزة الكمبيوتر أو يحفظون عليها البيانات الخاصة بهم.

وضِّح لهم أنّ لتصنيع قرص DVD يُستخدَم الليزر لنقل البيانات المطلوبة إلى DVD رئيسي ثمّ يُرسّب فلزّ عليه باستخدام الكهرباء فيتكوّن قرص فلزّي. فسِّر لهم أن القرص الفلزّي يُستخدَم في طباعة النسخ التي تُباع للمستهلكين.

2.1 اختبار المعلومات السابقة لدى الطلاب

لتقييم المعلومات السابقة لدى الطلّاب حول موضوع الخلايا الإلكتروكيميائية وجّه إليهم الأسئلة التالية:

- ما الهدف من الخلايا الإلكتروكيميائية التي سبق ودرستها في الدروس السابقة من هذه الوحدة؟ [إنتاج طاقة فيزيائية أي تيّار كهربائي من خلال تفاعلات كيميائية]
- صنِّف التفاعلات الكيميائية التي تحدث في هذه الخلايا. [تفاعلات أكسدة واختزال]
- متى تولِّد هذه التفاعلات الكيميائية تيّارًا كهربائيًّا؟ [عندما تكون تلقائية]

الدرس 2-2 الخلايا الإلكتروليتية Electrolytic Cells

الأهداف العامة

- يميّز بين الخليّة الإلكتروليتية والخليّة الفولتية ويتعرّف الاستخدامات الممكنة للخلايا الإلكتروليتية.
- يتعرّف نواتج التحليل الكهربائي للماء، لمحلول الملح ولمصهور كلوريد الصوديوم.

شكل (17)
أقراص فيديو رقمية (DVD)

تُستخدَم أقراص الفيديو الرقمية لتخزين كل أنواع البيانات بدءًا من برامج الوسائط المتعدّدة في أجهزة الكمبيوتر وصولًا إلى أحدث الأفلام الشهيرة (شكل 17). بفضلها أصبح من الممكن تخزين كمّية كبيرة من البيانات في حيّز صغير جدًّا. لتصنيع هذه الأقراص، يستخدم الليزر لنقل كلّ البيانات المطلوبة إلى قرص رئيس ثمّ يرسّب على هذا الأخير نوع من الفلزّ باستعمال الكهرباء. يُستخدم القرص الفلزّي بعد نزعه عن القرص الرئيس لطباعة النسخ المكرّرة التي تُباع للمستهلك. كيف يمكن ترسيب قرص فلزّي على جسم ما باستعمال الكهرباء؟
هذا مثال على التفاعلات الإلكتروكيميائية المحفَّزة بواسطة تيّار كهربائي لتصبح تلقائية التي تدخل أيضًا في عملية تنقية معادن كثيرة من خاماتها.

1. الخلايا الإلكتروليتية Electrolytic Cells

تُسمّى **العمليات التي تُستَخدم فيها الطاقة الكهربائية لإحداث تغيّر الكيميائي التحليل الكهربائي Electrolysis**. تعرف أمثلة كثيرة عن تطبيقات التحليل الكهربائي من مثل طلاء الأجهزة الطبية والأدوات المنزلية بالفضّة (الملاعق، والشوك، والسكاكين) وطلاء المجوهرات بالذهب وطلاء أجزاء السيارة بالكروم.

55

2. علّم وطبّق

1.2 مناقشة

وضّح لهم أنّ تمريرالكهرباء في محلول كلوريد الصوديوم المائي المركّز يُحدِث تغيّرًا كيميائيًّا ينتج منه تكوّن غاز الكلور وهيدروكسيد الصوديوم.
وضّح أيضًا أنّ الجهاز الذي تتمّ فيه عملية التحليل الكهربائي يُعرَف بالخليّة الإلكتروليتية وهي خليّة إلكتروكيميائية تستخدم الطاقة الكهربائية لإحداث تغيير كيميائي. فسّر لهم أنّ التيّار الكهربائي المُستخدَم في الخليّة الإلكتروليتية تيّار مستمر لأنّ تفاعل الأكسدة والاختزال غير تلقائي.
وضّح أنّ الإنتاج التجاري للكلور وهيدروكسيد الصوديوم من محلول مائي مركّز من كلوريد الصوديوم يتطلّب وضع صفّ ضخم من الخلايا.
ألفت نظرهم إلى أنّ الإلكترونات تسير في الخليّتين الفولتية والإلكتروليتية من الأنود إلى الكاثود في الدائرة الخارجية.

2.2 مناقشة

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الشكل (18) في كتاب الطالب الذي يوضّح أنّ الخلايا الفولتية والالكتروليتية تشترك في بعض الصفات العامّة. وضّح لهم أنّ في هذين النوعين من الخلايا يحدث الاختزال عند الكاثود في حين تحدث الأكسدة عند الأنود وأنّ الإلكترونات تنتقل من الأنود إلى الكاثود في الدائرة الخارجية.
وضّح لهم، أيضًا، أنّ الفرق بين النوعين هو أنّ سريان الإلكترونات في الخليّة الفولتية ينتج من تفاعل أكسدة واختزال تلقائي، بينما تحتاج الخليّة الالكتروليتية إلى مصدر طاقة خارجي من مثل البطّارية لأنّ التفاعل غير تلقائي. ناقش أنّ وصل تيّار كهربائي إلى قطبين مغمورين في ماء نقي لا تأثير له ولا يسبّب مرور تيّار كهربائي ولا يُحدِث تحليلًا كهربائيًّا. اسأل الطلّاب عن السبب ودعهم يقدّمون اقتراحات لجعل التيّار الكهربائي يمرّ كي تحدث عملية التحليل الكهربائي.

[السبب هو غياب الأيونات في الماء النقي، لذلك يجب إضافة إلكتروليت بتركيزات منخفضة إلى الماء النقي ليصبح المحلول موصلًا للتيّار الكهربائي ليحدث التحليل الكهربائي.]

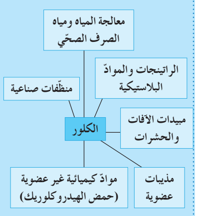
3.2 مناقشة

وضّح للطلّاب أنّ الصوديوم والكلور من الموادّ الهامّة تجاريًا حيث يستخدم الصوديوم في مصابيح بخار الصوديوم وكمبرّد في بعض المفاعلات النووية يُستخدَم غاز الكلور لتعقيم مياه الشرب إلى جانب أنّه مادّة هامّة في تصنيع البوليمرات والمبيدات الحشرية.
وضّح للطلّاب أنّ الصوديوم يطفو سائلًا على مصهور كلوريد الصوديوم الأكثر كثافة لأنّ الصوديوم ينصهر عند درجة حرارة 97.72 °C.
أشر إلى أنّ الخليّة الكهربائية التي تجري فيها هذه العملية التجارية تُسمّى خليّة داون.

وقد يكون المثال الأقرب إليك هو إعادة شحن بطّارية بعد أن فرغت حيث تتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.
يُطلَق على **الجهاز الذي تجري فيه عملية التحليل الكهربائي اسم الخليّة الإلكتروليتية Electrolytic Cell** وهي **خليّة إلكتروكيميائية تُستخدَم لإحداث تغيّر كيميائي باستخدام طاقة كهربائية.**
تُستخدَم الطاقة الكهربائية (تيّار مستمرّ)، في الخليّة الإلكتروليتية، لإتمام حدوث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي وتُستَخدم سلسلة من الخلايا الإلكتروليتية للإنتاج التجاري للكلور، وهيدروكسيد الصوديوم من المحلول المائي المركّز لكلوريد الصوديوم.

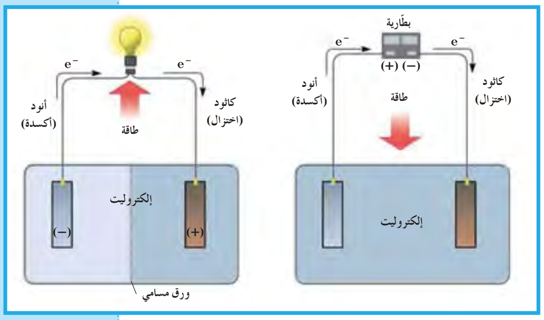
فقرة إثرائية

أهمّ استخدامات الكلور



2. الفرق بين الخليّة الفولتية والخليّة الإلكتروليتية
Difference Between Voltaic Cell and Electrolytic Cell

تسير الإلكترونات في كلّ من الخليّة الفولتية والخليّة الإلكتروليتية من الأنود إلى الكاثود في الدائرة الخارجية كما هو موضّح في الشكل (18). يحدث الاختزال في كلتا الخليّتين عند الكاثود في حين تحدث الأكسدة عند الأنود. أمّا الفرق بين الخليّتين فهو أن سريان الإلكترونات في الخليّة الفولتية ناتج من تفاعل أكسدة واختزال تلقائي يطلق طاقة تُستعمل في المحيط الخارجي (إضاءة المصباح الكهربائي).



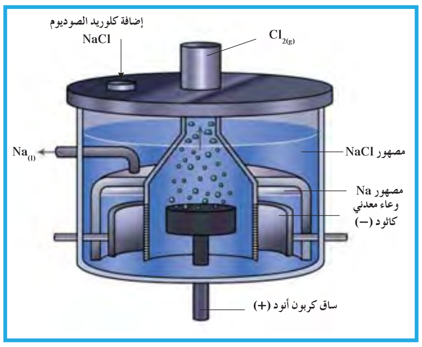
شكل (18)
تشترك الخلايا الفولتية والإلكتروليتية في بعض الصفات العامة ففي كلتا الخليّتين يحدث الاختزال عند الكاثود وتحدث الأكسدة عند الأنود وتسير الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود في الدائرة الخارجية. ولكنّهما تختلفان من حيث نوع الشحنات على الأنود والكاثود وفي كون تفاعل الأكسدة والاختزال غير تلقائي في الخليّة الإلكتروليتية وتلقائي في الخليّة الفولتية. ما الذي يؤدّي إلى إتمام تفاعل الأكسدة والاختزال غير التلقائي؟

56

على عكس الخليّة الإلكتروليتية حيث تتحرّك الإلكترونات بفعل طاقة تمتصّها الخليّة من مصدر خارجي (بطّارية) ليحدث التفاعل. كما تختلفان من حيث إشارة الأقطاب ففي الخليّة الفولتية تسيل الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود وبالتالي تصبح إشارة الأنود سالبة وإشارة الكاثود موجبة. في حين يُعتبَر الكاثود في الخليّة الإلكتروليتية القطب السالب لأنّه يتصل بالقطب السالب للبطّارية (مصدر الطاقة الخارجي) ويُعتبَر الأنود القطب الموجب لأنّه يتّصل بالقطب الموجب للبطّارية. ومن المهم تذكّر اختلاف تسميات الأقطاب بين نوعي الخلايا.

3. التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم
Electrolysis of Molten Sodium Chloride

يُعتبر الصوديوم والكلور من الموادّ الهامّة تجاريًّا حيث يستخدم الصوديوم في مصابيح بخار الصوديوم وكمبرّد في بعض المفاعلات النووية بينما يُستخدم غاز الكلور، ذو اللون الأخضر المصفّر، لتعقيم مياه الشرب إلى جانب كونه مادّة هامّة في تصنيع بوليمرات من مثل بولي كلوريد الفينيل والمبيدات الحشرية المختلفة. ينتج هذان العنصران من التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم النقي وليس لمحلول كلوريد الصوديوم.
يتصاعد، نتيجة للتحليل، غاز الكلور ويطفو الصوديوم السائل (ذو درجة الانصهار 97.8 °C) فوق مصهور كلوريد الصوديوم الأكثر كثافة.
تُسمّى **الخليّة الإلكتروليتية، التي تجري فيها عملية التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم التجارية، خليّة داون Down's Cell** وهي موضّحة في الشكل (19).



شكل (19)
تنتج خليّة داون فلزّ الصوديوم وغاز الكلور من خلال التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم وتعمل الخليّة عند درجة حرارة 301°C حتى يُصهَر الملح.

57

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الشكل (19) في كتاب الطالب الذي يوضِّح خليّة داون. وضِّح لهم أن تصميمها يسمح بإضافة كمّيات جديدة من كلوريد الصوديوم كلّما دعت الحاجة، وهو يفصل النواتج حتى لا تتّحد مع بعضها بعضًا مكوّنة كلوريد الصوديوم مرّة أخرى.

4.2 مناقشة

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الشكل (20) في كتاب الطالب الذي يوضِّح ناتجي التحليل الكهربائي للماء أي غازي الهيدروجين والأكسجين.

- أين يتكوّن كلّ غاز في الخليّة؟ وأيّ غاز ينتج من عملية الأكسدة؟

[يتكوّن الهيدروجين عند الكاثود والأكسجين عند الأنود حيث تحدث عملية الأكسدة.]

وضِّح للطلّاب أنّ كاتيون الهيدروجين يُختزَل عند الكاثود تبعًا لنصف تفاعل الاختزال. وضِّح لهم، أيضًا، أنّ الماء يتأكسد للأكسجين عند الأنود تبعًا لنصف تفاعل الأكسدة. اطلب إلى أحد الطلّاب كتابة معادلتي نصفي التفاعل على السبّورة.

[نصف تفاعل الاختزال: $4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_{2(g)}$

نصف تفاعل الأكسدة: $2H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$]

وضِّح لهم أنّ المنطقة المحيطة بالكاثود قاعديةً بسبب تكوّن أنيونات OH^- والمنطقة المحيطة بالأنود حمضية نظرًا لزيادة أيونات H^+. وضِّح للطلّاب أنّ الحصول على التفاعل النهائي ممكن بجمع نصفي التفاعل. واطلب إليهم كتابة التفاعل النهائي على السبّورة.

[$2H_2O_{(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$]

5.2 مناقشة

اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الشكل (21) في كتاب الطالب، الذي يوضِّح خليّة إلكتروليتية. اسألهم: ما هي الموادّ التي تنتج من تفاعل الأكسدة والاختزال في خلال التحليل الكهربائي لمحلول مركّز من كلوريد الصوديوم؟ **[غاز الهيدروجين، غاز الكلور ومحلول مائي من هيدروكسيد الصوديوم]**

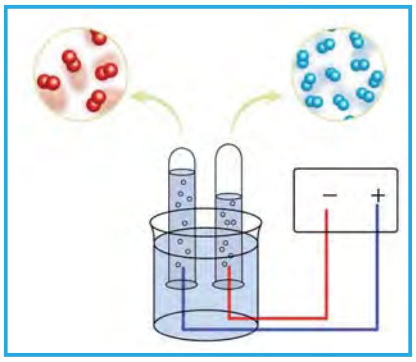
وضِّح للطلّاب أنّ هذه النواتج هي موادّ كيميائية صناعية مهمّة.

يسمح تصميم هذه الخليّة بإضافة كمّيات جديدة من كلوريد الصوديوم كلّما تطلب الأمر ذلك ويفصل النواتج حتّى لا تتحد مع بعضها مرّة أخرى لتكوّن كلوريد صوديوم. يمكن كتابة نصفي التفاعل وتفاعل الخليّة النهائي كالتالي:

عند الأنود	$2Cl^-_{(l)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$	(أكسدة)
عند الكاثود	$2Na^+_{(l)} + 2e^- \rightarrow Na_{(l)}$	(اختزال)
التفاعل النهائي	$2NaCl_{(l)} \rightarrow 2Na_{(l)} + Cl_{2(g)}$	

4. التحليل الكهربائي للماء Electrolysis of Water

عندما يوصل تيّار كهربائي بقطبين مغمورين في ماء نقي لا يحدث شيء ولا يمرّ تيّار كهربائي ولا يحدث تحليل كهربائي. ولكن عند إضافة قطرات من حمض الكبريتيك H_2SO_4، بتركيزات منخفضة إلى الماء النقي، يصبح المحلول موصلًا للتيّار الكهربائي فيحدث التحليل الكهربائي وهذه العملية موضّحة في الشكل (20).



شكل (20)
يتحلّل الماء عند مرور تيّار كهربائي فيه إلى غاز الأكسجين وغاز الهيدروجين. عند أي قطب يتكوّن غاز الهيدروجين؟ وأيّ غاز ينتج من عملية الأكسدة؟

58

وتحدث التفاعلات الكيميائية التالية نتيجة التحليل الكهربائي كما يلي:

- عند الأنود، القطب الموجب، العناصر المتوفّرة هي أنيون الكبريتات SO_4^{2-} والماء H_2O وجهود اختزالها على التوالي هي (2 V و 1.23 V) وكما وضّحنا سابقًا، يتأكسد العنصر الذي يمتلك أقلّ جهد اختزال وبالتالي يتأكسد الماء طبقًا للتفاعل التالي:

$$2H_2O_{(l)} \longrightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$$

- عند الكاثود، القطب السالب، العناصر المتوفّرة هي كاتيونات الهيدروجين H^+ من الوسط الحمضي والماء H_2O وجهود اختزالها على التوالي هي (0 V و −0.42 V) وكما وضّحنا سابقًا، وبالتالي تُختزَل كاتيونات الهيدروجين بحسب المعادلة التالية:

$$H^+ + 1e^- \longrightarrow 1/2H_2$$
$$4H^+_{(aq)} + 4e^- \longrightarrow 2\,H_{2(g)}$$

والتفاعل النهائي تمثّله المعادلة التالية:

$$2H_2O_{(l)} \longrightarrow O_2 + 2H_{2(g)}$$

نستنتج التالي:

- يتأكسد الماء عند الأنود ويتصاعد غاز الأكسجين.
- تُختزَل كاتيونات الهيدروجين من الوسط الحمضي ويتمّ التعويض عنها من عملية أكسدة الماء ويتصاعد غاز الهيدروجين.
- يظلّ عدد مولات حمض الكبريتيك ثابتًا وبالتالي يُعتبَر حمض الكبريتيك مادّة محفِّزة.
- يساوي حجم غاز الهيدروجين الناتج ضعف حجم غاز الأكسجين لأنّ عدد مولات الإلكترونات الناتجة من أكسدة الماء تنتج 1 mol من غاز الأكسجين بينما تُختزَل كاتيونات الهيدروجين وتنتج 2 mol من غاز الهيدروجين (نسبة وجودهما في الماء).

5. التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) Electrolysis of Brine

عند التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المركّز (شكل 21) تتّجه أنيونات الكلور إلى الأنود (القطب الموجب) حيث يوجد الماء. في هذه الحالة، يتأكسد الماء لأنّه يمتلك جهد الاختزال الأقلّ (جهد اختزال الماء في عملية الأكسدة يساوي 1.23 V في حين يساوي جهد اختزال الكلور 1.36 V).

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

يسمح استعمال كاشف أزرق البروموثيمول Bromothymol Blue في خلال التحليل الكهربائي للماء للتأكّد من تغيّر حمضية/قاعدية المنطقة المحيطة بكلّ من الأنود والكاثود. يتغيّر لونه إلى أصفر في الوسط الحمضي وإلى أزرق في الوسط القاعدي.

59

6.2 مناقشة

- اسأل الطلّاب: ما هو الطلاء بالكهرباء؟

[الطلاء بالكهرباء هو ترسيب طبقة رقيقة من فلزّ على جسم معدني في خليّة إلكتروليتية.]

وضّح للطلّاب أنّ لعملية الطلاء بالكهرباء تطبيقات واسعة ومهمّة، كطلاء الكروم على بعض قطع السيّارات وبعض الأفران.

دعهم يستنتجون أن طلاء جسم معدني يحمي سطح الفلزّ المُراد طلاؤه من التآكل بطبقة رقيقة للغاية من الفلزّ المترسّب. أعط للطلّاب أمثلة على الفلزّات المُستخدَمة في الطلاء كالذهب والفضّة.

اشرح لهم أنّ لطلاء جسم معدني ما بالفضّة يوضع الجسم ككاثود في خليّة تحليل كهربائي يكون الأنود فيها فلزّ الفضّة الذي سوف يترسّب على الجسم المعدني. وضّح أنّ، في هذه العملية، يُستخدَم أحد أملاح الفضّة من مثل سيانيد الفضّة وتحت تأثير تيّار مستمرّ تتحرّك كاتيونات الفضّة من الأنود نحو الجسم المعدني المراد طلاؤه. اكتب على السبّورة المعادلة النهائية للتفاعل الذي يحصل في خلال عملية الطلاء بالفضّة.

$$Ag^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Ag_{(s)}$$

ناقش مع الطلّاب اعتبار التحكّم في هذا التفاعل عملًا فنيًا راقيًا ووفرة العوامل التي تؤثّر في جودة الطبقة المعدنية المترسّبة. وضّح للطلّاب أنّ الأنود يُصمَّم في كثير من خلايا التحليل الكهربائي بحيث يأخذ شكل الجسم المُراد طلاؤه المغمور في الخليّة عند الكاثود حتّى تُطلى جميع أطراف الكاثود بطريقة متماثلة.

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلاب

لتقييم استيعاب الطلّاب لهذا الدرس اطرح عليهم الأسئلة التالية:

- ما هو الجهاز الذي تجري فيه عملية التحليل الكهربائي؟ **[الخليّة الإلكتروليتية]**
- ما هي أوجه التباين والتقارب بين الخليّة الفولتية والخليّة الإلكتروليتية؟ **[تسمية الأقطاب، مكان حدوث الاختزال والأكسدة، حركة أو اتجاه الإلكترونات، نوع التفاعل أي تلقائي أو غير تلقائي]**
- فسّر سبب إضافة إلكتروليتات من مثل H_2SO_4 و KNO_3 بتركيزات منخفضة إلى الماء النقي الذي سيتعرّض لعملية التحليل الكهربائي. **[لمرور التيّار الكهربائي]**
- فسّر تغيّر لون أزرق البروموثيمول عند الكاثود والأنود في خلال عملية التحليل الكهربائي للماء. **[بسبب وجود OH^- عند الكاثود وH^+ عند الأنود]**
- ما اسم العملية التي نستطيع من خلالها ترسيب طبقة رقيقة من فلزّ ما على جسم معدني آخر في خليّة إلكتروليتية؟ **[الطلاء بالكهرباء]**
- حدّد في خليّة الصقل الكهربائي، أين يوضع الجسم المعدني وأين يوضع الجسم الذي يُراد صقله. **[يوضع الجسم المعدني عند الأنود والجسم المراد صقله عند الكاثود.]**

عند بدء عملية التحليل الكهربائي يتأكسد الماء بحسب المعادلة التالية:

$$2H_2O_{(l)} \longrightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$$

ولكنّ تراكم غاز الأكسجين على القطب يرفع جهد اختزال الماء ليفوق الكلور فيتأكسد أنيون الكلور:

$$2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$

أمّا عند الكاثود فتتوفّر كاتيونات الصوديوم والماء وحيث أنّ جهد اختزال الماء يفوق جهد اختزال الصوديوم يُختزَل الماء بحسب المعادلة التالية:

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)} + 2OH^-$$

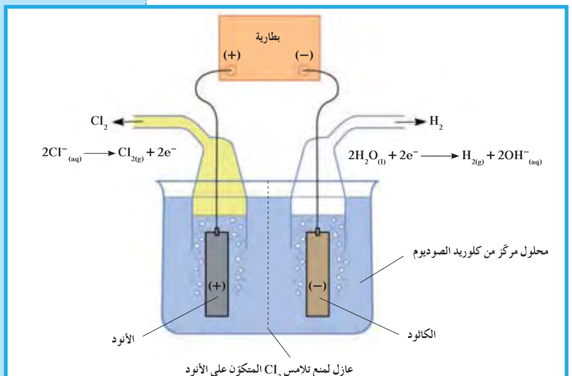
والمعادلة النهائية تكون كالتالي:

$$2Na^+_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow Cl_{2(g)} + H_{2(g)} + 2Na^+_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

فقرة إثرائية

هل تعلم؟

في حال رفع العازل، تتفاعل نواتج التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المركّز لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم الذي يُعتبَر الخطوة الأولى في تحضير المنظّفات المستعملة لتبييض الملابس.



شكل (21)
ما هي الموادّ التي تنتج من تفاعلات الأكسدة والاختزال في خلال التحليل الكهربائي لمحلول مركّز من كلوريد الصوديوم؟

ونستنتج من ذلك:

- يتصاعد غاز الكلور عند الأنود.
- يتصاعد غاز الهيدروجين عند الكاثود.
- يصبح الوسط قاعدي عند الكاثود ويمكن أن يحوّل لون كاشف أزرق البروموثيمول Bromothymol Blue إلى اللون الأزرق.

60

2.3 إعادة التعليم

وضِّح للطلّاب أنّ عملية الأكسدة والاختزال في الخليّة الإلكتروليتية هي عملية غير تلقائية وتحتاج دائمًا إلى تيّار مستمرّ لضمان استمرار التفاعل. وضِّح لهم أنّ الأنود في الخليّة الإلكتروليتية إشارته موجبة في حين أنّ الكاثود إشارته سالبة على عكس الخليّة الفولتية.

اكتب معادلتي نصفي التفاعل الذي يحدث في خليّة التحليل الكهربائي للماء واطلب إلى الطلّاب الإشارة إلى التفاعل الذي يحدث عند الأنود والتفاعل الذي يحدث عند الكاثود. كرّر ما سبق بكتابة معادلتي نصفي التفاعل الذي يحدث في خليّة تحليل مصهور كلوريد الصوديوم.

وضِّح عملية الطلاء بالكهرباء وموضع الفلزّ المُراد استعماله للطلاء والجسم المراد طلاؤه.

إجابات أسئلة مراجعة الدرس 2–2

.1

الخليّة الإلكتروليتية	الخليّة الفولتية
• تفاعل غير تلقائي	• تفاعل تلقائي
• إشارة الأنود موجبة	• إشارة الأنود سالبة
• إشارة الكاثود سالبة	• إشارة الكاثود موجبة
• تعمل على المحاليل والموادّ المنصهرة	• تعمل على المحاليل

للخليّة الإلكتروليتية استخدامات عديدة منها التحليل الكهربائي والطلاء بالكهرباء.

.2 **(أ)** $Cl_{2(g)}$ ، $NaOH_{(aq)}$ و $H_{2(g)}$

(ب) $Cl_{2(g)}$ و $Na_{(s)}$

(جـ) $O_{2(g)}$ و $H_{2(g)}$

.3 العملية التي تحدث عند الأنود هي الأكسدة والعملية التي تحدث عند الكاثود هي الاختزال.

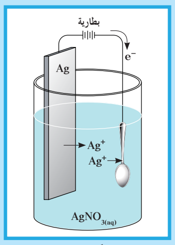
6. الطلاء بالكهرباء والعمليات المتعلّقة به

Electroplating and Related Processes

الطلاء بالكهرباء Electroplating هو ترسيب طبقة رقيقة من فلزّ على جسم معدني في خليّة إلكتروليتية. ولهذه العملية تطبيقات كثيرة هامّة هدفها، عادة، حماية سطح الفلزّ المراد طلاؤه من التآكل وتجميله. وتكون طبقة الفلزّ المترسّبة رقيقة للغاية وتتراوح سماكتها، عادة، بين 5×10^{-5} cm إلى 1×10^{-3} cm. نذكر من بين الفلزّات التي تُستخدَم عادة في هذه العملية الذهب، الفضّة، النحاس، النيكل والكروم. لطلاء جسم معدني بالفضّة يوضع الجسم ككاثود في خليّة تحليل كهربائي يكون الأنود فيها عبارة عن فلزّ الفضّة الذي سوف يترسّب عليه (شكل 22). ويُستخدم كإلكتروليت محلول أحد أملاح الفضة من مثل سيانيد الفضة (AgCN). عندما يمرّ تيّار كهربائي مستمر في الخليّة، تتحرّك كاتيونات الفضّة من الأنود باتجاه الجسم المعدني المراد طلاؤه.

وتكون النتيجة النهائية انتقال فلزّ الفضّة من قطب الفضّة إلى الجسم المراد طلاؤه من مثل الأواني الموضّحة في الشكل (23). ما الذي يحدث لكاتيونات الفضّة عند الكاثود؟ يُعتبَر التحكّم في هذا التفاعل عملًا فنيًّا راقيًا وثمّة عوامل كثيرة تؤثّر في جودة الطبقة المعدنية المترسّبة. يجب إجادة التحكّم في تركيز الكاتيونات التي سوف تُختَزل في محلول الطلاء كما يجب أن يحتوي محلول الطلاء على مركّبات تتحكّم في حمضيّة وسط التفاعل وتزيد التوصيل الكهربائي.

وهناك عمليات تحليل كهربائي أخرى وأهمّها التلميع أو عمليات الصقل الكهربائي يوضع الجسم المعدني فيها عند الأنود فيذوب سطحه الخارجي ويصبح مصقولًا.



شكل (22)
عملية الطلاء بالكهرباء

شكل (23)
الطلاء بالكهرباء هو تغطية الجسم المراد طلاؤه بطبقة رقيقة من الفلزّ في خليّة إلكتروليتية.

فقرة إثرائية

ارتباط الكيمياء بالصناعة

المعالجة بالطريقة الأنودية

المعالجة بالطريقة الأنودية هي عملية إلكتروليتية لتكوين طبقة من الأكسيد مقاومة للتآكل تغطّي الألمنيوم وفلزّات أخرى. فعندما يمرّ تيّار كهربائي في خليّة إلكتروليتية تحتوي على أنود من الألمنيوم، تتكوّن طبقة رقيقة من أكسيد الألمنيوم على سطح الألمنيوم ثمّ يُغمر بماء نقي مغلي فيلتصق هذا الغشاء بالفلزّ بصورة دائمة ويحميه من التآكل. يمكن أن ينتج في صناعة الألمنيوم المعالج بالطريقة الأنودية ألوان فلزّية إذ تسمح المسامية العالية لطبقة الأكسيد بامتصاص الصبغات والشحوم.

مراجعة الدرس 2–2

1. صِف الفرق بين الخليّة الإلكتروليتية والخليّة الفولتية واذكر عدّة استخدامات للخليّة الإلكتروليتية.
2. ما هي نواتج التحليل الكهربائي للموادّ التالية:
   (أ) محلول كلوريد الصوديوم المركّز.
   (ب) مصهور كلوريد الصوديوم.
   (جـ) الماء.
3. ما هي العملية التي تحدث عند الأنود في الخليّة الإلكتروليتية؟ وما هي العملية التي تحدث عند الكاثود؟

61

مراجعة الوحدة الرابعة

الملخّص

اطلب إلى الطلّاب تلخيص المفاهيم الأساسية للوحدة وذلك بكتابة نبذة صغيرة من سطرين عن كلّ درس في الوحدة. ويجب أن يتضمّن الملخّص أيضًا أمثلة عديدة من الأسئلة التطبيقية التي تقوم بطرحها للمناقشة، ويُمكن إجراء ذلك بتقسيم الطلّاب إلى مجموعات، ثمّ يُراجع عمل المجموعات مع بعضها للتأكد من أنها شملت جميع مواضيع الوحدة. اطرح على الطلّاب الأسئلة التالية:

◀ كيف يمكن تحديد ما إذا كان تفاعل ما تفاعل أكسدة واختزال؟

[من خلال ملاحظة تغيير عدد تأكسد عناصر التفاعل]

◀ عرّف الخليّة الأوليّة والخليّة الثانوية واعط أمثلة عليها.

[الخليّة الأوّلية هي خليّة فولتية لا يمكن شحنها بعد التفريغ من مثل الخليّة الجافّة والخليّة الجلفانية أمّا الخليّة الثانوية فهي خليّة فولتية يمكن شحنها بعد التفريغ، من مثل المركم الرصاصي وخلايا الوقود.]

◀ ما الدلالات التي يمكن استخلاصها من جدول جهود الاختزال القياسية الوارد في كتاب الطالب ص 50؟

[من خلال استخدام قيم جهود الاختزال المذكورة في الجدول والمعادلة الرياضية $E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$ يمكن استخلاص، قبل تركيب خليّة ما، ما إذا كان التفاعل بين المواد المستخدمة فيها تلقائيًا أم غير تلقائي. كما يمكن معرفة قيمة جهد الخليّة النهائي.]

◀ أعط أمثلة على الخلايا الإلكتروليتية. هل التفاعل فيها تلقائي أم غير تلقائي؟

[أمثلة على الخلايا الإلكتروليتية: خليّة داون. التفاعل في مثل هذه الخلايا يكون غير تلقائي]

مراجعة الوحدة الرابعة

المفاهيم

اختزال	Reduction	أكسدة	Oxidation
الطلاء بالكهرباء	Electroplating	المركم الرصاصي	Lead Storage Battery
أنود	Anode	تحليل كهربائي	Electrolysis
جسر ملحي	Salt Bridge	جهد الاختزال	Reduction Potential
جهد الاختزال القياسي	Standard Reduction Potential	جهد الخليّة	Cell Potential
جهد الخليّة القياسي	Standard Cell Potential	جهد كهربائي	Electrical Potential
خليّة أوّليّة	Primary Cell	خليّة إلكتروكيميائية	Electrochemical Cell
خليّة إلكتروليتية	Electrolytic Cell	خليّة ثانوية	Secondary Cell
خليّة جلفانية	Galvanic Cell	خليّة جافّة	Dry Cell / Leclanche Cell
خليّة داون	Down's Cell	خليّة فولتية	Voltaic Cell
خليّة وقود	Fuel Cell	عامل مختزل	Reducing Agent
عامل مؤكسد	Oxidizing Agent	كاثود	Cathode
نصف خليّة الهيدروجين القياسية	Standard Hydrogen Half−Cell	نصف خليّة	Half − Cell

الأفكار الرئيسية للوحدة

(1−1) طبيعة الخلايا الإلكتروكيميائية

- يُمثَّل تفاعل الأكسدة والاختزال بنصفي تفاعل، أحدهما تفاعل أكسدة والآخر تفاعل اختزال، يبيّنان عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسَبة.

(1−2) وزن معادلات الأكسدة والاختزال

- يظهر تفاعل الأكسدة والاختزال من خلال تغيّر عدد تأكسد عناصره.
- توزن معادلات الأكسدة والاختزال في محيط حمضي أو قاعدي بواسطة طريقة أعداد التأكسد أو طريقة أنصاف التفاعلات.

(1−3) الخلايا الإلكتروكيميائية

- الخلايا الأوّلية هي خلايا تعمل نتيجة حدوث تفاعلات أكسدة واختزال بشكل تلقائي ولا يمكن إعادة شحنها بعد التفريغ على عكس الخلايا الثانوية.
- في الخليّة الجلفانية، تحدث الأكسدة في نصف خليّة عند الأنود ويحدث الاختزال في النصف الآخر عند الكاثود ويصل بين النصفين جسر ملحي.

62

- تتكوّن الدائرة الخارجية في الخليّة الجلفانية من موصل معدني يربط الأقطاب ويتصل بجهاز فولتمتر.
- في خليّة خارصين – نحاس، يُختزَل كاتيون النحاس ويترسّب على قطب النحاس ويتأكسد فلزّ الخارصين لإنتاج كاتيونات الخارصين وإلكترونات.
- يدلّ الرمز الاصطلاحي للخليّة الجلفانية على تركيبها والتفاعلات التي تحدث في خلال عملها.
- في الخليّة الجافّة، أو خليّة لوكلانشيه، الأنود عبارة عن جدار من الخارصين يفصله ورق مسامي عن بقية الموادّ في حين أنّ الكاثود قضيب من الجرافيت.
- المركم الرصاصي مكوّن من مجموعة خلايا متصلة ببعضها بعضًا، يتكوّن الأنود فيها من رصاص إسفنجي ويتكوّن الكاثود من عجينة من أكسيد الرصاص.
- خلايا الوقود هي خلايا فولتية ذات أقطاب قابلة للتجديد ونواتج غير ملوّثة للطبيعة.

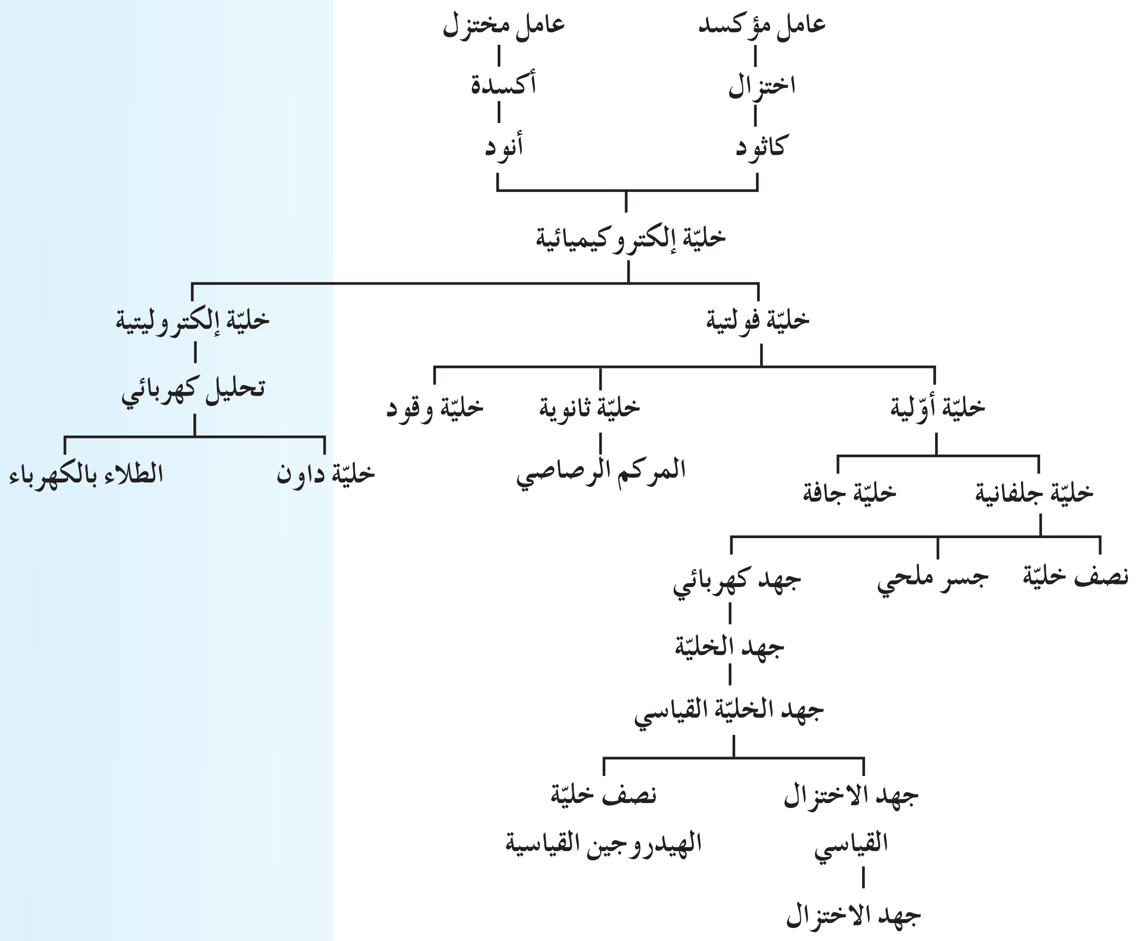
(2−1) أنصاف الخلايا وجهود الخلايا

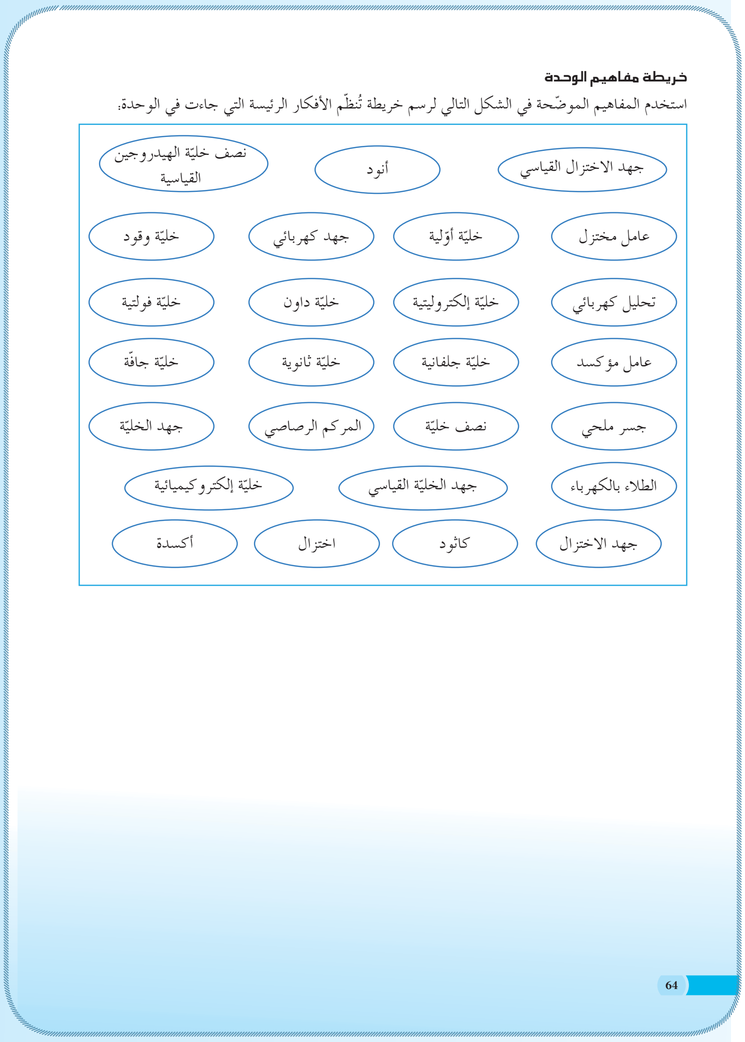
- الجهد الكهربائي للخليّة الفولتية هو مقياس قدرة الخليّة على إنتاج تيّار كهربائي وجهد الخليّة القياسي هو جهد الخليّة عند درجة حرارة 25 °C وضغط 101 kPa وعندما تكون جميع تركيزات الأيونات 1 M.
- تُقاس جهود اختزال أنصاف الخلايا بواسطة قطب الهيدروجين القياسي الذي يساوي جهد اختزاله القياسي 0 V.
- إذا كانت قيمة جهد الخليّة، لتفاعل أكسدة واختزال ما، موجبة يكون التفاعل تلقائيًّا. أما إذا كانت سالبة فيكون التفاعل غير تلقائي.
- كلّما زادت قيمة جهد الاختزال القياسي، زاد ميل التفاعل إلى الحدوث في اتجاه الاختزال.

(2−2) الخلايا الإلكتروليتية

- تُسمّى العمليات التي تُستَخدَم فيها الطاقة الكهربائية لإحداث تغيير كيميائي التحليل الكهربائي وتُسمّى الخليّة التي يحدث فيها التحليل الكهربائي الخليّة الإلكتروليتية.
- في جميع الخلايا الإلكتروكيميائية، تحدث عملية الاختزال عند الكاثود وعملية الأكسدة عند الأنود. وفي الخليّة الفولتية يكون الكاثود القطب الموجب ويكون الأنود القطب السالب على عكس الأقطاب في الخليّة الإلكتروليتية.
- الطلاء بالكهرباء هو ترسيب طبقة رقيقة من فلزّ ما على جسم معدني في خليّة إلكتروليتية.

63


عامل مؤكسد
اختزال
كاثود
عامل مختزل
أكسدة
أنود
خليّة إلكتروكيميائية
خليّة فولتية
خليّة إلكتروليتية
خليّة أوّلية
خليّة ثانوية
خليّة وقود
تحليل كهربائي
خليّة جلفانية
خليّة جافة
المركم الرصاصي
خليّة داون
الطلاء بالكهرباء
نصف خليّة
جسر ملحي
جهد كهربائي
جهد الخليّة
جهد الخليّة القياسي
جهد الاختزال القياسي
جهد الاختزال
نصف خليّة الهيدروجين القياسية


خريطة مفاهيم الوحدة
استخدم المفاهيم الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة تُنظّم الأفكار الرئيسة التي جاءت في الوحدة.
جهد الاختزال القياسي
أنود
نصف خليّة الهيدروجين القياسية
عامل مختزل
خليّة أوّلية
جهد كهربائي
خليّة وقود
تحليل كهربائي
خليّة إلكتروليتية
خليّة داون
خليّة فولتية
عامل مؤكسد
خليّة جلفانية
خليّة ثانوية
خليّة جافّة
جسر ملحي
نصف خليّة
المركم الرصاصي
جهد الخليّة
الطلاء بالكهرباء
جهد الخليّة القياسي
خليّة إلكتروكيميائية
جهد الاختزال
كاثود
اختزال
أكسدة
64

تحقق من فهمك

1. يُقصد بنصف التفاعل تفاعل الأكسدة أو الاختزال ويحدث أحدهما في نصف الخليّة عند الأنود والآخر في نصف الخليّة عند الكاثود.

نصف تفاعل الأكسدة: $Al_{(s)} \rightarrow 3e^- + Al^{3+}_{(aq)}$

نصف تفاعل الاختزال: $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

2. عند حساب جهد الخليّة، نجد أنّ قيمته سالبة ما يعني أنّ التفاعل غير تلقائي، ولذلك لا يحدث شيء.

3. (أ) Cu (ب) Mg (جـ) Zn
(د) Ca (هـ) Sn (و) Al

4. يحدث الاختزال في الخليّة الفولتية عند الكاثود.

5. يفصل الجسر الملحي بين أنصاف الخلايا، يربط المحلولين لإقفال الدائرة الداخليّة، ويحافظ على التعادل الكهربائي في الوعائين في خلال التفاعل.

6. يُستخدَم الخارصين في الأنود والكربون في الكاثود.

7. يرجع سبب نقص كثافة الإلكتروليت في المركم الرصاصي إلى ترسّب كبريتات الرصاص تدريجيًّا وزيادة كمّية الماء.

8. توليد الكهرباء باستخدام خلايا الوقود مكلف مقارنة بالطرق التقليدية وهي كبيرة الحجم.

9. لا تسبّب التلوّث إذ ينتج الماء من التفاعل ولا تحتاج إلى إعادة شحنها فالغازات التي تستهلكها تُضخّ في الخليّة باستمرار.

10. يتكوّن قطب الهيدروجين القياسي من شريحة بلاتين، رقيقة، مربعة وصغيرة مغطّاة بطبقة سوداء من البلاتين المجزّأ، مغمورة في محلول يحتوي على كاتيون الهيدروجين عند ظروف قياسية.

11. جهد الخليّة الكهربائي هو فرق جهد الاختزال بين نصفي الخليّة. يمكن توضيح ذلك من خلال العلاقة التالية:

$$E_{cell} = E_{reduction} - E_{oxidation}$$

12. يوصل نصف خليّة الألمنيوم بنصف خليّة الهيدروجين القياسية.

13. (أ) أكسدة: $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)}$ ؛ اختزال: $2H^+_{(aq)} \rightarrow H_{2(g)}$

$$Cu_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{reduction} - E^\circ_{oxidation}$$
$$= E^\circ_{H^+/H_2} - E^\circ_{Cu^{2+}/Cu} = -0.34\ V$$

هذا التفاعل غير تلقائي لأنّ $E^\circ_{cell} < 0$.

(ب) أكسدة: $2Ag_{(s)} \rightarrow 2Ag^+_{(aq)}$ ؛ اختزال: $Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe_{(s)}$

$$2Ag_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2Ag^+_{(aq)} + Fe_{(s)}$$

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{reduction} - E^\circ_{oxidation}$$
$$= E^\circ_{Fe^{2+}/Fe} - E^\circ_{Ag^+/Ag} = -1.24\ V$$

هذا التفاعل غير تلقائي لأنّ $E^\circ_{cell} < 0$.

تحقق من فهمك

1. ما المقصود بمفهوم نصف التفاعل؟ اكتب نصفي التفاعل الذي يحدث عند غمر شريحة من الألمنيوم في محلول كبريتات النحاس (II).
2. ماذا تتوقّع أن يحدث عند وضع شريحة من الرصاص في محلول نيترات المغنيسيوم؟
3. حدّد الفلزّ الذي يمتلك قابلية أكبر للتأكسد في كلّ زوج من أزواج الفلزّات التالية بالرجوع إلى الجدول (2):
(أ) Cu، Hg (ب) Mg، Ni (جـ) Zn، Pb
(د) Al، Ca (هـ) Ag، Sn (و) Al، Cu
4. عند أيّ قطب يحدث الاختزال دائمًا في الخليّة الفولتية؟
5. اشرح عمل الجسر الملحي في الخليّة.
6. ما هي الموادّ المستخدمة في كلّ من الأنود والكاثود في بطاريات الكاشفات الكهربائية؟
7. وضّح سبب نقص كثافة الإلكتروليت في المركم الرصاصي في خلال عملية تفريغه.
8. «بالرغم من أنّ خلايا الوقود مصمّمة لإنتاج طاقة كهربائية من دون إخراج أيّ ملوّثات في الهواء إلّا أنها لا تُستخدم على نطاق واسع». اشرح هذه العبارة.
9. اذكر مزايا خليّة الوقود بمقارنتها بالمركم الرصاصي.
10. ممَّ يتألّف نصف خليّة الهيدروجين القياسية؟
11. ما هو الجهد الكهربائي لخليّة ما؟
12. اشرح كيف يمكن تعيين جهد الاختزال القياسي لنصف خليّة الألمنيوم.
13. حدّد ما إذا كانت تفاعلات الأكسدة والاختزال التالية تحدث تلقائيًّا، واحسب جهد الخليّة القياسي في كلّ حالة:
(أ) $Cu_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$
(ب) $2Ag_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2Ag^+_{(aq)} + Fe_{(s)}$
14. اذكر بعض الأنواع العامة للتفاعلات التي تنطبق عليها صفات تفاعلات الأكسدة والاختزال.
15. اشرح باختصار كيفية طلاء ملعقة شاي بالفضّة.
16. فرّق بين الخليّة الفولتية والخليّة الإلكتروليتية.
17. صف تركيب كلّ من الأنود والكاثود والإلكتروليت في المركم الرصاصي المفرغ بالكامل.
18. ما هو عدد تأكسد العناصر المكتوبة بالحروف المائلة في كلّ صيغة من الصيغ التالية:
(أ) $K_2\mathit{Cr}_2O_7$ (ب) $K\mathit{I}O_3$ (جـ) $\mathit{Mn}O^-_4$ (د) $\mathit{Fe}Cl_3$
19. لقد تعلّمت أنّ الأكسدة هي فقد إلكترونات والاختزال هو اكتساب إلكترونات، قدّم تعريفًا آخر للأكسدة والاختزال.

14. الاحتراق، الإحلال المفرد، التكوين، الانحلال

15. يمكن طلاء ملعقة شاي بالفضّة باستخدام نيترات الفضّة وشريحة فضّة في خليّة إلكتروليتية. تؤدّي ملعقة الشاي دور الكاثود ويُختزَل عندها $Ag^+_{(aq)}$ إلى $Ag_{(s)}$ فيما يؤدّي فلزّ الفضّة دور الأنود.

16. التفاعل، في الخليّة الفولتية، تلقائي والأنود هو القطب السالب ويحدث عنده تفاعل الأكسدة في حين أنّ الكاثود هو القطب الموجب ويحدث عنده تفاعل الاختزال. أمّا في الخليّة الإلكتروليتية فالتفاعل غير تلقائي والأنود هو القطب الموجب والكاثود هو القطب السالب والتفاعلات تبقى كما في الجلفانية.

17. يتكوّن المركم الرصاصي من ألواح رصاصية شبكية تُملأ تبادليًا أحدها بالرصاص الإسفنجي ويمثّل الأنود والآخر بعجينة من ثاني أكسيد الرصاص ويُستخدَم محلول حمض الكبريتيك المخفّف كإلكتروليت يغمر الألواح.

18. (أ) $K_2\overset{+6}{\mathit{Cr}}_2O_7$

(ب) $K\overset{+5}{\mathit{I}}O_3$

(جـ) $\overset{+7}{\mathit{Mn}}O^-_4$

(د) $\overset{+3}{\mathit{Fe}}Cl_3$

19. الاختزال هو العملية التي تحدث عند الكاثود للمادّة الأكثر ميلًا إلى كسب الإلكترونات.

الأكسدة هي العملية التي تحدث عند الأنود للمادّة الأكثر ميلًا إلى خسارة الإلكترونات.

اختبر مهاراتك

1. (أ) $E^{\circ}_{cell} = +1.61\ V$

(ب) $E^{\circ}_{cell} = +0.94\ V$

2. (أ) $+4$ (ب) $+5$ (جـ) $+5$

(د) $+3$ (هـ) $+5$ (و) $+3$

3. (أ) زاد عدد تأكسد الكربون من 0 إلى 4+ أي أنه تأكسد.

(ب) نَقُص عدد تأكسد الكلورفي ثاني أكسيد الكلور من 4+ إلى 3+ في كلوريت الصوديوم أي أنه اختزل وهو العامل المؤكسد.

4.

	النوع الذي تأكسد	عامل مختزن	النوع الذي اختُزِل	عامل مؤكسد
(أ)	Cl^-	Cl^- أو HCl	Mn^{4+}	Mn^{4+} أو MnO_2
(ب)	Cu	Cu	N^{5+}	N^{5+} أو HNO_3
(جـ)	P	P	N^{5+}	N^{5+} أو HNO_3
(د)	Sn^{2+}	Sn^{2+} أو Na_2SnO_2	Bi^{3+}	Bi^{3+} أو $Bi(OH)_3$

5. (أ) $MnO_{2(s)} + 4HCl_{(aq)} \rightarrow MnCl_{2(aq)} + Cl_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

(ب) $Cu_{(s)} + 4HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

(جـ) $3P_{(s)} + 5HNO_{3(aq)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 5NO_{(g)} + 3H_3PO_{4(aq)}$

(د) $2Bi(OH)_{3(s)} + 3Na_2SnO_{2(aq)} \rightarrow 2Bi_{(s)} + 3Na_2SnO_{3(aq)} + 3H_2O_{(l)}$

6. (أ)، (ب)، (جـ) و(د) كلّها تفاعلات أكسدة واختزال.

7. سوف يُطلى بطبقة رقيقة من النحاس.

نصف تفاعل أكسدة: $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

نصف تفاعل اختزال: $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

8. (أ) $L > Y > X > Q > Z$

(ب) Z: $-2V$

Q: $-1V$

X : $0V$

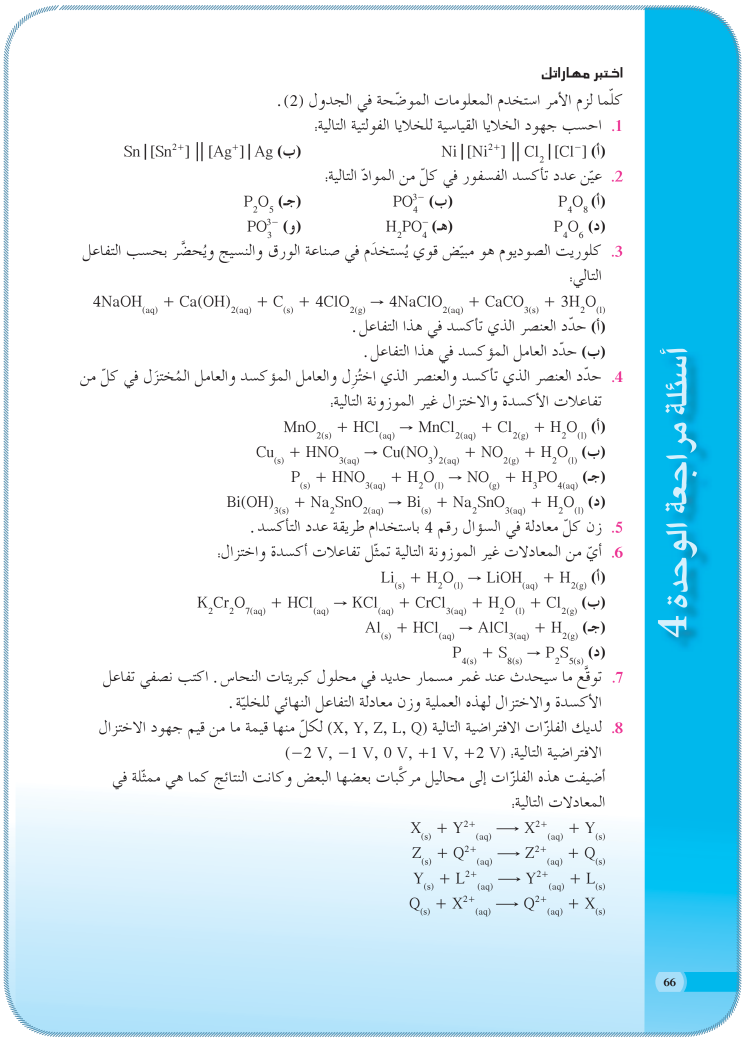
Y: $+1V$

L: $+2V$

(جـ) ترتيب تبعًا للقدرة على اكتساب الإلكترونات

(د)

- Y و L
- Z^{2+} و L^{2+}
- Q و Z ، L و Y
- Y^{2+} و L^{2+} ، Q^{2+} و Z^{2+}
- Q و Z



اختبر مهاراتك

كلّما لزم الأمر استخدم المعلومات الموضّحة في الجدول (2).

1. احسب جهود الخلايا القياسية للخلايا الفولتية التالية:

(أ) $Ni\,|\,[Ni^{2+}]\,||\,Cl_2\,|\,[Cl^-]$ (ب) $Sn\,|\,[Sn^{2+}]\,||\,[Ag^+]\,|\,Ag$

2. عيّن عدد تأكسد الفسفور في كلّ من الموادّ التالية:

(أ) P_4O_8 (ب) PO_4^{3-} (جـ) P_2O_5

(د) P_4O_6 (هـ) $H_2PO_4^-$ (و) PO_3^{3-}

3. كلوريت الصوديوم هو مبيّض قوي يُستخدَم في صناعة الورق والنسيج ويُحضَّر بحسب التفاعل التالي:

$$4NaOH_{(aq)} + Ca(OH)_{2(aq)} + C_{(s)} + 4ClO_{2(g)} \rightarrow 4NaClO_{2(aq)} + CaCO_{3(s)} + 3H_2O_{(l)}$$

(أ) حدّد العنصر الذي تأكسد في هذا التفاعل.

(ب) حدّد العامل المؤكسد في هذا التفاعل.

4. حدّد العنصر الذي تأكسد والعنصر الذي اختُزِل والعامل المؤكسد والعامل المُختزَل في كلّ من تفاعلات الأكسدة والاختزال غير الموزونة التالية:

(أ) $MnO_{2(s)} + HCl_{(aq)} \rightarrow MnCl_{2(aq)} + Cl_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

(ب) $Cu_{(s)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

(جـ) $P_{(s)} + HNO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow NO_{(g)} + H_3PO_{4(aq)}$

(د) $Bi(OH)_{3(s)} + Na_2SnO_{2(aq)} \rightarrow Bi_{(s)} + Na_2SnO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$

5. زن كلّ معادلة في السؤال رقم 4 باستخدام طريقة عدد التأكسد.

6. أيّ من المعادلات غير الموزونة التالية تمثّل تفاعلات أكسدة واختزال:

(أ) $Li_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow LiOH_{(aq)} + H_{2(g)}$

(ب) $K_2Cr_2O_{7(aq)} + HCl_{(aq)} \rightarrow KCl_{(aq)} + CrCl_{3(aq)} + H_2O_{(l)} + Cl_{2(g)}$

(جـ) $Al_{(s)} + HCl_{(aq)} \rightarrow AlCl_{3(aq)} + H_{2(g)}$

(د) $P_{4(s)} + S_{8(s)} \rightarrow P_2S_{5(s)}$

7. توقَّع ما سيحدث عند غمر مسمار حديد في محلول كبريتات النحاس. اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال لهذه العملية وزن معادلة التفاعل النهائي للخليّة.

8. لديك الفلزّات الافتراضية التالية (X, Y, Z, L, Q) لكلّ منها قيمة ما من قيم جهود الاختزال الافتراضية التالية: (−2 V, −1 V, 0 V, +1 V, +2 V)

أضيفت هذه الفلزّات إلى محاليل مركَّبات بعضها البعض وكانت النتائج كما هي ممثّلة في المعادلات التالية:

$$X_{(s)} + Y^{2+}_{(aq)} \longrightarrow X^{2+}_{(aq)} + Y_{(s)}$$
$$Z_{(s)} + Q^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Z^{2+}_{(aq)} + Q_{(s)}$$
$$Y_{(s)} + L^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Y^{2+}_{(aq)} + L_{(s)}$$
$$Q_{(s)} + X^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Q^{2+}_{(aq)} + X_{(s)}$$

66

.9 (أ)

$$Sn_{(s)} + Pb^{2+}_{(aq)} \quad Sn^{2+}_{(aq)} + Pb_{(s)}$$

أكسدة ، اختزال

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$
$$= E^{\circ}_{Pb^{2+}/Pb} - E^{\circ}_{Sn^{2+}/Sn} = -0.13 + 0.14$$
$$= 0.01\ V$$

(ب)

$$Br_{2(g)} + H_{2(g)} \rightarrow 2H^{+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)}$$

أكسدة ، اختزال

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$
$$= E^{\circ}_{Br_2/Br^-} - E^{\circ}_{H^+/H_2} = 1.07 - 0$$
$$= 1.07\ V$$

.10 (أ)

$$2AgCl_{(aq)} + Ni_{(s)} \rightarrow 2Ag_{(s)} + Ni^{2+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)}$$

أكسدة ، اختزال

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$
$$= E^{\circ}_{Ag^+/Ag} - E^{\circ}_{Ni^{2+}/Ni} = 0.22 + 0.25$$
$$= 0.47\ V$$

(ب)

$$2Al_{(s)} + 3Cl_{2(g)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 6Cl^{-}_{(aq)}$$

أكسدة ، اختزال

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction} - E^{\circ}_{oxidation}$$
$$= E^{\circ}_{Cl_2/Cl^-} - E^{\circ}_{Al^{3+}/Al} = 1.36 + 1.66$$
$$= 3.02\ V$$

.11 (أ) الكاثود هو قطب النيكل
الأنود هو قطب الحديد
(ب) الأنود هو القطب السالب والكاثود هو القطب الموجب.
(جـ) نصف تفاعل الاختزال:

$$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Ni_{(s)}$$

نصف تفاعل الأكسدة:

$$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$$

(د) $E^{\circ}_{cell} = +0.19\ V$

.12 أقصى جهد يمكن أن تبذله الخليّة الإلكتروكيميائية هو 5.92 V حيث أن الموادّ المستعملة فيها هي الليثيوم والفلور. يجب على الطالب أن يذكر في تصميمه الجسر الملحي، الأنود، الكاثود والفولتمتر.

.13 الموادّ التي يجب ذكرها: بطّارية، خليّة إلكتروليتية، سلك كهربائي، قطعة نحاس تُستعمَل كأنود، محلول يحتوي على أيون النحاس، المسمار المراد طلاؤه الذي سيوضع على الكاثود.
(الشكل التخطيطي مماثل للشكل (22) في كتاب الطالب. يوضع المسار مكان الملعقة وشريحة نحاس مكان شريحة الفضّة. ويُستَخدم محلول يحتوي على كاتيونات النحاس في هذه الخليّة.)

(أ) رتّب الأقطاب السابقة بالنسبة إلى بعضها البعض تنازليًّا بحسب الميل إلى فقدان الإلكترونات؟
(ب) رتّب الأقطاب السابقة بالنسبة إلى بعضها البعض بحسب جهود اختزالها القياسية؟
(جـ) ما المقصود بسلسلة جهود الاختزال القياسية؟
(د) أكمل الجمل التالية بالعبارة المناسبة
- يستطيع العنصر (X) أن يختزل مركّبات العناصر ....
- أقلّ كاتيون ميلًا إلى الاختزال هو .... بينما الأكثر ميلًا إلى الاختزال هو كاتيون ....
- العناصر التي تحلّ محلّ هيدروجين في الأحماض المخففة هي .... أمّا العناصر التي لا تحلّ محلّه فهي .... (علمًا بأن جهد الاختزال القياسي للهيدروجين يساوي صفرًا)
- يُعتبَر كاتيون الهيدروجين (H^+) أقل ميلًا إلى الاختزال من كاتيونات العناصر .... وأكثر ميلًا إلى الاختزال من كاتيونات العناصر ....
- العناصر التي يمكن وجودها في الطبيعة في الحالة العنصرية هي ....

.9 احسب E°_{cell} واكتب التفاعل النهائي للخلايا التالية:
(أ) $Sn\,|\,[Sn^{2+}]\,||\,[Pb^{2+}]\,|\,Pb$ (ب) $H_2\,|\,[H^+]\,||\,Br_2\,|\,[Br^-]$

.10 اكتب تفاعلات النهائية واحسب قيمة E°_{Cell} للخلايا الفولتية المكوّنة من مجموعات أنصاف الخلايا التالية:
(أ) $AgCl_{(s)} + e^{-} \rightarrow Ag_{(s)} + Cl^{-}_{(aq)}$
$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Ni_{(s)}$
(ب) $Al^{3+}_{(aq)} + 3e^{-} \rightarrow Al_{(s)}$
$Cl_{2(g)} + 2e^{-} \rightarrow 2Cl^{-}_{(aq)}$

.11 يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي التالي في الخليّة الفولتية الموضّحة في الشكل التالي:
$Ni^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)} \rightarrow Ni_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)}$

(أ) حدّد الأنود والكاثود.
(ب) حدّد الشحنات على الأقطاب.
(جـ) اكتب نصفي التفاعل.
(د) احسب جهد الخليّة القياسي.
67
أسئلة مراجعة الوحدة 4

.14 (أ) نصف تفاعل الاختزال عند القطب السالب:

$$Fe^{3+} + 1e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$$

نصف تفاعل الأكسدة عند القطب الموجب:

$$2Cl^{-} \rightarrow Cl_2 + 2e^{-}$$

بما أنّ تفاعل الأكسدة يحدث عند القطب الموجب، يؤدّي هذا القطب دور الأنود ويؤدّي القطب السالب دور الكاثود ويحدث عنده تفاعل الاختزال.

(ب) بعد توحيد المعامل الحسابي للإلكترونات (المفقودة والمكتسبة) يمكن الحصول على المعادلة التالية:

$$2Fe^{3+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)} \rightarrow 2Fe^{2+}_{(aq)} + Cl_{2(g)}$$

15.(أ) تفاعل HCl وفلزّ الرصاص Pb:

$$2HCl_{(aq)} + Pb_{(s)} \quad PbCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

- تحديد عدد تأكسد كلّ عنصر

$$\overset{+1\ -1}{2HCl_{(aq)}} + \overset{0}{Pb_{(s)}} \rightarrow \overset{+2\ -1}{PbCl_{2(aq)}} + \overset{0}{H_{2(g)}}$$

- تحديد العامل المؤكسد والعامل المختزل

H^+ هو العامل المؤكسد لأنّ عدد تأكسده نقُص من $+1$ إلى 0.

Pb العامل المختزل لأنّ عدد تأكسده زاد من 0 إلى $+2$.

$$2H_2 + 2e^- \rightarrow H_2$$
$$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^-$$
$$\overline{2H^+_{(aq)} + Pb_{(s)} \rightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}}$$

تفاعل HCl والنحاس:

لا تفاعل $HCl_{(aq)} + Cu_{(s)}$ **(ب)** لدى الرصاص قابلية أكبر لفقدان الإلكترونات مقارنة بكاتيون الهيدروجين لذلك يتبادل وإيّاه الإلكترونات.

لدى النحاس قابلية أقلّ لفقدان الإلكترونات مقارنة بكاتيون الهيدروجين لذلك لا يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك.

(جـ) تزايد قابلية الأكسدة

Cu^{2+}	Cu
H^+	H_2
Pb^{2+}	Pb

(د) بالاستناد إلى الاختبار الذي أجراه المعلم أمام الطلّاب والملاحظات التي دوّنوها، تفاعل حمض HCl مع Pb.

إذا كان الحديد Fe والخارصين Zn أكثر اختزالًا من Pb (أي لديهما قابلية أكبر لفقدان الإلكترونات من Pb) فإنّ أيون H^+ يتفاعل مع كلّ منهما.

(هـ) تفاعل كاتيون H^+ والحديد Fe:

نصف تفاعل الاختزال $\quad 2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$

نصف تفاعل الأكسدة $\quad Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

$$\overline{2H^+_{(aq)} + Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}}$$

تفاعل كاتيون H^+ والخارصين Zn:

نصف تفاعل الاختزال $\quad 2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$

نصف تفاعل الأكسدة $\quad Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

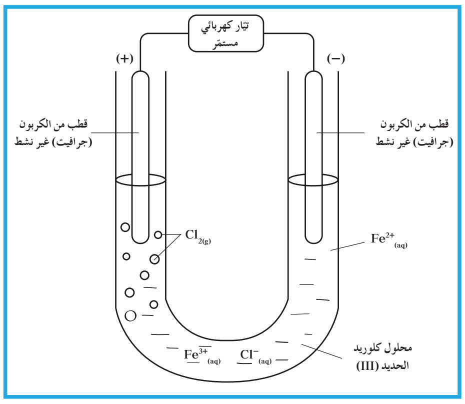
$$\overline{2H^+_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}}$$

أسئلة مراجعة الوحدة 4

12.ما هو أقصى جهد يمكن أن تبذله الخليّة الإلكتروكيميائية؟ صمّم مثل هذه الخليّة محدّدًا شكلها ومعدّدًا الموادّ المطلوبة لتصميمها.

13.ما هي الموادّ التي تحتاج إليها لطلاء مسمار حديدي بالنحاس؟ وضّح بواسطة شكل تخطيطي كيف يمكن ترتيب هذه الموادّ حتى يتمّ الطلاء.

14.يوضِّح الشكل التالي الجهاز المُستخدَم في التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الحديد (III) $FeCl_3$.



يساوي تركيز محلول كلوريد الحديد (III) المُستخدَم في العملية المبيَّنة أعلاه 2×10^{-2} M. بعد مرور 15 دقيقة، نتج غاز الكلور Cl_2 على أحد القطبين وكاتيونات الحديد (II) Fe^{2+} على القطب الآخر. مرّ، في خلال هذا الوقت، تيار كهربائي مستمرّ بشدّة $I = 420$ mA

(أ) اكتب معادلة نصف التفاعل الذي يحدث عند قطبين هذا الجهاز. وحدّد طبيعة كل قطب.

(ب) استنتج المعادلة النهائية للتفاعل الذي يحدث في خلال هذا التحليل الكهربائي.

15.بعد دقائق عدّة على إجراء تجربة عملية باتباع الخطوات التالية:

- وضع قطع صغيرة من فلزّ الرصاص (Pb) في أنبوب اختبار (A)
- وضع قطع صغيرة من فلزّ النحاس (Cu) في أنبوب اختبار (B)
- إضافة 5 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 1 M إلى الأنبوبين (B) و(A)

يُلاحظ ما يلي:

- حدوث تفاعل في الأنبوب (A) نتج منه غاز الهيدروجين وكاتيونات الرصاص
- عدم حدوث تفاعل في الأنبوب (B).

68

أسئلة مراجعة الوحدة 4

(و) نعم، لأنّ العامل المؤكسد في المحلول المائي لهذا الحمض أي H^+ هو المسؤول عن أكسدة الفلزّات Fe، Pb وZn إلى كاتيونات Pb^{2+}، Fe^{2+} وZn^{2+} على التوالي.

16. **(أ)** توضّح جهود الاختزال القياسية المعطاة أنّ الحديد Fe هو أنود الخليّة والفضّة Ag هي الكاثود وبالتالي يُرمَز إلى الخليّة بالشكل التالي:

$$\ominus\ Fe \mid [Fe^{2+}] \parallel [Ag^+] \mid Ag\ \oplus$$

(ب)

أنود: $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

كاثود: $2 \times Ag^+_{(aq)} + 1e^- \rightarrow Ag_{(s)}$

$$Fe_{(s)} + 2Ag^+_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$$

(جـ) تتجه الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود. تنتج الإلكترونات من قطب الحديد بفعل عملية الأكسدة وتتجه إلى قطب الفضة حيث تُختزَل أيوناتها.

(د) ربط محلولي نصفي الخليّة، إغلاق الدائرة الكهربائية والحفاظ على التعادل الكهربائي للمحاليل في نصفي الخليّة.

(هـ) تختزل الإلكترونات التي تصل إلى الكاثود كاتيونات الفضة Ag^+ إلى ذرّات فضة تترسّب عند قطب الفضّة ما ينتج نقص في تركيز كاتيونات الفضّة.

تنتج الإلكترونات عند الأنود بفعل عملية الأكسدة إذ يتأكسد فلزّ الحديد ويتحوّل إلى كاتيونات الحديد (II) Fe^{2+} فتتناقص كتلة الفلزّ Fe.

17. **(أ)**

يتألّف نصف خليّة الخارصين من محلول مائي يحتوي على كاتيونات الخارصين Zn^{2+} وشريحة نحاس تمثّل الأنود.

تتألف نصف خليّة النحاس من محلول مائي يحتوي على كاتيونات النحاس (II) Cu^{2+} وشريحة نحاس تمثّل الكاثود.

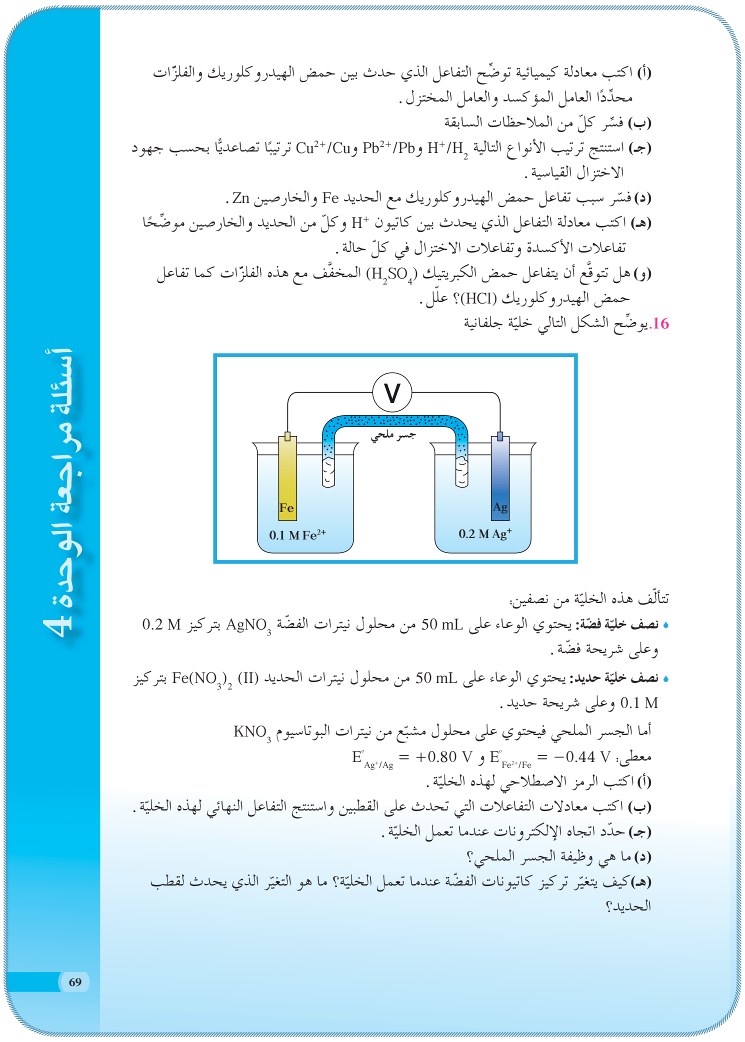
$$\ominus\ Zn \mid Zn^{2+} \parallel Cu^{2+} \mid Cu\ \oplus$$

(ب) يدلّ الجدول المعطى سابقًا على أن الفلزّ Mg يشكّل الأنود في الخليّة (G_2) لأنّ جهد الاختزال القياسي $E^\circ_{Mg^{2+}/Mg}$ أقلّ من جهد الاختزال القياسي $E^\circ_{Cu^{2+}/Cu}$.

تفاعل الأكسدة عند الأنود: $Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

تفاعل الاختزال عند الكاثود: $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

التفاعل النهائي: $Mg_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$



(أ) اكتب معادلة كيميائية توضّح التفاعل الذي حدث بين حمض الهيدروكلوريك والفلزّات محدّدًا العامل المؤكسد والعامل المختزل.

(ب) فسّر كلّ من الملاحظات السابقة

(جـ) استنتج ترتيب الأنواع التالية H^+/H_2 وPb^{2+}/Pb وCu^{2+}/Cu ترتيبًا تصاعديًّا بحسب جهود الاختزال القياسية.

(د) فسّر سبب تفاعل حمض الهيدروكلوريك مع الحديد Fe والخارصين Zn.

(هـ) اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث بين كاتيون H^+ وكلّ من الحديد والخارصين موضّحًا تفاعلات الأكسدة وتفاعلات الاختزال في كلّ حالة.

(و) هل تتوقّع أن يتفاعل حمض الكبريتيك (H_2SO_4) المخفّف مع هذه الفلزّات كما تفاعل حمض الهيدروكلوريك (HCl)؟ علّل.

16. يوضّح الشكل التالي خليّة جلفانية

تتألّف هذه الخليّة من نصفين:

- **نصف خليّة فضّة:** يحتوي الوعاء على 50 mL من محلول نيترات الفضّة $AgNO_3$ بتركيز 0.2 M وعلى شريحة فضّة.
- **نصف خليّة حديد:** يحتوي الوعاء على 50 mL من محلول نيترات الحديد (II) $Fe(NO_3)_2$ بتركيز 0.1 M وعلى شريحة حديد.

أما الجسر الملحي فيحتوي على محلول مشبّع من نيترات البوتاسيوم KNO_3

معطى: $E^\circ_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44\ V$ و $E^\circ_{Ag^+/Ag} = +0.80\ V$

(أ) اكتب الرمز الاصطلاحي لهذه الخليّة.

(ب) اكتب معادلات التفاعلات التي تحدث على القطبين واستنتج التفاعل النهائي لهذه الخليّة.

(جـ) حدّد اتجاه الإلكترونات عندما تعمل الخليّة.

(د) ما هي وظيفة الجسر الملحي؟

(هـ) كيف يتغيّر تركيز كاتيونات الفضّة عندما تعمل الخليّة؟ ما هو التغيّر الذي يحدث لقطب الحديد؟

69

أسئلة مراجعة الوحدة 4

(جـ) يشكّل النحاس الأنود في هذه الخليّة.

يوضّح الجدول أنّ $E^\circ_{Cu^{2+}/Cu}$ أقلّ من $E^\circ_{Ag^+/Ag}$ ما يدلّ على أنّ النحاس تحدث له أكسدة أي أنّه أنود الخليّة G_3.

(د) $E^\circ_{Mg^{2+}/Mg} < E^\circ_{Zn^{2+}/Zn}$

يشكّل المغنيسيوم أنود الخليّة G_4 وتحدث عنده الأكسدة:

$$Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

يشكّل الخارصين كاثود هذه الخليّة ويحدث عنده الاختزال:

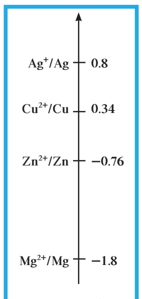
$$Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Zn_{(s)}$$

التفاعل النهائي: $Mg_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)} \rightarrow Zn_{(s)} + Mg^{2+}_{(aq)}$

17. يتكوَّن قطبا خليّة جلفانية (G) من فلزّين M_1 وM_2.
يشكل الفلزّ M_1 الأنود لأنّ جهد الاختزال القياسي لـ M_1 أصغر منه لـ M_2.
يمثِّل الرمز الاصطلاحي التالي الخليّة (G):

$$\ominus\ M_1\,|\,[M_1^{n+}]\,||\,[M_2^{n+}]\,|\,M_2\ \oplus$$

(أ) حدّد كل من الكاثود والأنود في خليّة خارصين – نحاس (G_1) واكتب رمزها الاصطلاحي.
(ب) اختر من أنصاف التفاعلات التالية، التفاعلين اللذين يحدثان عند الأنود وعند الكاثود في الخليّة الجلفانية (G_2) مغنيسيوم – نحاس. ثم استنتج التفاعل النهائي لهذه الخليّة.
• **(جـ)** لبناء الخليّة الجلفانية (G_3) استُخدِم فلزّ النحاس Cu وفلزّ الفضّة Ag مع المحاليل المناسبة. حدّد أيّ من الفلزّين سيؤدِّي دور الأنود في هذه الخليّة. علّل إجابتك.
(د) أيّ من التفاعلات التالية يمكن ربطه بالخليّة الجلفانية (G_4) التي تمّ بناؤها من فلزّي المغنيسيوم والخارصين؟



مخطّط جهود الاختزال القياسية لبعض العناصر

مشاريع الوحدة

1. **الكتابة في الكيمياء:** اكتب مقالًا حول التكاليف التقريبية لخلايا الوقود، حجمها وشدّة التيّار الكهربائي الناتج منها معدِّدًا استخداماتها.
2. العدسات الفوتوكرومية (العدسات المتلوّنة بالضوء) هي عدسات حديثة تفقد شفافيّتها عند تعرّضها لضوء ما فوق بنفسجي UV وتستعيدها عند إبعادها عن مصدر الضوء. العملية المسؤولة عن هذا التغيير هي عملية أكسدة واختزال والموادّ الأساسية المدخلة إلى العدسة هي AgCl و$CuCl_2$. جد تفسيرًا لتغيّر لون العدسة.
3. أصبحت البطّاريات ضرورة في حياتنا اليومية كمصدر أساسي للطاقة يشغّل أدوات شائعة الاستعمال كالراديو، الهواتف النقّالة، أجهزة الكمبيوتر، كاشفات كهربائية والساعات ويستمرّ سعينا نحو ابتكار بطّارية تستطيع إمدادنا بطاقة أكبر ولمدّة أطول. اجر بحثًا حول أنواع بطّاريات مستحدثة ذات مدّة خدمة أطول وقوّة أكبر واكتب معادلات التفاعل الكيميائي الذي يحصل فيها.

70

مشاريع الوحدة

1. سوف تختلف الإجابات. يجب أن يرد في المقالات أنّ تكاليف إنتاج هذه الخلايا باهظة واستخداماتها عديدة وخصوصًا في مجال الصناعة ولكنّها محدودة بسبب كبر حجمها. كما يجب أن تتناول أنّ الكهرباء التي تنتجها ذات قوّة عالية.
2. عند تعرض العدسة لأشعّة .U.V، يتأكسد أنيون الكلوريد ويختزل كاتيون الفضّة من المركَّب الأيوني AgCl.

$$Cl^- \rightarrow Cl + e^-$$

$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$$

تتجمع ذرّات الفضّة وتمنع مرور الأشعّة ما يعطي اللون الداكن للعدسة. عند غياب أشعّة .U.V تتأكسد ذرّات الفضّة إلى كاتيونات الفضّة وتُختزَل ذرّات الكلور إلى أنيونات الكلور

$$Cu^{2+} + Ag \rightarrow Cu^+ + Ag^+$$

$$Cl + Cu^+ \rightarrow Cu^{2+} + Cl^-$$

ما يعيد اللون الشفّاف إلى العدسة (المركَّب الأيوني AgCl عديم اللون).

3. سوف تختلف الإجابات، ولكن يجب أن تتضمّن التقارير الموادّ المستخدمة، المواد المختزلة والمواد المتأكسدة.

مخطّط الوحدة الخامسة: المركَّبات الهيدروكربونية

الفصل	الدرس	الأهداف	عدد الحصص	معالم الوحدة
1. الهيدروكربونات الأليفاتية	1–1 المركَّبات العضوية	• تعداد العناصر الأساسية لمركَّبات الكربون العضوية. • تحديد الصيغة الأوّلية والصيغة الجزيئية للمركَّبات العضوية.	2	اكتشف بنفسك: ماذا يذيب ماذا؟
	1–2 الهيدروكربونات المشبَّعة	• وصف الترابط في الهيدروكربونات. • التمييز بين الألكانات مستقيمة السلسلة والألكانات متفرّعة السلسلة.	2	
	1–3 الهيدروكربونات غير المشبَّعة	• شرح الفرق بين الهيدروكربونات غير المشبَّعة والهيدروكربونات المشبَّعة. • التمييز بين الصيغة التركيبية للألكينات والألكاينات.	3	
2. الهيدروكربونات الحلقية، الغاز الطبيعي والنفط	2–1 الهيدروكربونات الحلقية	• تعرّف التراكيب المقفلة الحلقية الشائعة لسلاسل ذرّات الكربون. • شرح الرنين في ضوء حلقة البنزين العطري (الأروماتي).	2	
	2–2 الهيدروكربونات المستخرجة من الأرض	• تحديد نوعين مهمّين من الوقود الأحفوري ووصف منشأهما. • تسمية بعض المنتجات التي يمكن الحصول عليها من الغاز و البترول.	2	علاقة الكيمياء بعلم البيئة: انسكاب النفط
حلّ أسئلة مراجعة الوحدة			2	
إجمالي عدد الحصص			13	

الوحدة الخامسة

المركَّبات الهيدروكربونية

مكوّنات الوَحدة

الفصل الأوّل: الهيدروكربونات الأليفاتية

الدرس 1–1: المركّبات العضوية

الدرس 1–2: الهيدروكربونات المشبّعة

الدرس 1–3: الهيدروكربونات غير المشبَّعة

الفصل الثاني: الهيدروكربونات الحلقية، الغاز الطبيعي والنفط

الدرس 2–1: الهيدروكربونات الحلقية

الدرس 2–2: الهيدروكربونات المستخرجة من الأرض

مقدمة

تهدف دراستنا للمركَّبات الهيدروكربونية إلى إبراز قدرة عنصر الكربون على تكوين مركَّبات ذات سلاسل طويلة مشبَّعة وغير مشبَّعة، مستقيمة، متفرّعة وحلقية. كما تبيّن الدراسة أثر هذه التركيبات في خواصّ المركّبات الهيدروكربونية، في تنوّع استخداماتها وفي أهمّيتها في تطوّر الصناعات الحديثة.

تتضمّن هذه الوحدة فصلين يتناول الأوّل الهيدروكربونات الأليفاتية وسيتعلّم الطالب فيه كيفية تحديد صيغة مركّب عضوي ثمّ كتابة الصيغة التركيبية للمركّبات الهيدروكربونية الأليفاتية المشبَّعة وغير المشبَّعة. وسيتعرّف بعض الخواصّ الكيميائية لكلّ مجموعة من هذه الهيدروكربونات وبعض استخداماتها. أمّا الفصل الثاني فيتناول الهيدروكربونات الحلقية، الغاز الطبيعي والنفط وسوف يدرس الطالب فيه مكوّنات الوقود الأحفوري، كيفية استخراجها، استخداماتها، أهمّيتها في حياتنا اليومية وأثرها في البيئة.

التعليق على الصورة الافتتاحية للوحدة

اطلب إلى الطلّاب تفحّص الصورة الافتتاحية للوحدة، ثمّ اطلب إليهم تعداد استخدامات لفافة الخيوط المغزولة الموضّحة في الصورة. **[صناعة الثياب، اللحف، المناشف ...]**

فسّر للطلّاب أنّ أحد مكوّنات لفّافة الخيوط المغزولة الموجودة في الصورة هو البوليستر وهو مركّب هيدروكربوني وأنّ المركّبات الهيدروكربونية هي فرع من الكيمياء العضوية سوف يدرسه الطالب في هذه الوحدة.

الوحدة الخامسة

المركَّبات الهيدروكربونية

Hydrocarbon Compounds

لقد اعتقد العلماء أنّ المصدر الوحيد للمركّبات العضوية هو الكائنات الحيّة التي تنتجها واستندت إلى ذلك نظرية «القوّة الحيوية». ولكن دُحضت هذه النظرية عام 1828 عندما ركّب فريدريك فولر Friedrich Wohler مادّة اليوريا $CO(NH_2)_2$، من موادّ غير عضويّة.

$$AgNCO + NH_4Cl \longrightarrow CO(NH_2)_2 + AgCl$$

تُعتبر الموادّ العضوية مادّة الحياة على الأرض فهي المكوّن الأساسي للبروتينات والدهون والڤيتامينات والكربوهيدرات والمضادّات الحيوية والإنزيمات والنفط ومشتقّاته. في الحقيقة، إذا سئل كثيرون عن هذه الموادّ أو موادّ أخرى من مثل الكحول، بولي كلوريد الفينيل، النيلون والأصباغ فسيجيبوا بأنّها صُنِعَت من موادّ كيميائية فقط ولكنّها في الواقع موادّ عضوية أو مزيج مركّبات إحداها عضوي.

في علم الكيمياء، تهتمّ الكيمياء العضوية بدراسة المركَّبات التي تحتوي على عنصر الكربون. وقد كانت أهمّية هذا العنصر في عملية البناء الضوئي السبب وراء تسمية الكربون «عنصر الحضارة» أو العنصر الأساسي للحياة على الأرض.

اكتشف بنفسك

ماذا يذيب ماذا؟

لإجراء هذا النشاط يجب توافر الموادّ التالية: زيت نباتي، زيت نفط، هلام بترولي، أربع أطباق وماء.

1. رقّم الأطباق من 1 إلى 4.
2. أضف إلى الطبقين 1 و2 بضع نقاط من الزيت النباتي وإلى الطبقين 3 و4 قطعة صغيرة من الهلام البترولي.
3. أضف ماء إلى الطبقين 1 و3 ثمّ امزج الخليط وسجِّل ملاحظاتك.
4. أضف زيت نفط إلى الطبقين 2 و4 ثمّ امزج الخليط وسجِّل ملاحظاتك.

قارن ذوبان الزيت النباتي والهلام البترولي في الماء بذوبانهما في زيت النفط. بعد انتهاء دراستك لهذه الوحدة، عُد إلى استنتاجاتك للتأكّد من صحّتها.

فصول الوحدة

الفصل الأوّل

- الهيدروكربونات الأليفاتية

الفصل الثاني

- الهيدروكربونات الحلقية، الغاز الطبيعي والنفط

أهداف الوحدة

- يحدِّد الصيغة الأوّلية والصيغة الجزيئية للمركَّبات العضوية.
- يصف الترابط في الهيدروكربونات.
- يميّز بين الألكانات مستقيمة السلسلة والألكانات متفرِّعة السلسلة.
- يشرح الفرق بين الهيدروكربونات المشبَّعة والهيدروكربونات غير المشبَّعة.
- يميّز بين الصيغ التركيبية للألكينات والألكاينات.
- يتعرّف التراكيب المقفلة الحلقية الشائعة لسلاسل ذرّات الكربون.
- يشرح الرنين في ضوء حلقة البنزين العطري (الأروماتي).
- يحدّد نوعين من الوقود الأحفوري المهمّ ويصنّف منشأهما.
- يُسمّي بعض المنتجات التي يمكن الحصول عليها من الغاز الطبيعي والبترول.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: ماذا يذيب ماذا؟

علاقة الكيمياء بعلم البيئة: انسكاب النفط

71

اكتشف بنفسك

يجب على الطلّاب ملاحظة أنّ الهلام البترولي يذوب في زيت النفط، في حين لا يذوب في الماء. وأنّ عليهم اكتشاف أنّ الموادّ التي تذوب في زيت النفط لا تذوب في الماء. خواصّ الهلام البترولي أقرب إلى خواصّ الزيت النباتي.

الأهداف المتوقّع اكتسابها بعد دراسة الوحدة الخامسة

الأهداف المعرفية

أتوقع أن يكون الطالب قادرًا على أن:

1. يحدّد المفردات والعبارات الكيميائية التالية:
مركّب عضوي، مركّب هيدروكربوني، هيدروكربون مشبّع، هيدروكربون غير مشبّع، ألكان، ألكان مستقيم السلسلة، صيغة تركيبية مكثّفة، ألكان متفرّع السلسلة، مجموعة بديلة، مجموعة ألكيل، ألكين، ألكاين، مركّب حلقي، مركّب عطري، وقود أحفوري، فحم حجري، الغاز الطبيعي، بترول، برج التقطير التجزيئي، التكسير الحراري وأيزومير.

2. **يتعرف المفاهيم العلمية التالية:**
- تقسيم المركّبات العضوية بحسب تركيبها العنصري إلى مركّبات هيدروكربونية، ومشتقاتها.
- تقسيم المركّبات العضوية بحسب الروابط بين ذرّات الكربون فيها إلى مركّبات مشبّعة (روابط تساهمية أحادية $-C-$) ومركّبات غير مشبّعة (روابط تساهمية ثنائية $C = C$ أو تساهمية ثلاثية $C \equiv C$).
- أسس التسمية المنهجية للمركّبات العضوية بحسب قواعد IUPAC لتسمية الألكانات، الألكينات والألكاينات المستقيمة والمتفرّعة السلسلة.
- كيفية كتابة الصيغة التركيبية والصيغة التركيبية المكثّفة.
- كيفية معرفة نواتج تفاعلات الاحتراق، والاستبدال وتفاعلات إضافة الهيدروجين، الهالوجين، الهاليد، والماء التي تدخل فيها الهيدروكربونات المشبّعة وغير المشبّعة.

3. **يعطي أمثلة عن التطبيقات العملية الحياتية لمفاهيم هذه الوحدة ويفسّرها، مثل:**
- تُستعمل الطاقة المنتجة من المركّبات العضوية لتشغيل المعدّات الزراعية والصناعية ووسائل النقل ولتوليد الكهرباء.
- تُستعمل المركّبات العضوية في الأدوات الطبية، الرياضية، الصناعية (الأواني البلاستيكية، موادّ التغليف، الأدوية، والمتفجّرات).
- يُستخدم الكلورفلوروكربون في أجهزة التبريد.
- تعود رائحة الفانيليا المميّزة إلى احتوائها على مشتقّ من هيدروكربونات عطرية وصبغات.
- تُستخدم نواتج برج التقطير التجزيئي في حياتنا اليومية فمثلًا يُستخدم الجازولين كوقود للسيّارات.

الأهداف المهارية

أتوقع أن يكتسب الطالب المهارات التالية:

- يستخدم قواعد IUPAC لتسمية الهيدروكربونات.
- يكتب الصيغ التركيبية للألكانات، الألكينات، الألكاينات والهيدروكربونات الحلقية.
- يميّز بين هيدروكربون مشبّع وهيدروكربون غير مشبّع وهيدروكربون حلقي.
- يقارن خواصّ مختلف أنواع الهيدروكربونات.
- يميّز بين سلسلة كربونية مستقيمة وسلسلة كربونية متفرّعة.
- يستخدم علبة النماذج لبناء نماذج للألكانات، الألكينات والألكاينات.
- يجري بحوثًا ويتقصّى مصادر النفط والغاز الطبيعي وطرق تكريرهما واستخداماتهما.

الأهداف الانفعالية

أتوقع أن يكتسب الطالب:

1. **الاتجاهات التالية:**
- الدقة في حلّ مشكلة أو ظاهرة ما بناءً على مفهومها العلمي.
- إجراء الأنشطة لتوضيح بعض الحقائق العلمية وإثباتها.

2. **الميول العلمية المناسبة التالية:**
- وضع خرائط للمفاهيم توضّح مفاهيم الوحدة.
- تخصيص ملفّ يجمع فيه الطالب الأبحاث والدراسات التي قام بها في خلال دراسته لهذه الوحدة.

3. **أوجه التقدير التالية:**
- تقدير الأهمّية الاقتصادية لبعض الموادّ، وتأثيراتها في الصحة العامّة والبيئة.
- تقدير الجهود المبذولة لترشيد استغلال الثروات الطبيعية.
- تقدير جهود العلماء عامّة، وعلماء الكيمياء خاصّةً، وإسهاماتهم.

الفصل الأول

الـهيدروكربونات الأليفاتية

دروس الفصل

الدرس 1–1: المركَّبات العضوية

الدرس 1–2: الهيدروكربونات المشبَّعة

الدرس 1–3: الهيدروكربونات غير المشبَّعة

تعرّف الطالب في الصف العاشر مركّبات الكربون وصنّفها إلى مركَّبات عضوية ومركّبات غير عضوية. كما درس المركّبات غير العضويّة من مثل ثاني أكسيد الكربون CO_2 ومركّبات الكربونات من مثل $CaCO_3$ وتعرّف بعض خواصها. ثمّ درس تأثير بعض هذه المركّبات في البيئة والإنسان ومصادرها وإمكانية الحدّ من إنتاجها.
في هذا الفصل، سوف يدرس الطالب مركّبات الكربون العضوية ويصنّفها إلى فئات تجمعها قواسم مشتركة.
كما سيدرس بشكل مفصّل الهيدروكربونات ويصنفها إلى مشبّعة وغير مشبّعة بناءً على الروابط بين ذرّات الكربون فيها.
سيتعرّف خواصّها الكيميائية والفيزيائية وارتباط هذه الخواصّ بالبناء الجزيئي للمركّبات. كما سيكتسب في هذا الفصل، مهارة تسمية المركّبات الهيدروكربونية بحسب قواعد IUPAC. وسيتعرّف أنواع الأيزوميرات التي تنتج في كلّ من الألكانات، الألكينات والألكاينات، فيكتب صيغها التركيبية وتلك التركيبية المكثّفة.
سينفّذ الطلاب في هذا الفصل تجربتين عمليّتين (النشاط 4 والنشاط 5) تعزّزان لديهم مهارات استعمال الكرات والعصي في علبة النماذج وتسمية المركّبات بحسب قواعد IUPAC. كما تعزّزان لديهم التحليل والاستنتاج للتأكّد من وجود الألكينات في بعض الموادّ الطبيعية.

اختبار المعلومات السابقة لدى الطلاب

وجّه إلى الطلّاب أسئلة حول تركيب الذرّة الذي درسوه في الصفّ العاشر مشدّدًا على ذرّتي الكربون والهيدروجين، وذلك تمهيدًا، للدرس.
قسّم الطلاب إلى مجموعات وكلّف كلّ منها بملء الجدول التالي بالمعلومات المطلوبة بناءً على معلوماتهم السابقة.

الصيغة	نوع التهجين	عدد الأفلاك المهجّنة (للذرّة المركزية)	عدد الروابط (الذرّة المركزية)
CH_4	sp^3	4	4
C_2H_4	sp^2	3	3
C_2H_2	sp	2	2

الفصل الأوّل
الـهيدروكربونات الأليفاتية
Aliphatic Hydrocarbons

«بروبان، إيزوبيوتان، إيثانول، إيزوبروبيل ميريستات، فارنيسول، عطر» تُعتبر هذه الموادّ بعض مكوّنات أحد العطور المزيلة للرائحة.
هل تبدو أسماؤها مألوفة؟
قد تجد صعوبة في لفظ بعضها وقد لا تتمكّن من معرفة بنية بعضها. ما نوع هذه المركّبات وما يجمع بينها؟
جميع هذه الموادّ عضوية تمتلك قاسمًا مشتركًا هو الاحتواء على عنصر الكربون.
تجاوز عدد المركّبات العضوية العشرة ملايين حتى الآن. ويفوق عدد تلك التي تُكتَشف وتُحضَّر بالتصنيع الكيميائي عشرة آلاف مركّب سنويًّا.
ويُعتبر النفط والفحم الحجري المصدرين الرئيسين للموادّ العضوية حيث تُستخرَج منهما المركّبات العضوية البسيطة كي تُستخدَم في تصنيع الجزيئات الأكبر والأكثر تعقيدًا.
نظرًا لكثرة المركّبات العضوية وتسهيلًا لتسميتها ودراسة خواصها الفيزيائية والكيميائية، صُنِّفت المركّبات العضوية إلى فئات تجمعها قواسم مشتركة. وقد اعتمدت عملية التصنيف اعتمادًا كبيرًا على البناء الجزيئي للمركّبات وعلى المجموعات الوظيفية التي تشكّل جزءًا من المركّب العضوي.

دروس الفصل
الدرس الأوّل
- المركّبات العضوية
الدرس الثاني
- الهيدروكربونات المشبّعة
الدرس الثالث
- الهيدروكربونات غير المشبّعة

72

استخدام الصورة الافتتاحية

دع الطلاب يتفحّصون الصورة الافتتاحية للفصل. ناقش مع الطلاب أهميّة المركّبات العضوية وأشر إلى أنّها ذات قيمة صناعية كبيرة إذا تُستخدم في الكثير من الصناعات من مثل صناعات المضادّات الحيوية والعقاقير المنشّطة، صناعة المبيدات والأسمدة، صناعة المنظّفات، صناعة البوليمرات والبلاستيك، صناعة العطور ومساحيق التجميل وغيرها.

خلفية علمية

رقم الأوكتان

رقم الأوكتان هو الخاصيّة التي تحدّد نوعية الوقود (الجازولين) الذي تستخدمه السيّارات حاليًا في جميع بلدان العالم.
يصنّف الجازولين إلى نوعين:

- الجازولين الممتاز وله رقم أوكتان لا يقلّ عن 91.
- الجازولين البريميوم وله رقم أوكتان لا يقلّ عن 95.

يتكوّن (الجازولين) من خليط هيدروكربونين هما الهبتان والأيزوأوكتان، ويدلّ رقم الأوكتان على النسبة المئوية للأيزوأوكتان في الخليط. مثالًا على ذلك، يحتوي الجازولين البريميوم 95 على 95% من الأيزوأوكتان و5% من الهبتان. كلّما زادت نسبة الأيزوأوكتان (ارتفع رقم الأوكتان) تحسّن أداء المحرّك.

الدرس 1-1

المركَّبات العضوية

الأهداف:

- يُعدِّد العناصر الأساسية لمركَّبات الكربون العضوية.
- يُحدِّد الصيغة الأوليّة والصيغة الجزيئية للمركَّبات العضوية.

صفحات التلميذ: من ص 73 إلى ص 76

عدد الحصص: 2

1. قدّم وحفّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلّاب يتفحّصون الصورة الافتتاحية للدرس (شكل 24) ويقرؤون الفقرة المرافقة لها ثمّ وضّح لهم أنّ هذه الأنابيب مصنوعة من مركَّبات هيدروكربونية وأنّ خواصّها عديدة كخفّة الوزن ومقاومة التآكل، كما أنّ استعمالاتها عديدة وخصوصًا في أعمال السمكرة.

اسأل الطلّاب: ما هي منافع الموادّ العضوية أو المركَّبات الهيدروكربونية الموجودة في الخضار والفواكه؟ **[تُعتبَر الكربوهيدرات والليبيدات الموجودة فيها مصدرًا للطاقة فيما يساعد البروتين على النموّ وهو أيضًا مركَّب عضوي.]**

سوف يكتسب الطلّاب في هذا الدرس معلومات أوسع حول المركَّبات العضوية وكيفية تحديد صيغها الجزيئية.

2.1 اختبار المعلومات السابقة لدى الطلّاب

لتقييم المعلومات السابقة لدى الطلّاب حول المركَّبات العضوية والصيغ الجزيئية، وجّه إليهم الأسئلة التالية:

- هل جميع مركَّبات الكربون مركَّبات عضوية؟ **[كلا، فثمّة مركَّبات تحتوي على كربون وليست مركَّبات عضوية كغاز ثاني أكسيد الكربون على سبيل المثال، ويمكن تمييزها من خلال اختلاف خواصّها الفيزيائية والكيميائية].**
- ما هي الصيغ الجزيئية لكلّ من الميثان، الإيثانول والجلوكوز؟ **[$C_6H_{12}O_6$ ، C_2H_5OH ، CH_4]**
- هل يمكن لذرّة واحدة من الكربون أن ترتبط بأكثر من أربع ذرّات من الهيدروجين؟ ولماذا؟

[لا يمكن لذرّة الكربون أن ترتبط بأكثر من أربع ذرّات هيدروجين لأنّ عدد الروابط لذرّة ما يتعلّق بعدد إلكترونات التكافؤ فيها].

الدرس 1-1

المركَّبات العضوية
Organic Compounds

الأهداف العامة

- يُعدِّد العناصر الأساسية لمركَّبات الكربون العضوية.
- يُحدِّد الصيغة الأوّلية والصيغة الجزيئية للمركَّبات العضوية.

شكل (24)
أحد استخدامات المركَّبات العضوية وهي صناعة أنابيب بولي كلوريد الفينيل.

تعرّفت حتّى الآن أصل مصطلح الكيمياء العضوية وسبب تسميتها كيمياء الكربون ولكن ثمّة سؤال يطرح نفسه، هل هنالك مبرّر لاهتمامنا بهذا الفرع من الكيمياء؟
لم يستحوذ الاهتمام بالمركَّبات العضوية ودراستها على انتباه العلماء حديثًا فقد انكبّوا على دراستها منذ عشرات السنين ما أدّى إلى استحداث مجالات علمية عدّة متعلّقة بالكيمياء العضوية. هذا بالإضافة إلى دورها كركيزة لكثير من الصناعات التي أحدثت تغييرات جذرية في حياتنا اليومية كصناعة السيارات، الطائرات، الأنابيب (شكل 24)، الأدوات الطبية، إلخ.
نذكر، أيضًا دور بعض المركَّبات العضوية المتوفّرة في الخضار والفواكه في تحديد الكثير من خواصّها الفيزيائية، الكيميائية والغذائية ودورها في النفط الخام، الغاز والفحم المتمثّل في إنتاج الطاقة التي تعتبر المحرّك الأساسي لحياتنا العصرية. وقد كان لتمييز المركَّبات العضوية واختلاف أحجامها وتعقيدات تركيباتها الأثر الأهمّ في تنوّع استعمالاتها.

73

2. علِّم وطبِّق

1.2 مناقشة

وضِّح للطلّاب أن عدد المركَّبات العضوية الطبيعية والمصنّعة هائل بحيث تصعب دراسة خواصّ كلّ منها على حدة. لذلك ونظرًا لتشارك الكثير منها الخواصّ نفسها تُصنَّف هذه المركَّبات ضمن فئات رئيسية بحسب الروابط الموجودة بين ذرّات الكربون فيها.
ناقش مع الطلّاب قدرة ذرّات الكربون على الارتباط ببعضها البعض في سلاسل مؤلّفة من أعداد كبيرة من الذرّات أو في حلقات ذات أحجام مختلفة. ووضّح إمكانية ارتباط ذرّات الكربون بذرّات العناصر الأخرى بروابط تساهمية قوية وإمكانية ارتباط ذرّات الكربون مع بعضها البعض في سلاسل وحلقات بروابط تساهمية أحادية أو ثنائية أو ثلاثية. ثمّ اعرض الصيغ الجزيئية لبعض مركّبات الكربون العضوية، واطلب إلى الطلّاب الإجابة عن السؤالين التاليين:

- ما هو العنصر الأساسي في مركَّبات الكربون العضوية؟ [الكربون]
- سمّ عناصر أخرى يمكن أن تحتوي عليها مركَّبات الكربون العضوية. [الهيدروجين، الأكسجين والنيتروجين]

2.2 مناقشة

راجع مع الطلّاب معنى الأرقام السفلية التي تُكتَب تحت رمز العنصر عند اليمين وذكِّرهم بأنها تمثِّل عدد ذرّات كلّ عنصر في جزيء ما. ثم وجّه إليهم السؤالين التاليين:

- كيف تُحسَب الكتلة المولية؟ [يُضرَب الرقم السفلي لكلّ عنصر في المركَّب (أو الجزيء) بكتلته المولية الذريّة على حدة ثمّ تُجمَع قيم الكتل.]
- هل يمكن حساب النسبة المئوية لكلّ عنصر بعد تحديد الكتلة المولية؟ [نعم]

اطلب إلى الطلّاب قراءة الجدول (3) في كتاب الطالب ووجّههم إلى استنتاج أنّ الأرقام السفلية في الصيغة الأوّلية هي أصغر أعداد صحيحة ممكنة. وضّح للطلّاب أنّ الصيغة الجزيئية هي الصيغة الواقعية للمركب و تمثّل مكوناته ويمكن الحصول عليها بضرب الصيغة الأولية بمضاعف.

---

1. المركَّبات العضوية Organic Compounds

المركَّبات العضوية Organic Compounds هي المركَّبات التي تحتوي على عنصر الكربون، ما عدا بعض الإستثناءات مثل غازي ثاني أكسيد الكربون وأوّل أكسيد الكربون اللذين يُعتبران مركَّبين غير عضويين رغم احتوائهما على الكربون.
يمكن تقسيم المركَّبات العضوية إلى أليفاتية وعطرية.

1.1 المركَّبات الأليفاتية Aliphatic Compounds

تنقسم المركَّبات الأليفاتية Aliphatic Compounds إلى مركَّبات هيدروكربونية ومشتقّات هيدروكربونية.

(أ) المركَّبات الهيدروكربونية Hydrocarbon Compounds

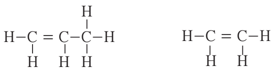
هي مركَّبات عضوية تحتوي على الكربون والهيدروجين فقط وتنقسم إلى:

- المركَّبات الهيدروكربونية المشبَّعة.
- المركَّبات الهيدروكربونية غير المشبَّعة.

المركَّبات المشبَّعة هي مركَّبات جميع الروابط بين ذرّات الكربون فيها روابط تساهمية أحادية كالتي تظهر في الصيغة التركيبية لمركَّبي الميثان والإيثان الموضّحين أدناه (راجع تهجين sp^3 في الجزء الأوّل):

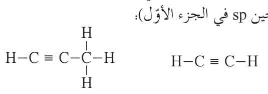
إيثان   ميثان

المركَّبات غير المشبَّعة هي مركَّبات تحتوي، على الأقلّ، على رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرّتي كربون كالتي تظهر في الصيغة التركيبية لمركَّبي الإيثين والبروبين، الموضّحين أدناه (راجع تهجين sp^2 في الجزء الأوّل):



بروبين   إيثين

أو، على الأقلّ، على رابطة تساهمية ثلاثية واحدة بين ذرّتي كربون كالتي تظهر في الصيغة التركيبية لمركَّبي الإيثاين والبروباين الموضّحين أدناه (راجع تهجين sp في الجزء الأوّل):



بروبين   إيثين

74

(ب) المشتقّات الهيدروكربونية Hydrocarbon Derivatives

هي مركّبات تحتوي على الكربون والهيدروجين وعناصر أخرى مثل الهالوجينات، الأكسجين، النيتروجين إلخ.

2.1 المركَّبات العطرية Aromatic Compounds

يرجع المصطلح العطري إلى البنزين C_6H_6 والمركَّبات المشابهة لحلقة البنزين في الصيغة التركيبية والسلوك الكيميائي (راجع تهجين البنزين sp^2 في الجزء الأوّل).

2. تحديد الصيغ الكيميائية Determination of Chemical Formulas

تعلّمنا في المرحلة السابقة، أنّنا نستطيع حساب النسب المئوية لعناصر جزيء معيّن من خلال معرفة الصيغة الكيميائية للمركَّب وكتلة كلّ من عناصره. تذكّر أنّ الصيغة الكيميائية لجزيء ما تمثّل ذرّات المركَّب وعددها. لذلك كي نحصل على التركيبة الكيميائية لمركَّب ما، يمكن استعمال كتل العناصر المكوّنة له لمعرفة صيغته وتحديد نسب كلّ الذرّات من ثمّ عددها الذي يتمثّل بـ x، y، z، w، ... تحت رمز عنصر ($C_xH_yO_zN_w$).
الصيغ الكيميائية في الكيمياء العضوية أربعة أنواع:

- الصيغة الأوّلية
- الصيغة الجزيئية
- الصيغة التركيبية
- الصيغة التركيبية المكثَّفة

والفرق بين الصيغة الأوّلية والصيغة الجزيئية هو أنّ **الصيغة الأوّلية Empirical Formula هي الصيغة التي تعبّر عن عدد ذرّات المركَّب بأصغر رقم صحيح** في حين أنّ **الصيغة الجزيئية Molecular Formula هي الصيغة الواقعية أو الحقيقية للمركَّب التي تمثّل مكوّنات جزيء المركَّب.**
أمّا الصيغتان التركيبية والتركيبية المكثَّفة فتعبّران عن ترتيب وارتباط ذرّات العناصر الداخلة في تركيب المركَّب الكيميائي. سوف تُناقشان في الدروس اللاحقة.
الصيغة الأوّلية للجلوكوز مثلًا هي CH_2O، أمّا صيغته الجزيئية هي $C_6H_{12}O_6$.

75

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب للدرس

دع الطلّاب يشيرون إلى الفرق بين الصيغة الجزيئية والصيغة الأوّلية لمركَّب عضوي ما، واطلب إليهم إعطاء أمثلة عليها.
اطلب إليهم الإشارة إلى الفرق بين المركَّبات المشبَّعة وتلك غير المشبَّعة.

2.3 إعادة التعليم

راجع مع الطلّاب أنّ عنصر الكربون هو العنصر الأساسي في المركَّبات العضوية التي قد تحتوي أيضًا على عناصر أخرى من مثل S، Cl، N، O ولكن بكمّيات أقلّ.
ذكّرهم بأنّ الروابط بين ذرّات الكربون تحدّد ما إذا كانت المركَّبات مشبَّعة أو غير مشبَّعة.

إجابات أسئلة مراجعة الدرس 1–1

1. العناصر الأساسية الأربع هي C، H، O و N.
2. الصيغة الأولية، الصيغة الجزيئية، الصيغة التركيبية و الصيغة التركيبية المكثفة.
3. C_6H_6، $C_6H_{12}O_6$ و C_3H_8 هي صيغ جزيئية و C_3H_8 و CH_2O هما صيغتان أوّليتان.

الصيغة الأوّلية	مضاعف	الصيغة الجزيئية
CH	6	C_6H_6 (بنزين)
CH_2O	6	$C_6H_{12}O_6$ (جلوكوز)
CH_2	3	C_3H_6 (بروبين)
CH_2	4	C_4H_8 (بيوتين)

جدول (3)
الصيغة الأوّلية والصيغة الجزيئية لبعض المركَّبات العضوية

فنستطيع من خلال الجدول (3) استبيان أنّ الصيغة الجزيئية تساوي الصيغة الأوّلية ضرب مضاعف.

الصيغة الجزيئية = الصيغة الأوّلية × مضاعف

مراجعة الدرس 1-1

1. عدّد العناصر الأساسية الأربعة التي تتكوّن منها المركَّبات العضوية.
2. عدّد الصيغ التي تمثّل المركَّبات العضوية.
3. أيّ من الأمثلة التالية صيغ أوّلية وأيّها صيغ جزيئية؟

(أ) C_6H_6 (ب) CH_2O (جـ) C_3H_8 (د) $C_6H_{12}O_6$

76

الدرس 1–2

الـهيدروكربونات المشبَّعة

الأهداف:

- يصف الترابط في الهيدروكربونات.
- يميّز بين الألكانات مستقيمة السلسلة والألكانات متفرِّعة السلسلة.

صفحات التلميذ: من ص 77 إلى ص 88

عدد الحصص: 2

الأدوات المستعملة: جهاز عرض، علبة النماذج الجزيئية

1. قدِّم وحفِّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلّاب يتفحّصون الصورة الافتتاحية للدرس ويقرؤون الفقرة المرافقة لها. اشرح لهم أنّ الجازولين والديزل خليطان من الهيدروكربونات نحصل عليهما بتكرير النفط الخام، ثم وجّه إليهم السؤال التالي:

ما هي الهيدروكربونات ولماذا تشمل مركَّبات عديدة؟

[الهيدروكربونات مركَّبات عضوية تحتوي فقط على كربون وهيدروجين وتعود وفرتها إلى كون الكربون رباعي التكافؤ وإلى قدرته على إقامة روابط مع نفسه ومع عناصر أخرى من مثل H، O، N، S، P والهالوجينات.]

2.1 اختبار المعلومات السابقة لدى الطلاب

استخدم نموذج الكرة والعصا ونموذج التعبئة المجسّمة لتوضيح الشكل الثلاثي الأبعاد لأبسط مركَّب هيدروكربوني وهو الميثان وناقش التكافؤ الرباعي للكربون والقاعدة الثمانية.

2. علِّم وطبِّق

1.2 استعراض عملي

اكتب الصيغ التركيبية للميثان، الإيثان، البروبان والبيوتان على السبّورة أو اعرضها على الطلّاب باستخدام جهاز عرض، واسألهم: فيمَ تتشابه وفيمَ تختلف هذه الصيغ التركيبية؟ [تختلف في طول السلسلة الكربونية.]

الدرس 1–2

الـهيدروكربونات المشبَّعة

Saturated Hydrocarbons

الأهداف العامة

- يصف الترابط في الهيدروكربونات المشبَّعة.
- يُميِّز بين الألكانات مستقيمة السلسلة والألكانات متفرّعة السلسلة.

شكل (25)
يحتوي الوقود المستخدم في السيّارات على خليط من الهيدروكربونات.

يستخدم الناس الوقود مثل الجازولين والديزل في السيّارات (شكل 25)، والشاحنات، القطارات، الطائرات، آلات جزّ العشب وآلات كثيرة أخرى. تحتوي هذه الأنواع من الوقود وغيرها على خليط من مركَّبات كثيرة تُسمّى الهيدروكربونات وهي من أبسط المركَّبات العضوية ومن أهمّ مصادرها الغاز الطبيعي والموادّ البترولية. يُعتبَر الميثان، البروبان والبيوتان من أكثر الغازات الطبيعية وفرة التي تُستَعمل كمصدر للطاقة لإنتاج عدد من المركَّبات العضوية. ما هي الهيدروكربونات المشبَّعة وبماذا تتميّز مركَّباتها؟

1. الهيدروكربونات Hydrocarbons

تدرس الكيمياء العضوية في العصر الحاضر جميع مركَّبات الكربون بغضّ النظر عن مصادرها. وهناك حاليًّا ما يزيد عن عشرة ملايين مركَّب عضوي وجميعها ذات خواصّ قيّمة وعديدة. أحد الأسباب التي تُعزى إليها وفرة المركَّبات العضوية هو قدرة الكربون المميّزة على الترابط

77

اعرض على الطلّاب النماذج الجزيئية لكلّ من هذه المركَّبات ثمّ فكّك نموذج الإيثان، ووضّح كيف يمكن بناء ألكانات ذات سلاسل كربون أطول بزيادة مجموعة CH_2 بين مجموعتي CH_3.

عندما يفهم الطلّاب كيف ترتبط الذرّات مع بعضها البعض في الألكانات ذات السلاسل الأطول، اكتب الصيغ المكثَّفة للصيغ التركيبية للإيثان، البروبان والبيوتان.

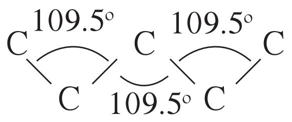
اشرح للطلّاب أنّ الصيغ المكثَّفة تعطي فكرة مختصرة عن المركَّب ولكنّها لا توضّح جميع الروابط الموجودة فيه ضمنيًا.

2.2 مناقشة

أشر إلى أنّ الألكانات باستثناء الميثان مكوّنة من ذرّات كربون مرتبطة ببعضها البعض بروابط تساهمية أحادية.

اطلب إلى الطلّاب التمعّن في المركّبات العشرة المذكورة في الجدول (4) في كتاب الطالب لملاحظة أن كلّ مركَّب يختلف عن الذي سبقه بزيادة مجموعة CH_2، ولذلك تُسمّى هذه المركّبات السلاسل المتشابهة التركيب. اطلب إلى الطلّاب أن يستنتجوا العلاقة بين زيادة ذرّات الكربون وارتفاع درجة الغليان من خلال الجدول (4).

أعط كمثال مركّب البروبان C_3H_8 ووضّح كيفية كتابة صيغته التركيبية بكتابة ذرّات الكربون أوّلًا في خطّ مستقيم ثمّ إضافة ذرّتي هيدروجين لذرّة الكربون المركزية وثلاث ذرّات هيدروجين لذرّتي الكربون الطرفيتين كي تكتمل روابط الكربون التساهمية الأربع. أشر إلى أنّ سلاسل الألكانات مستقيمة السلسلة ليست فعلًا مستقيمة بل متعرّجة حيث أن الزاوية بين روابط الكربون تساوي 109.5^o.



3.2 استخدام وسيلة مرئية

اعرض على الطلّاب الجدول (4) في كتاب الطالب باستخدام جهاز عرض ثمّ وجّه إليهم الأسئلة التالية:

- ما العلاقة بين عدد ذرّات الكربون ودرجة غليان الألكانات؟
  [كلّما كانت السلسلة الكربونية أطول كانت درجة الغليان أعلى.]
- ماذا يمكنك أن تستنتج من ملاحظة قوى الجذب بين الجزيئات كلّما زاد عدد ذرّات الكربون؟ [تزداد قوى الجذب بين الجزيئات التي تشدّ الجزيئات إلى بعضها بعضًا].
- باستخدام المعلومات الموجودة في الجدول (4)، هل يمكنك استنتاج درجة غليان مركّب $C_{11}H_{24}$؟ [نعم، هناك علاقة طردية بين درجة الغليان وطول السلسلة الكربونية وبالتالي يمكن أن نجد درجة غليان مركّب $C_{11}H_{24}$ برسم العلاقة البيانية بين عدد ذرّات الكربون ودرجة الغليان.]

(إقامة روابط كربون – كربون ليكوّن سلاسل طويلة وحلقات)، وسوف تبدأ دراستك للكيمياء العضوية بدراسة أبسط المركّبات العضوية وهي الهيدروكربونات.

يشتقّ اسم **الهيدروكربونات Hydrocarbons** من قسمين هيدرو– ويعني الهيدروجين (Hydro : Hydrogen) وكربون (carbon –) ويعني عنصر الكربون **وتحتوي** هذه المركّبات **على عنصري الكربون والهيدروجين فقط.**

تقسم الهيدروكربونات إلى هيدروكربونات أليفاتية وهيدروكربونات أروماتية.

2. الهيدروكربونات المشبَّعة: الألكانات

Saturated Hydrocarbons: Alkanes

الهيدروكربونات المشبَّعة Saturated Hydrocarbons، تسمّى أيضًا الألكانات Alkanes، هي أبسط أنواع الهيدروكربونات وتحتوي على روابط تساهمية أحادية فقط بين ذرّات الكربون وأبسط مثال على الألكانات هو غاز الميثان CH_4، ويلاحَظ أنّ عدد ذرّات الهيدروجين يساوي ضعف ذرّات الكربون مُضاف إليها 2 ومنها الصيغة الجزيئية العامة للألكانات هي C_nH_{2n+2} حيث يمثّل حرف n عدد ذرّات الكربون في الجزيء الواحد. يقابل كلّ صيغة **مجموعة الألكيل Alkyl Group** C_nH_{2n+1}، **وهي مجموعة قادرة على تكوين رابطة تساهمية أحادية واحدة.**

1.2 الألكانات مستقيمة السلسلة

Straight–Chain Alkanes

تحتوي الألكانات مستقيمة السلسة Straight–Chain Alkanes، باستثناء الميثان، على سلاسل من ذرّات الكربون متصلة ببعضها بعضًا بواسطة روابط تساهمية أحادية. تشكّل جميع ذرّات الكربون فيها سلسلة واحدة ممتدّة. لرسم الصيغة التركيبية للألكان مستقيم السلسلة، نكتب رمز الكربون عددًا من المرات يتوافق مع الطول المناسب للسلسلة، ثمّ نكمل الصيغة التركيبية بذرّات هيدروجين. تمثّل الخطوط في الصيغة التركيبية الروابط التساهمية الأحادية لكلّ ذرّة كربون، علمًا أنّها تكوّن دائمًا أربع روابط تساهمية أحادية.

كما ترى في الجدول (4)، تمّ ترتيب المركّبات العشرة الأوائل من مجموعة الألكانات مستقيمة السلسلة ترتيبًا تصاعديًا بحسب عدد ذرّات الكربون في السلسلة.

تُعتَبر الألكانات مستقيمة السلسلة مثالًا على **السلاسل المتشابهة التركيب Homologous Series**، حيث أنّ **كلّ مركّب مختلف عن الذي يسبقه بزيادة مجموعة ميثيلين "CH_2" واحدة فقط.**

معلومات إثرائية

أبسط مركّبات الألكانات هو الميثان المكوّن الرئيسي للغاز الطبيعي، الذي يُسمّى في بعض الأحيان غاز المستنقعات لأنّه يتكوّن بفعل البكتيريا الموجودة على النباتات المتحلّلة في البرك والمستنقعات.

78

الصيغة الجزيئية	الصيغة التركيبية المكثّفة	درجة الغليان (°C)
CH_4	CH_4	−161
C_2H_6	CH_3CH_3	−88.5
C_3H_8	$CH_3CH_2CH_3$	−42
C_4H_{10}	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	−0.5
C_5H_{12}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$	36
C_6H_{14}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	68.7
C_7H_{16}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	98.5
C_8H_{18}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	125.6
C_9H_{20}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	150.7
$C_{10}H_{22}$	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$	174.1

جدول (4)
المركّبات العشرة الأوائل من مجموعة الألكانات مستقيمة السلسلة

يوضّح الشكل (26) بعض الاستخدامات الشائعة لكلّ من البروبان والبيوتان. نلاحظ من الجدول (4) أنّ درجة غليان الألكانات مستقيمة السلسلة ترتفع كلّما زاد عدد ذرّات الكربون فيها.

(ب) (أ)

شكل (26)
(أ) يُستعمل البروبان الذي يمكن تمييعه تحت ضغوط مرتفعة كوقود لمنطاد الهواء الساخن ويحفَظ عادة في أسطوانات.
(ب) يُستخدم البيوتان في الكثير من الولّاعات.

79

4.2 نشاط استقصائي

اكتب على السبّورة الصيغة التركيبية الكاملة لمركّب البيوتان. ثمّ قسّم الفصل إلى خمس مجموعات وحدّد لكلّ مجموعة مركّب من الألكانات (بنتان، هكسان، هبتان، أوكتان ونونان). واطلب إليها كتابة الصيغة التركيبية الكاملة لمركّبها. وضّح للطلّاب أنّ هذه الصيغ تُظهِر بوضوح روابط C–H و C–C لذلك تُسمّى الصيغ التركيبية الكاملة.

اشرح للطلّاب إمكانية تكثيف الصيغة التركيبية الكاملة بعدم إظهار روابط C–H وطبّق هذه الفكرة على مركّب البيوتان. ثمّ اطلب إلى الطلّاب اتباع الخطوة نفسها لكتابة الصيغ التركيبية المكثّفة لمركّباتهم. أشر إلى أنّ كتابة ذرّات الهيدروجين بالقرب من كلّ ذرّة كربون في الصيغة التركيبية المكثّفة يجب أن يُفهَم منها عدد روابطها مع ذرّات الهيدروجين.

اكتب صيغة مكثّفة جديدة بعدم إظهار الروابط بين ذرّات الكربون وأكّد على أنّ ذلك أيضًا لا يعني أنّ الروابط غير موجودة. اطلب إلى الطلّاب تطبيق الخطوة نفسها.

ضع أقواس حول CH_2 الذي يُسمّى ميثيلين

$$CH_3\ (CH_2)\ (CH_2)\ CH_3$$

واشرح للطلّاب أنّ كتابة صيغة تركيبية مكثّفة جديدة ممكن من خلال عدّ جزيئات الميثيلين وكتابة عددها أسفل القوس عند جهة اليمين. وهو في حالة البيوتان يساوي 2.

وضّح للطلّاب أنّ ذلك لا يُطبّق في حالة الميثان، الإيثان والبروبان لأنّ سلسلة الكربون قصيرة.

5.2 استخدام وسيلة مرئية

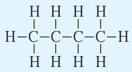
اعرض الجدول (6) في كتاب الطالب باستخدام جهاز عرض واشرح نظام الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية IUPAC لتسمية الألكانات. اقترح على الطلّاب حفظ أسماء الألكانات العشرة الأوائل عن ظهر قلب، فذلك يسهّل عليهم تسمية وكتابة صيغة أيّ مركّب يمكن أن يصادفوه في دراستهم.

6.2 مناقشة

عرّف الطلّاب على الألكانات متفرّعة السلسلة وعلى وجه الاختلاف بينها وبين تلك مستقيمة السلسلة. وضّح باستخدام نماذج الكرات والعصي كيفية تركيب كلّ من البيوتان مستقيم السلسلة ومركّب متفرّع السلسلة ذي الصيغة الجزيئية نفسها (C_4H_{10}) (2– ميثيل البروبان). وشدّد على أنّ كلّ ترتيب للذرّات يمثّل جزيئًا مختلفًا بخواصّ فيزيائية وكيميائية مختلفة. استخدم جهاز عرض لشرح قواعد IUPAC لتسمية الألكانات متفرّعة السلسلة ودع الطلّاب يطبّقونها لتسمية المركّب متفرّع السلسلة الذي صمّمه المعلم (2– ميثيل البروبان).

توضّح الصيغ التركيبية الكاملة جميع الذرّات والروابط في الجزيء. وفي بعض الأحيان يكون من الأنسب تكثيف الصيغ التركيبية، وذلك بعدم رسم كافة أو بعض روابط C – C و C – H، وعلى ذلك **فإنّ الصيغ التركيبية المكثّفة Condensed Structural Formulas لا تظهر بعض الروابط الموجودة ضمنيًّا.**

على سبيل المثال، يمكننا أن نكثّف صيغة البيوتان كما هو موضّح في الجدول (5).

الصيغة الجزيئية	C_4H_{10}
الصيغة التركيبية الكاملة	
صيغة تركيبيّة مكثّفة لا تظهر فيها روابط C – H رغم تواجدها	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3$
صيغة تركيبية مكثّفة لا تظهر فيها روابط C – C و C – H بالتفصيل رغم تواجدها	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
صيغة تركيبية مكثّفة توضّح جميع الروابط كالتالي: • توضّح الأقواس تكرار وحدة CH_2 المسمّاة الميثيلين. • يوضّح العدد المكتوب أسفل القوس الأيمن عدد وحدات الميثيلين المتكرّرة.	$CH_3(CH_2)_2CH_3$ وحدات ميثيلين — رقم أسفل القوس

جدول (5)
الصيغ التركيبية لمركّب البيوتان

مثال (1)

ارسم الصيغ التركيبية الكاملة للألكانات مستقيمة السلسلة التي تحتوي على ثلاث وأربع ذرّات كربون.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: **صمّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.**

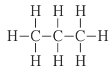
طبّق قواعد الترابط كربون – هيدروجين (C – H) وكربون – كربون (C – C). بما أنّهما ألكانان مستقيما السلسلة تشكّل ذرّات الكربون خطًّا مستقيمًا، ثمّ تصل رابطة تساهمية أحادية ما بين كلّ ذرّة كربون وأخرى ثمّ تُستكمل السلسلة بذرّات الهيدروجين بحيث تكوّن كلّ ذرّة كربون أربع روابط تساهمية أحادية.

2. حلّ: **طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.**

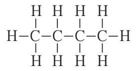
تتصل ذرّات الكربون في الألكان مستقيم السلسلة الذي يحتوي على ثلاث ذرّات كربون في خطّ مستقيم، وبالتالي صيغته التركيبية مؤلّفة من ذرّة كربون مركزية في الوسط تتصل بذرّتي

تابع مثال (1)

كربون بواسطة رابطتين تساهميتين أحاديتين. بذلك تحتاج الذرّة المركزيّة إلى أن ترتبط بذرّتي هيدروجين لتكتمل روابطها التساهمية الأربع. وتحتاج كلّ ذرّة من ذرتي الكربون الطرفيتين إلى ثلاث ذرّات هيدروجين لتكمّل روابطها التساهمية الأربع.



تتصل ذرّات الكربون في الألكان مستقيم السلسلة الذي يحتوي على أربع ذرّات كربون في خطّ مستقيم. وتحتاج ذرّتا الكربون المركزيّتان في الوسط إلى ذرّتي هيدروجين وتحتاج كلّ ذرّة من ذرّتي الكربون الطرفيتين إلى ثلاث ذرّات هيدروجين بحيث تصبح لكل ذرّة كربون أربع روابط تساهمية أحاديّة.



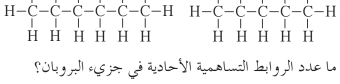
3. قيّم: **هل النتيجة لها معنى؟**

تحتوي سلسلتا الكربون على ثلاث وأربع ذرّات كربون، وتكوّن كلّ ذرّة كربون عددًا إجماليًّا قدره أربع روابط تساهمية أحادية مع ذرّات الكربون والهيدروجين.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. اكتب الصيغة التركيبية الكاملة للألكانات مستقيمة السلسلة التي تحتوي على خمس وستّ ذرّات كربون.

الحلّ:



2. ما عدد الروابط التساهمية الأحادية في جزيء البروبان؟

الحلّ: 10

2.2 تسمية الألكانات مستقيمة السلسلة
Straight – Chain Alkanes Nomenclature

اعتُمِدت في تسمية الألكانات مستقيمة السلسلة المذكورة في الجدول (6) قواعد الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية IUPAC. تتألّف أسماء الألكانات من قسمين يدلّ الأوّل منها أي «ميث» و«إيث» و«بروب» إلخ. على عدد ذرّات الكربون المتواجدة في السلسلة. أمّا القسم الثاني، وهو

القسم الثابت لكافة أعضاء المجموعة، فهو المقطع «ان» الذي تمّ اشتقاقه من اسم المجموعة أي الألكان، ويُضاف إلى نهاية القسم الأوّل من الاسم.

الاسم	عدد ذرّات الكربون	الصيغة الجزيئية
ميثان	1	CH_4
إيثان	2	C_2H_6
بروبان	3	C_3H_8
بيوتان	4	C_4H_{10}
بنتان	5	C_5H_{12}
هكسان	6	C_6H_{14}
هبتان	7	C_7H_{16}
أوكتان	8	C_8H_{18}
نونان	9	C_9H_{20}
ديكان	10	$C_{10}H_{22}$

جدول (6)
أسماء الألكانات مستقيمة السلسلة

وبذلك يكون الميثان المركَّب المحتوي على ذرّة كربون واحدة، والإيثان ذلك المحتوي على ذرّتي كربون والبروبان ذلك المحتوي على ثلاث ذرّات كربون إلخ.

ما اسم الألكان مستقيم السلسة الذي يحتوي على ست ذرّات كربون؟ وذلك الذي يحتوي على ثماني ذرّات كربون؟ وما عدد ذرّات الكربون التي يحويها جزيء البيوتان؟

نظرًا لأهمّية المركَّبات العشرة الأوائل وبما أن أسماءها تُستَخدم كقاعدة في تسمية الكثير من المركَّبات العضوية المتبقية، عليك أن تتعرّفها جيّدًا وأن تحفظ أسماءها عن ظهر قلب.

3. الألكانات متفرّعة السلسلة

Branched–Chain Alkanes

ليست ذرّات الهيدروجين الذرّات الوحيدة التي يمكن أن ترتبط بذرّات الكربون في الهيدروكربونات. إذ يمكن أن يحلّ محلّ ذرّة الهيدروجين هالوجينات ومجموعة من الذرّات تشمل الكربون، الهيدروجين، الأكسجين، النيتروجين، الكبريت والفوسفور. تُسمّى **الذرّة أو المجموعة التي يمكن أن تحلّ محلّ ذرّة الهيدروجين في جزيء الهيدروكربون الأساسي بالذرّة البديلة أو المجموعة البديلة Substituent.**

يمكن أن تكون المجموعة البديلة مجموعة الألكيل تحتوي على ذرّة كربون واحدة أو سلسلة من عدّة ذرّات كربون. هناك ثلاث مجموعات

82

ألكيلية شائعة وهي مجموعة الميثيل (CH_3-) ومجموعة الإيثيل (CH_3CH_2-) ومجموعة البروبيل $(CH_3CH_2CH_2-)$.

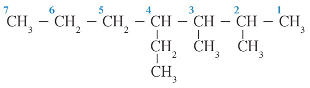
كما تلاحظ، تتألّف مجموعة الألكيل من الألكان المقابل بعد نزع ذرّة الهيدروجين. ونلاحظ أيضًا أنّه عند تسمية المجموعات الألكيلية، نحذف المقطع «ان» من اسم الهيدروكربون الأساسي (الألكان) ونضيف المقطع «يل». ما اسم مجموعة الألكيل ذات الصيغة $-CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2$؟

تتكوّن الألكانات متفرّعة السلسلة Branched–Chained Alkanes عند إضافة مجموعة الألكيل البديلة إلى الألكانات مستقيمة السلسلة.

1.3 تسمية الألكانات متفرّعة السلسلة

Branched–Chain Alkanes Nomenclature

وضع IUPAC القواعد المنظِّمة لتسمية المركَّبات العضوية. تجدها في ما يلي ونأخذ المركَّب التالي كمثال تُطبَّق عليه هذه القواعد.



الخطوة الأولى: حدِّد سلسلة ذرّات الكربون الأطول في الجزيء كأساس لتسمية أي مركَّب هيدروكربوني أو أحد مشتقّاته. في المثال الموضّح تتألّف السلسة الأطول من سبع ذرّات كربون، لذلك الهبتان هو تركيب الهيدروكربون الأساسي.

الخطوة الثانية: إبدأ بترقيم ذرّات الكربون في السلسلة الرئيسية على التوالي بدءًا من الطرف الأقرب إلى أوّل مجموعة بديلة متصلة بالسلسلة الرئيسية.
تمّ تنفيذ ذلك في المثال الموضّح حيث إن الترقيم بدأ من اليمين إلى اليسار، ونتج من ذلك أن المجموعات البديلة قد تحدّدت مواقعها على سلسلة الكربون الرئيسية عند أرقام ذرّات الكربون 2 و3 و4. إذا حاولت بدء ترقيم سلسلة من اليسار إلى اليمين، تصبح أرقام ذرّات الكربون التي تمركزت عليها المجموعات البديلة في السلسلة 4 و5 و6 وهي أرقام أكبر وفي ذلك حياد عن القاعدة.

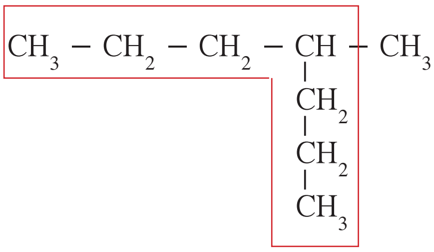
الخطوة الثالثة: أضف الترقيم الذي حصلت عليه من الخطوة السابقة إلى المجموعات البديلة على أن يسبق الترقيم اسم المجموعة لتحديد مواقعها على السلسلة الرئيسية. هذه الأرقام تصبح كبدايات اسم الألكان الأساسي، وفي المثال الموضَّح تكون أسماء المجموعات البديلة ومواقعها كالتالي: 2 – ميثيل و3 – ميثيل و4 – إيثيل.

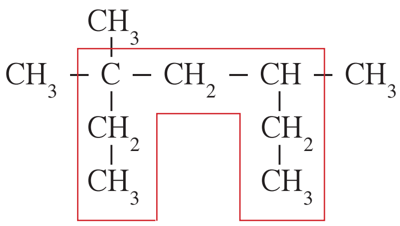
هل تعلم؟

الكلورفلوروكربونات Chlorofluorocarbons (CFC) هي مركَّبات عضوية تتكوّن من الكربون، والفلور، الكلور والهيدروجين تُصنّع تحت اسم فريون Freon. وقد طُوِّرت في ثلاثينيات القرن العشرين وشاع استخدامها بعد الحرب العالمية الثانية في أجهزة التبريد وفي رذاذ الأيروسولات. إلّا أنّ مساهمة هذه المركَّبات في اتساع ثقب الأوزون، أدّى إلى الحدّ من استعمالها وإلى إصدار التشريعات التي تحذّر منها.

83

أعط تمارين إضافية على السبّورة لمساعدة الطلّاب على تحديد ومعرفة الألكان الأساسي. استخدم أقلام ملوّنة وحدّد بدائرة السلسلة الأكثر طولًا لذرّات الكربون وأشر إلى أنّها ليست دائمًا خطًّا مستقيمًا:





ناقش مع الطلّاب تسمية المجموعات الألكيلية البديلة، وتكوّنها من ألكانات $(-CH_3 \text{ ، } -CH_3-CH_2-)$.

وضِّح للطلّاب أنّ المجموعات البديلة يمكن أن تكون غير كربونية كالكلور في الكلورو إيثان، اطلب إليهم أن يكتبوا الصيغة التركيبية لهذا المركَّب.

وضِّح للطلّاب أن عدد ذرّات الكربون في الألكان مستقيم السلسلة إذا كان مساويًا لعدد الذرّات في الألكان متفرِّع السلسلة، تكون درجة غليان الألكان مستقيم السلسلة أعلى من درجة غليان الألكان متفرِّع السلسلة، بسبب ارتفاع قوى التجاذب في الألكانات مستقيمة السلسلة.

7.2 مناقشة

وضِّح للطلّاب أنّ التسمية بحسب قواعد IUPAC تساعد على إعادة بناء الصيغ التركيبية للألكانات لأنّ هذه القواعد تفرض الاستناد إلى الصيغ التركيبية لاستنتاج التسمية.

أعطِ الطلّاب المثال التالي:

أعد بناء الصيغة التركيبية للألكان المُسمّى بحسب قواعد IUPAC:

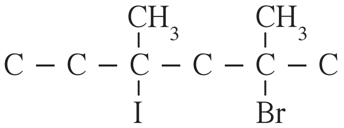
2 – برومو – 4 – إيودو – 2 , 4 – ثنائي الميثيل هكسان

أشر للطلّاب أن هذا الألكان يحتوي على 6 ذرّات كربون مترابطة بروابط تساهمية أحادية وهي على الشكل التالي:

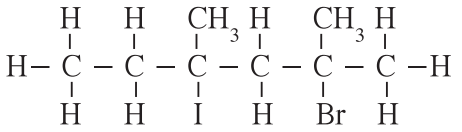
$$C-C-C-C-C-C$$

رقّم ذرّات الكربون التي تكوّن السلسلة الأساسية للهكسان.

أضف إلى السلسلة المجموعات: برومو ويودو ومثيل كلّ على ذرّة الكربون المناسبة.



أضف ذرّات هيدروجين إلى كلّ ذرّة كربون بحيث تقيم كلّ ذرّة أربع روابط أحادية.

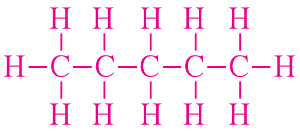


3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب للدرس

لتقييم فهم الطلّاب للألكانات للصيغ التركيبية للألكانات المشبَّعة اطلب إلى الطلّاب كتابة الصيغ التركيبية المختلفة للبنتان.

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$]



$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$

[$CH_3(CH_2)_3CH_3$

راجع مع الطلّاب سبب ارتفاع درجة غليان الألكان مستقيم السلسلة وانخفاض درجة غليان الألكان متفرّع السلسلة.

امتحن الطلّاب شفهيًا للتأكد من حفظهم للمقاطع الأولى المُستخدَمة في تسمية المركَّبات العشرة الأوائل من مجموعة الألكانات مستقيمة السلسلة (ميث – إيث – بروب – إلخ...).

اطلب إلى الطلّاب تسمية المجموعات الألكيلية التالية:

CH_3- ، CH_3CH_2- ، $CH_3CH_2CH_2-$

[بروبيل ، إيثيل ، ميثيل]

الخطوة الرابعة: إذا وجدت أكثر من مجموعة بديلة متماثلة متصلة بسلسلة كربونية، قم بذكر عددها قبل اسمها على شكل – ثنائي، – ثلاثي، – رباعي، و– خماسي. عند تطبيق ذلك في المثال الموضّح نجد أن كلمة ثنائي ميثيل جزء من الاسم الكامل للمركَّب.

الخطوة الخامسة: عند تواجد مجموعات ألكيلية بديلة مختلفة متصلة بالسلسلة الأساسية، تُكتب أسماؤها على التوالي حسب الترتيب الأبجدي (الإنجليزي) للحرف الأوّل من أسمائها من دون النظر إلى ترتيب المقاطع العددية التي تسبق كل مجموعة. ففي مثالنا الموضّح نكتب مجموعة الإيثيل قبل مجموعة الميثيل: 4 – إيثيل قبل 2 – ميثيل و3 – ميثيل (اللتان تم دمجها كما ذكرنا في الخطوة السابقة بثنائي ميثيل).

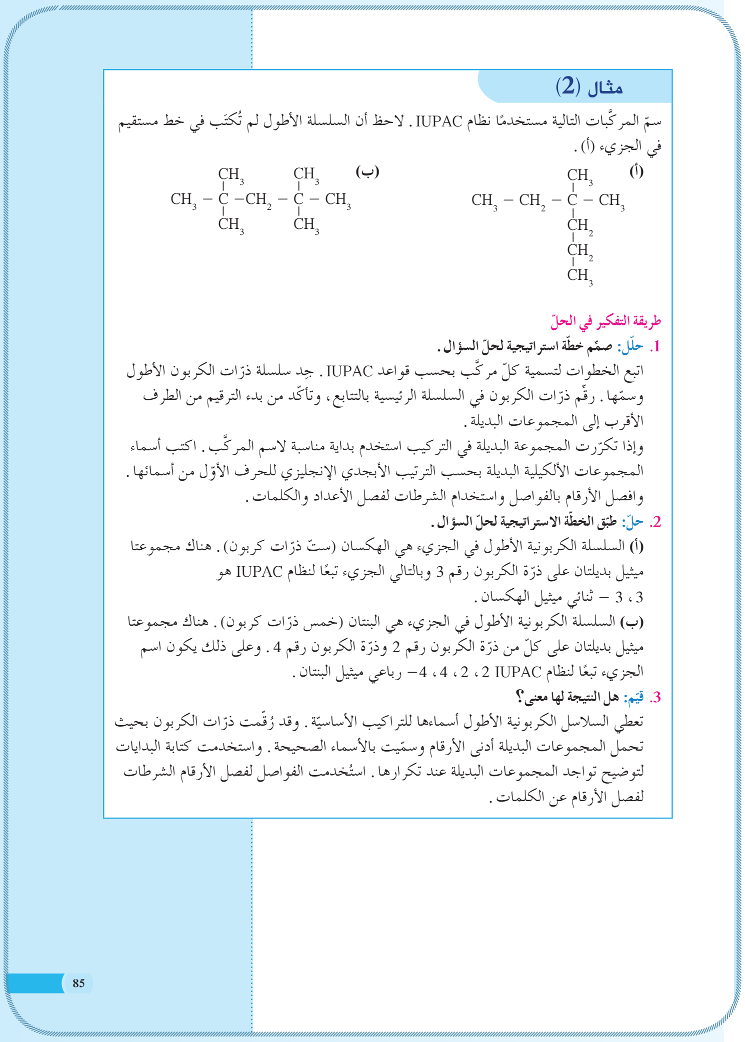
الخطوة السادسة: استخدم إشارات الفصل الصحيحة (علامات الوقف مثل الفاصلة والشرطات إلخ.) هذه الخطوة مهمة جدًّا في كتابة أسماء المركَّبات العضوية في نظام IUPAC، حيث تُستخدم الفواصل لفصل الأعداد (2 ، 3)، وتستخدم الشرطات لفصل الأعداد والكلمات (2 ، 3– ثنائي ميثيل). ويكتب الاسم الكامل للمركَّب من دون ترك أيّ مسافات أو فراغات.

وعلى ذلك يكون اسم المركَّب الموضّح في المثال 4 – إيثيل – 2 ، 3 – ثنائي ميثيل الهبتان. ويوضّح الشكل (27) نموذج الكرة والعصا ونموذج التعبئة المجسّمة لهذا المركَّب.

(أ) (ب)

شكل (27)
نموذج الكرة والعصا (أ) ونموذج التعبئة المجسّمة (ب) للمركَّب العضوي 4 – إيثيل – 2 ، 3 – ثنائي ميثيل الهبتان

84



مثال (2)

سمّ المركَّبات التالية مستخدمًا نظام IUPAC. لاحظ أن السلسلة الأطول لم تُكتَب في خط مستقيم في الجزيء (أ).

(أ) $CH_3-CH_2-C(CH_3)(CH_2CH_2CH_3)-CH_3$

(ب) $CH_3-C(CH_3)_2-CH_2-C(CH_3)_2-CH_3$

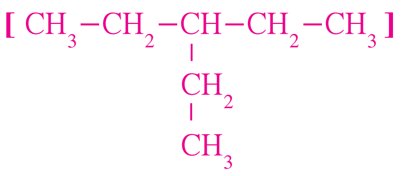
طريقة التفكير في الحلّ

1. **حلّل: صمِّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.**
اتبع الخطوات لتسمية كلّ مركَّب بحسب قواعد IUPAC. جِد سلسلة ذرّات الكربون الأطول وسمّها. رقِّم ذرّات الكربون في السلسلة الرئيسية بالتتابع، وتأكّد من بدء الترقيم من الطرف الأقرب إلى المجموعات البديلة.
وإذا تكرّرت المجموعة البديلة في التركيب استخدم بداية مناسبة لاسم المركَّب. اكتب أسماء المجموعات الألكيلية البديلة بحسب الترتيب الأبجدي الإنجليزي للحرف الأوّل من أسمائها. وافصل الأرقام بالفواصل واستخدام الشرطات لفصل الأعداد والكلمات.
2. **حلّ: طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.**
(أ) السلسلة الكربونية الأطول في الجزيء هي الهكسان (ستّ ذرّات كربون). هناك مجموعتا ميثيل بديلتان على ذرّة الكربون رقم 3 وبالتالي الجزيء تبعًا لنظام IUPAC هو 3 ، 3 – ثنائي ميثيل الهكسان.
(ب) السلسلة الكربونية الأطول في الجزيء هي البنتان (خمس ذرّات كربون). هناك مجموعتا ميثيل بديلتان على كلّ من ذرّة الكربون رقم 2 وذرّة الكربون رقم 4. وعلى ذلك يكون اسم الجزيء تبعًا لنظام IUPAC 2 ، 2 ، 4 ، 4– رباعي ميثيل البنتان.
3. **قيّم: هل النتيجة لها معنى؟**
تعطي السلاسل الكربونية الأطول أسماءها للتراكيب الأساسيّة. وقد رُقّمت ذرّات الكربون بحيث تحمل المجموعات البديلة أدنى الأرقام وسمّيت بالأسماء الصحيحة. واستخدمت كتابة البدايات لتوضيح تواجد المجموعات البديلة عند تكرارها. استُخدمت الفواصل لفصل الأرقام الشرطات لفصل الأرقام عن الكلمات.

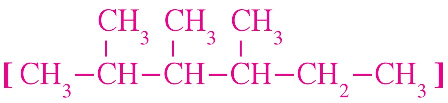
85

اطلب إليهم كتابة الصيغ التركيبية للمركَّبات التالية:

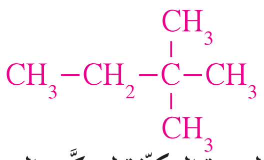
- 3– إيثيل البنتان



- 2 ، 3 ، 4– ثلاثي ميثيل الهكسان



- 2 ، 2– ثنائي ميثيل البيوتان



اطلب إلى الطلّاب كتابة الصيغة المكثّفة لمركّب البروبان

$[CH_3CH_2CH_3]$

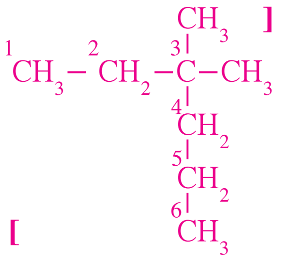
2.3 إعادة التعليم

اسأل الطلّاب عن سبب تسمية الألكانات بالهيدروكربونات المشبّعة. [لأنها تحتوي على أقصى عدد من ذرّات الهيدروجين وعلى روابط تساهمية أحادية فقط]

ارسم على السبّورة عددًا من الألكانات مستقيمة السلسلة واشرح كيفية كتابة صيغها التركيبية. راجع طريقة تسمية مركَّبات الألكانات بحسب قواعد الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية (IUPAC). راجع مع الطلّاب خطوات تسمية ألكان متفرّع السلسلة من مثل: 3 ، 3– ثنائي ميثيل الهكسان.

اطلب إلى الطلّاب كتابة الصيغة التركيبية للمركَّب السابق، وذكّرهم بالخطوات التالية:

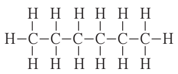
- كتابة سلسلة الكربون الأساسية.
- ربط المجموعات البديلة.
- إضافة ذرّات الهيدروجين لتكملة التكافؤ الرباعي لذرّات الكربون.



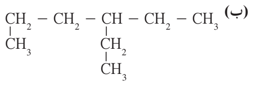
أسئلة تطبيقية وحلّها

سمّ الألكانات التالية:

(أ)



(ب)



الحلّ:

(أ) هكسان

(ب) 3 – إيثيل الهكسان

2.3 إعادة بناء الصيغ التركيبية بمعرفة اسم الألكان المقابل

Deducing the Structural Formula from the Alkane's Name

بمعرفة اسم الألكان وقواعد IUPAC ، من السهل إعادة بناء الصيغة التركيبية تبعًا للخطوات التالية:

الخطوة الأولى: جد أصل الكلمة (القسم الثابت لكافة أعضاء مجموعة الألكان، وهو المقطع «ان» في اسم الهيدروكربون المشبّع). ثمّ اكتب سلسلة الكربون الأطول التي ستصبح السلسلة الرئيسية.

الخطوة الثانية: رقّم ذرّات الكربون في سلسلة الكربون الرئيسية.

الخطوة الثالثة: حدّد المجموعات البديلة وقم بتوصيلها بالمواقع الصحيحة في سلسلة الكربون الرئيسية التي رقّمتها.

الخطوة الرابعة: أضف ذرّات الهيدروجين بحسب الحاجة (لتكوين روابط الكربون التساهمية الأحادية الأربع).

86

مثال (3)

اكتب الصيغ التركيبية الكاملة لكلّ من المركّبات التالية:

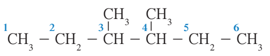
(أ) 3 ، 4 – ثنائي ميثيل الهكسان

(ب) 2 ، 2 ، 4 – ثلاثي ميثيل البنتان

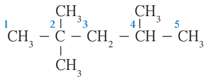
طريقة التفكير في الحلّ

1. **حلّل: صمِّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال.**
توضّح البدايات أنواع المجموعات الألكيلية البديلة وعدد مرّات تكرار كلّ منها وموقع ذرّات الكربون المتصلة بها. أصل الكلمة في اسم الهيدروكربون، الذي ينتهي بالمقطع «ان»، هو التركيب الأساسي له. يبدأ ترقيم سلسلة ذرّات الكربون الرئيسية من الطرف الأقرب إلى المجموعات الألكيلية ثمّ تُضاف ذرّات الهيدروجين بحسب الحاجة.

2. **حلّ: طبّق الخطّة الاستراتيجية لحلّ السؤال.**
(أ) التركيب الأساسي هو سلسلة مستقيمة مكوّنة من ستّ ذرّات كربون (هكسان)، وهناك مجموعتان ميثيل بديلتان على ذرّتي الكربون رقم 3 و4. وقد أضيفت 12 ذرّة هيدروجين إلى السلسلة الرئيسية (متصلة بذرّات الكربون).



(ب) التركيب الأساسي هو سلسلة مستقيمة مكوّنة من خمس ذرّات كربون (بنتان)، وهناك ثلاث مجموعات ميثيل بديلة، اثنتان منهما تتصلان بذرّة الكربون رقم 2 ، والثالثة متصلة بذرّة الكربون رقم 4. وهناك تسع ذرّات هيدروجين مضافة إلى السلسلة الرئيسية (متصلة بذرّات الكربون).



3. **قيّم: هل النتيجة لها معنى؟**
لقد كُتِبت السلاسل الأطول ورُقِّمت بشكل صحيح ووُضعت المجموعات البديلة على ذرّات الكربون، وتمّ تحديدها من اسم المركَّب وأضيف العدد الصحيح لذرّات الهيدروجين.

87

إجابات أسئلة مراجعة الدرس 1–2

1. ترتبط ذرّات الهيدروجين وذرّات الكربون ببعضها البعض في الهيدروكربونات بروابط تساهمية.
2. تحتوي الألكانات مستقيمة السلسلة باستثناء الميثان على سلاسل من ذرّات الكربون مرتبطة ببعضها بعضًا بروابط تساهمية أحادية وترتبط كلّ ذرّة كربون بذرّتي هيدروجين على الأقلّ، أما في الألكانات متفرّعة السلسلة فتحلّ المجموعات الألكيلية كمجموعات بديلة محلّ بعض ذرّات الهيدروجين.
3. السلاسل المتشابهة التركيب هي مجموعة متتالية من المركّبات يختلف كل مركَّب فيها عن الذي يسبقه بزيادة مجموعة ميثيلين (CH_2) واحدة وهذا صحيح في حالة الألكانات التي تلي الإيثان.

أسئلة تطبيقية وحلّها

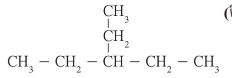
اكتب الصيغ التركيبية للمركّبات التالية:

(أ) 3 – إيثيل البنتان

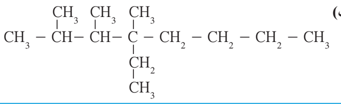
(ب) 4 – إيثيل – 2، 3، 4 – ثلاثي ميثيل الأوكتان.

الحلّ:

(أ)



(ب)



4. خواصّ الألكانات Properties of Alkanes

جزيئات الهيدروكربون، مثل الألكانات، غير قطبية، وقوى التجاذب بين جزيئاتها ضعيفة جدًّا. لذلك تميل الهيدروكربونات ذات الكتل المولية المنخفضة إلى أن تكون غازات أو سوائل ذات درجة غليان منخفضة.

لا تنجذب الجزيئات العضوية غير القطبية مثل الهيدروكربونات إلى الماء. وهناك قاعدة مهمّة تنصّ على أن الموادّ المتشابهة تذوب معًا، وهذا يعني أن المركَّبين غير القطبيين يكوّنان محلولًا وكذلك المركّبين القطبيين. ولكنّ المركَّب غير القطبي والمركَّب القطبي لا يكوّنان محلولًا.

مراجعة الدرس 1–2

1. اشرح نوع الروابط في الهيدروكربونات.
2. فرّق بين الألكانات مستقيمة السلسلة والألكانات متفرّعة السلسلة.
3. ما السلاسل المتشابهة التركيب؟ لماذا تُعتَبر الألكانات إحدى هذه السلاسل؟

88

الدرس 3-1 الهيدروكربونات غير المشبَّعة

الأهداف:
- يشرح الفرق بين الهيدروكربونات غير المشبَّعة والهيدروكربونات المشبَّعة.
- يميِّز بين الصيغة التركيبية للألكينات والألكاينات.

الأدوات المستعملة: جهاز عرض

1. قدّم وحفّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلاب يتفحَّصون الصورة الافتتاحية للدرس ويقرؤون الفقرة المرافقة لها.

أشر للطلّاب أن الألكينات والألكاينات مركَّبات هيدروكربونية أليفاتية غير مشبَّعة.

وضِّح للطلّاب أنّ الألكينات تتميز بوجود رابطة ثنائية بين ذرّات الكربون إحداهما سيجما σ قوية والأخرى باي π أقل قوّة.

عرِّف الطلّاب بعض استخدامات الألكينات:

- تحضير كثير من المركَّبات مثل غاز الخردل والموادّ البلاستيكية والمذيبات العضوية.
- يُستخدَم الايثين (الاثيلين) كمخدِّر وفي إنضاج الفاكهة (انظر الشكل 28) وفي تحضير الكحول الإثيلي والإثيلين جليكول.

وضِّح للطلّاب أن الألكاينات تتميّز بوجود رابطة ثلاثية بين ذرّات الكربون واحدة سيجما σ ورابطتين من نوع باي π.

عرِّف الطلّاب بعض استخدامات الألكاينات:

- إنضاج الفاكهة
- تحضير الألدهيدات والكيتونات والأحماض العضوية
- يُستخدَم الإيثاين (الأستيلين) في شعلة الأكسي أستيلين في لحام الموادّ الحديدية.

2.1 اختبار المعلومات السابقة لدى الطلّاب

لتقييم المعلومات السابقة لدى الطلاب حول الهيدروكربونات، وجِّه إليهم الأسئلة التالية:

1. ما هو عدد الروابط التساهمية التي تحيط بذرّة كربون مترابطة في مركّب عضوي؟ حدِّد توزيع هذه الروابط.

[يحيط بذرّة الكربون في المركَّبات العضوية أربع روابط موزّعة على الشكل التالي:

(أ) $-\overset{|}{\underset{|}{C}}-$ (ب) $=\overset{|}{C}-$ (جـ) $\equiv C-$]

2. أشر إلى الكربون المشبَّع وغير المشبَّع في الأشكال السابقة.

[(أ) مشبَّع (ب) و(جـ) غير مشبَّع]

صفحات التلميذ: من ص 89 إلى ص 98

صفحات الأنشطة: من ص 24 إلى ص 28

عدد الحصص: 3

الدرس 3-1 الهيدروكربونات غير المشبَّعة
Unsaturated Hydrocarbons

الأهداف العامة
- يشرح الفرق بين الهيدروكربونات غير المشبَّعة والهيدروكربونات المشبَّعة.
- يميّز بين الصيغة التركيبية للألكينات والألكاينات.

شكل (28)
يُعتبَر الإيثين أبسط الألكينات ويحفِّز نموّ النباتات ويعمل على إنضاج ثمارها.

يُعتبَر الإيثين C_2H_4 أحد الموادّ العديدة التي تنظِّم النمو في النبات وتنظِّم نضج الثمرة بعد جنيها (شكل 28). يستطيع الإيثين الانتشار عبر أنسجة النبات لأنّه غاز بسيط ليؤثِّر في الصفات النوعية لمنتجات البساتين من مثل اللون والبنية والموادّ المسؤولة عن النكهة. ما الذي يميِّز غاز الإيثين عن غاز الإيثان؟

1. الألكينات Alkenes

لقد تعلّمت أنّ روابط الكربون – كربون في الألكانات هي روابط تساهمية أحادية. لكنّ الروابط الأحادية التساهمية ليست نوع روابط الكربون – كربون (C – C) الوحيد الموجود في الهيدروكربونات. فقد تتصل ذرّات الكربون بروابط متعدّدة، **وتُسمّى الهيدروكربونات التي تحتوي على روابط كربون – كربون تساهمية ثنائية بالألكينات Alkenes**، والصيغة الجزيئية العامة للألكينات هي C_nH_{2n}.

$$>C=C<$$

89

3. حدِّد أنواع الروابط في كلّ من الأشكال السابقة (σ و π).

[(أ) أربع روابط من نوع σ (ب) ثلاث روابط σ ورابطة π

(جـ) رابطتين σ ورابطتين π]

4. أيّ من الروابط σ وπ يدّل على النشاط الكيميائي للمركَّب؟

[الرابطة σ قوية فتعطي استقرارًا للمركَّب وتجعله خاملًا (مثل الألكانات) أما الرابطة π فهي أضعف من σ فتعطي المركَّب نشاطًا كيميائيًّا وتسمح له بالتفاعل بسهولة أكبر.]

الإجابة عن السؤال في مقدِّمة الصفحة (89)

[ينتمي غاز الإيثان إلى مجموعة الألكانات فهو مركَّب عضوي مشبَّع تقيم كلّ ذرّة كربون فيه أربع روابط أحادية من نوع سيجما σ. أمّا الإيثين فينتمي إلى مجموعة الألكينات وهو مركَّب غير مشبَّع يحتوي الجزيء منه على رابطة ثنائية تساهمية (تتألّف من رابطة σ ورابطة π).]

2. علِّم وطبّق

1.2 مناقشة

ذكر الطلّاب بأنّ روابط الكربون – كربون يمكن أن تكون تساهمية أحادية، تساهمية ثنائية وتساهمية ثلاثية فتُعتبَر الهيدروكربونات حينئذ غير مشبَّعة أي تحتوي على عدد ذرّات هيدروجين أقلّ من الهيدروكربونات المشبَّعة. فسّر أنّ الهيدروكربونات التي تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية تُسمّى الألكينات وتلك التي تحتوي على رابطة تساهمية ثلاثية تسمّى الألكاينات.

2.2 استخدام وسيلة مرئية

اعرض على الطلّاب باستخدام جهاز عرض، الخطوات التي يجب اتباعها لتسمة الألكينات. شدّد على أنّ المقطع الأوّل يحدّد عدد ذرّات الكربون في المركَّب ولا علاقة له بنوع الروابط لذا لا يتغيَّر في الألكانات والألكينات والألكاينات.

وضِّح للطلّاب أنّ الهيدروكربونات التي تحتوي على روابط تساهمية ثلاثية تُسمّى بالألكاينات. أشر إلى أنّ خطوات تسمية الألكانات، الألكينات والألكاينات متشابهة باستثناء استبدال لاحقة الألكانات «ان» بلاحقة الألكينات «ين» أو لاحقة الألكاينات «اين».

3.2 مناقشة

بعد أن تعرَّف الطلّاب التركيبات المختلفة للهيدروكربونات، ناقش معهم خواصّها الفيزيائيّة واسألهم: هل تختلف خواصّ هذه المركَّبات نتيجة اختلاف تركيباتها؟ **[نعم]**

ثمّ اعرض عليهم بعض خواصّها الكيميائية واختلاف سلوكها تجاه التفاعلات نفسها.

اطلب إلى الطلّاب قراءة الجدول (8) في كتاب الطالب الذي يوضّح درجة غليان الألكانات، الألكينات والألكاينات. اسأل: ماذا تستنتجون من هذا الجدول؟ فسِّروا. **[درجة غليان الألكانات والألكينات أدنى من درجة غليان الألكاينات. تتكوّن قوى فان درفالز ما بين جزيئات الألكانات، الألكينات والألكاينات لذلك لا تؤثّر الروابط التساهمية الثنائية والروابط التساهمية الثلاثية تأثيرًا كبيرًا في درجة الغليان.]**

تُسمّى الهيدروكربونات غير المشبَّعة Unsaturated Hydrocarbons كلّ المركَّبات العضوية التي تحتوي على روابط كربون – كربون تساهمية ثنائية أو روابط كربون – كربون تساهمية ثلاثية.

وقد سُمّيت بهذا الاسم لأنّها تحتوي على عدد أقلّ من العدد الأقصى لذرّات الهيدروجين في صيغها التركيبية نظرًا لوجود الروابط الثنائية أو الثلاثية. على عكس الألكانات أو المركَّبات المشبَّعة التي تحتوي على أقصى عدد من ذرّات الهيدروجين في صيغها التركيبية.

1.1 تسمية الألكينات Alkene Nomenclature

لكي تُسمّي الألكينات تبعًا لنظام IUPAC، جد السلسلة الأطول في الجزيء التي تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية التي تعتبر الألكين الرئيسي. تتألّف أسماء الألكينات المستقيمة السلسلة من قسمين أيضًا. يدلّ الأوّل منهما، وهو المستخدم في الألكانات أيضًا، على عدد ذرّات الكربون الموجودة في المركَّب: «إيث» ذرّتان «بروب» ثلاث ذرّات، «بيوت» أربع ذرّات، إلخ. القسم الثاني هو المقطع «ين» الذي يُضاف إلى القسم الأوّل ويدلّ على وجود رابطة كربون – كربون تساهمية ثنائية. ويبدأ ترقيم السلسلة من طرفها الأقرب إلى الرابطة التساهمية الثنائية وتُكتَب الأرقام المحدَّدة لمواقع الروابط التساهمية الثنائية قبل اسم السلسلة مباشرةً.

$CH_2 = CH - CH_2 - CH_3$
1– بيوتين

$CH_3 - CH = CH - H$ (كلّ من ذرّتي C تحمل H)
بروبين (بروبيلين)

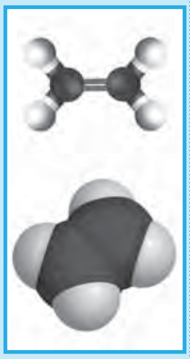
$H_2C = CH_2$
إيثين
(إيثيلين)

$CH_3 - CH(CH_3) - CH = CH - CH_3$
4– ميثيل – 2– بنتين

$CH_3 - CH = CH - CH_3$
2– بيوتين

ويُعتبر الإيثين والبروبين أبسط الألكينات، وغالبًا ما يُستَخدم اسماهما القديمان أي الإيثيلين والبروبلين.

يوضِّح الشكل (29) نموذجي الكرة والعصا والتعبئة المجسّمة للإيثين. لاحظ أن ذرّات الهيدروجين الأربع التي تبرز من الرابطة التساهمية الثنائية $C = C$ تقع في مستوى واحد وهي متباعدة بزاوية 120°. بحيث لا يحدث أي دوران حول رابطة كربون – كربون تساهمية ثنائية.



شكل (29)
تقع ذرّات الإيثين الستّ (ذرّتا كربون و4 ذرّات هيدروجين) في مستوى واحد. هل يمكن أن تدور حول الرابطة التساهمية الثنائية؟

90

2. الألكاينات Alkynes

تُسمّى الهيدروكربونات التي تحتوي على رابطة كربون – كربون تساهمية ثلاثية الألكاينات Alkynes وهي، على غرار الألكينات، مركَّبات غير مشبَّعة، وصيغتها الجزيئية العامة هي C_nH_{2n-2}.

$$- C \equiv C -$$

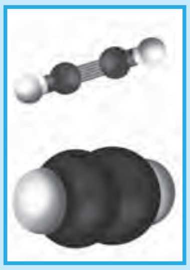
يوضِّح الجدول (7) الصيغ العامة للألكانات، الألكينات والألكاينات والصيغ التركيبية لأبسط مركَّباتها.

العائلة	الرابطة كربون—كربون	الصيغة العامة	أبسط مركَّب	
			الاسم	الصيغة
الألكانات	جميع روابطها تساهمية أحادية	C_nH_{2n+2} $n \geq 1$	الميثان	CH_4
الألكينات	رابطة تساهمية ثنائية واحدة على الأقلّ	C_nH_{2n} $n \geq 2$	الإيثين (إيثيلين)	C_2H_4
الألكاينات	رابطة تساهمية ثلاثية واحدة على الأقلّ	C_nH_{2n-2} $n \geq 2$	الإيثاين (الاستيلين)	C_2H_2

جدول (7)
الصيغ العامة والصيغ التركيبية لأبسط مركَّبات الألكانات، الألكينات والألكاينات

لا تتواجد الألكاينات بوفرة في الطبيعة، وأبسط هذه المركَّبات وأهمّها على الإطلاق هو $CH \equiv CH$ الذي يُطلَق عليه اسم إيثاين أو الاسم الأكثر شيوعًا الأستيلين. هذا المركَّب هو المادّة المُستخدَمة كوقود في عمليات لحام الفولاذ الذي يعرف بلحام الأكسجين. ويوضّح الشكل (30) أن الروابط التساهمية الممتدّة من ذرّات الكربون الموجودة في رابطة الكربون – كربون التساهمية الثلاثية للإيثاين متباعدة عن بعضها بعضًا بأقصى زاوية وقدرها 180°، ما يجعل من الإيثاين جزيئًا خطيًّا.

قوى التجاذب التي تحدث بين جزيئات الألكانات والألكينات والألكاينات هي قوى فان درفالز الضعيفة، ولذلك لا يُحدِث وجود الرابطة التساهمية الثنائية أو الرابطة التساهمية الثلاثية في الهيدروكربون تغييرًا جذريًّا في خواصه الفيزيائية كدرجة الغليان كما هو موضّح في الجدول (8).



شكل (30)
الرابطة الثلاثية في الإيثاين صلبة، لذا لا تدور ذرّاته حولها وهو أبسط الألكاينات واسمه الشائع هو أستيلين.

91

4.2 مناقشة

اشرح للطلّاب تفاعلات الاحتراق، الإضافة والاستبدال، مع إعطائهم أمثلة. اطلب إليهم كتابة المعادلات الكيميائية لكلّ من هذه التفاعلات وساعدهم على المقارنة بين الهيدروكربونات المشبَّعة وغير المشبَّعة.

اكتب على السبّورة المعادلات التالية:

(أ) $C_8H_{14} + \frac{23}{2} O_2 \rightarrow 8CO_2 + 7H_2O$

(ب) $C_6H_{12} + Cl_2 \rightarrow C_6H_{12}Cl_2$

(جـ) $C_5H_{10}Cl_2 + Cl_2 \rightarrow C_5H_9Cl_3 + HCl$

اطلب إلى الطلّاب تحديد أيّها تفاعل احتراق، استبدال أو إضافة؟ اكتب المعادلة العامّة لكلّ من هذه التفاعلات.

[(أ) تفاعل الاحتراق:

$$C_nH_{2n-2} + \frac{3n-1}{2} O_2 \rightarrow n\,CO_2 + (n-1)\,H_2O$$

(ب) تفاعل الإضافة: $C_nH_{2n} + X_2 \rightarrow C_nH_{2n}X_2$

(جـ) تفاعل الاستبدال: $C_nH_{2n}X_2 + X_2 \rightarrow C_nH_{2n-1}X_3 + HX$]

3. قيّم وتوسّع

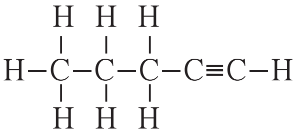
1.3 تقييم استيعاب الطلّاب للدرس

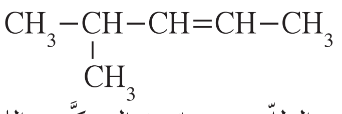
راجع مع الطلّاب خطوات تسمية المركَّبات غير المشبَّعة التي تحتوي على روابط ثنائية أو ثلاثية. دع الطلّاب يحدّدون عدد الروابط التساهمية الموجودة في الإيثان والإيثاين وأنواعها.

[الإيثان: 7 روابط تساهمية وجميعها روابط تساهمية أحادية.

الإيثاين: 3 روابط تساهمية من بينها رابطة تساهمية ثلاثية واحدة.]

اكتب على السبّورة الصيغتين التركيبيتين التاليتين:





ودع الطلّاب يسمّون المركّبين اللذين تمثلّهما.

[4 − ميثيل − 2 − بنتين، 1 − بنتاين]

اكتب على السبّورة التفاعلات التالية ودع الطلّاب يحدّدون نوعها:

[تفاعل إحتراق] $C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2} O_2 \rightarrow n\,CO_2 + (n+1)\,H_2O$

[تفاعل إستبدال] $C_nH_{2n+2} + X_2 \rightarrow C_nH_{2n+1}X + HX$

[تفاعل إضافة] $C_nH_{2n} + H_2 \rightarrow C_nH_{2n+2}$

[تفاعل إضافة] $C_nH_{2n} + H_2O \rightarrow C_nH_{2n+1}OH$

الاسم	التركيبية الجزيئية	درجة الغليان (°C)
C_2		
إيثان	$CH_3 - CH_3$	−88.5
إيثين	$CH_2 = CH_2$	−103.9
إيثاين	$CH \equiv CH$	−81.8
C_3		
بروبان	$CH_3CH_2CH_3$	−42.0
بروبين	$CH_3CH = CH_2$	−47.0
بروباين	$CH_3C \equiv CH$	−23.3
C_4		
بيوتان	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	−0.5
1− بيوتين	$CH_3CH_2CH = CH_2$	−6.3
1− بيوتاين	$CH_3CH_2C \equiv CH$	8.6
C_5		
بنتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$	36.0
1− بنتين	$CH_3CH_2CH_2CH = CH_2$	30.0
1− بنتاين	$CH_3CH_2CH_2C \equiv CH$	40.0

جدول (8)
درجات غليان بعض الهيدروكربونات الأليفاتية

3. خواصّ الهيدروكربونات Properties of Hydrocarbons

فيما يلي سنتطرّق إلى بعض الخواصّ الفيزيائية والكيميائية للهيدركربونات.

1.3 الخواصّ الفيزيائية Physical Properties

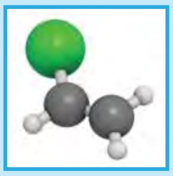
جميع الهيدروكربونات تقريبًا أقلّ كثافة من الماء وتتراوح كثافة تلك الأكثر استخدامًا منها بين 0.7 و0.9. أمّا الهيدروكربونات الغازية فهي أكثر كثافة من الهواء باستثناء الميثان والإيثاين (أقلّ كثافة من الهواء) والإيثان والإيثين (تقارب كثافتهما كثافة الهواء).
ترتفع درجات حرارة غليان الهيدروكربونات مع ارتفاع عدد ذرّات الكربون بشكل عام. وتشكّل الهيدروكربونات مع الهواء مخاليط سريعة الاشتعال وهي غير قابلة للامتزاج مع الماء.

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

بولي كلوريد الفينيل

يعتبر بولي كلوريد الفينيل من أكثر الموادّ البلاستيكية استخدامًا نظرًا لسهولة استعماله ولأسعاره المتدنية نسبيًّا. وهو يتكوّن من إضافة عدد من مركَّبات كلوريد الفينيل $CH_2 = CHCl$، ولكن ثمّة تحذيرات بشأن استعماله لأنّه بوليمر غير مستقّر تحت تأثير الضوء والحرارة إذ يتفكّك ويطلق كلوريد الهيدروجين الذي يمتلك تأثيرات سلبية على البيئة.
بلغ الإنتاج السنوي لكلوريد الفينيل 17 مليونًا في العام 1985 وتضاعف حتى بلغ 34 مليونًا في عام 2012.



92

2.3 الخواصّ الكيميائية Chemical Properties

(أ) تفاعلات الاحتراق Combustion Reactions

تشارك فيها الهيدروكربونات المشبَّعة وغير المشبَّعة على حدّ سواء. أهمّها تفاعلات الاحتراق الكامل بوجود كمّية كافية من الأكسجين وينتج منها ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. تتمّ هذه التفاعلات بحسب المعادلات التالية:

- ألكان: $C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2} O_2 \rightarrow n\,CO_2 + (n+1)\,H_2O$
- ألكين: $C_nH_{2n} + \frac{3n}{2} O_2 \rightarrow n\,CO_2 + n\,H_2O$
- ألكاين: $C_nH_{2n-2} + \frac{3n-1}{2} O_2 \rightarrow n\,CO_2 + (n-1)\,H_2O$

مثال عليها:

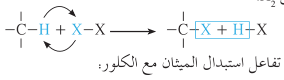
$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O +$ طاقة

$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O +$ طاقة

$C_2H_2 + \frac{5}{2} O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O +$ طاقة

(ب) تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions

تمتاز بها الهيدروكربونات المشبَّعة والحلقية، وتُستبدَل فيها ذرّة هيدروجين أو أكثر بذرّات أخرى مع الحفاظ على سلسلة المركَّب الكربونية.
تجد في ما يلي معادلات بعض هذه التفاعلات التي تحصل بين الألكان والهالوجين X_2:



مثال عليها تفاعل استبدال الميثان مع الكلور:

$CH_4 + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + HCl$

$CH_3Cl + Cl_2 \longrightarrow CH_2Cl_2 + HCl$

$CH_2Cl_2 + Cl_2 \longrightarrow CHCl_3 + HCl$

$CHCl_3 + Cl_2 \longrightarrow CCl_4 + HCl$

(جـ) تفاعلات الإضافة Addition Reactions

تمتاز بها الهيدروكربونات غير المشبَّعة وتتمّ عادة بوجود مادّة محفّزة، وينتج منها تكوين مركّبات مشبَّعة.

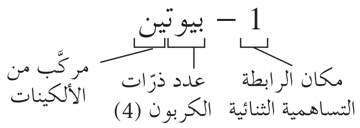
93

2.3 إعادة التعليم

اسأل الطلّاب عن سبب تسمية الألكينات والألكاينات بالهيدروكربونات غير المشبّعة. **[لأنّها تحتوي على عدد أقل من العدد الأقصى لذرّات الهيدروجين في تركيبها البنائي وبالتالي تحتوي على روابط تساهمية ثنائية أو روابط تساهمية ثلاثية]**

اكتب على السبّورة صيغة تركيبية لألكين تُظهر الرابطة التساهمية الثنائية فيه وصيغة تركيبية لألكاين تُظهر الرابطة التساهمية الثلاثية فيه. اطلب إلى الطلّاب أن يحدّدوا أيًّا منهما هو ألكاين وأيًّا منهما هو ألكين.

اشرح كيفية كتابة أسماء الألكينات بتمثيل عدد ذرّات الكربون في المقطع الأوّل وإضافة اللاحقة «ين» في المقطع الثاني مثال:



أشر إلى أمثلة على المركَّبات اسمها الشائع لا علاقة له بقواعد IUPAC كالإيثاين فاسمه الأكثر شيوعًا هو الأستيلين.

اشرح المعادلة الكيميائية لاحتراق الهيدروكربونات المشبَّعة وغير المشبَّعة. واكتب المعادلة العامّة لاحتراق الألكانات، الألكينات والألكاينات. راجع عمليات إضافة الهيدروجين، الهاليد، الكلور، والماء إلى الهيدروكربونات غير المشبَّعة.

• إضافة الهيدروجين (H_2):

تتمّ هذه العملية بوجود النيكل (Ni) كمادّة محفِّزة على درجة حرارة تقارب 200 °C وبحسب المعادلات التالية:

ألكين:

$$C_nH_{2n} + H_2 \xrightarrow{Ni,\ 200\ °C} \underbrace{C_nH_{2n+2}}_{\text{ألكان}}$$

ألكاين:

$$C_nH_{2n-2} + H_2 \xrightarrow{Ni,\ 200\ °C} \underbrace{C_nH_{2n}}_{\text{ألكين}}$$

$$C_nH_{2n} + H_2 \xrightarrow{Ni,\ 200\ °C} \underbrace{C_nH_{2n+2}}_{\text{ألكان}}$$

مثال عليها:

$$\begin{cases} CH \equiv CH + H_2 \xrightarrow{Ni,\ 200\ °C} CH_2 = CH_2 \\ CH_2 = CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni,\ 200\ °C} CH_3 - CH_3 \end{cases}$$

ملاحظة: عند استخدام البالاديوم (Pd) غير المنشّط كمادّة محفِّزة تتمّ إضافة الهيدروجين على مرحلة واحدة:

$$C_nH_{2n-2} + H_2 \xrightarrow{Pd} C_nH_{2n}$$

• إضافة هالوجين X_2 (الكلور Cl_2):

وهي تفاعل ينتج منه تكوين هاليدات الهيدروكربون بحسب المعادلات التالية:

ألكين: $C_nH_{2n} + X_2 \longrightarrow C_nH_{2n}X_2$

ألكاين: $C_nH_{2n-2} + X_2 \xrightarrow{PCl_5} C_nH_{2n-2}X_2$

$$C_nH_{2n-2}X_2 + X_2 \xrightarrow{PCl_5} C_nH_{2n-2}X_4$$

مثال عليها:

$$CH_2 = CH_2 + Cl_2 \longrightarrow CH_2ClCH_2Cl$$

$$\begin{cases} CH \equiv CH + Cl_2 \xrightarrow{PCl_5} CHCl = CHCl \\ CHCl = CHCl + Cl_2 \xrightarrow{PCl_5} CHCl_2CHCl_2 \end{cases}$$

• إضافة هاليد HX (HCl):

في حالة الألكين، ينتج من هذا التفاعل تكوين مركَّبات مشبَّعة أحادية الهالوجين بحسب المعادلة التالية:

$$C_nH_{2n} + HX \longrightarrow C_nH_{2n+1}X$$

94

في حالة الألكاين، يتمّ هذا التفاعل على مرحلتين بحسب المعادلتين التاليتين:

$$C_nH_{2n-2} + HX \longrightarrow C_nH_{2n-1}X$$

$$C_nH_{2n-1}X + HX \longrightarrow C_nH_{2n}X_2$$

مثال عليه:

$$CH_2 = CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl$$

$$\begin{cases} CH \equiv CH + HCl \longrightarrow CH_2 = CHCl \\ CH_2 = CHCl + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl \end{cases}$$

ملاحظة: في حال الألكينات غير المتماثلة يجب تطبيق قاعدة ماركونيكوف التي تنصّ على أنّ عند إضافة حمض HX على ألكين، يُضاف الهيدروجين إلى الكربون المرتبط بالعدد الأكبر من ذرّات الهيدروجين والهاليد X إلى الكربون المرتبط بالعدد الأقلّ من ذرّات الهيدروجين.

$$CH_3 - CH = CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3 - CH_2 - CH_2Cl$$

• إضافة الماء (H_2O):

يتمّ هذا التفاعل بوجود حمض الكبريتيك كمادّة محفِّزة.

في حالة الألكين، ينتج من هذا التفاعل تكوين الكحولات بحسب المعادلة التالية:

$$C_nH_{2n} + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} C_nH_{2n+1}OH$$

مثال عليه:

$$CH_2 = CH - CH_3 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}} - CH_3$$

في حالة الألكاين، ينتج من هذا التفاعل كيتونات، باستثناء إضافة الماء إلى الإيثاين الذي ينتج منه الإيثانال (ألدهيد):

$$C_nH_{2n-2} + H_2O \xrightarrow[HgSO_4,\ 80°C]{H_2SO_4} C_nH_{2n}O$$

مثال عليه:

$$CH \equiv CH + H_2O \xrightarrow[HgSO_4,\ 80°C]{H_2SO_4} CH_3 - \overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}} - H$$

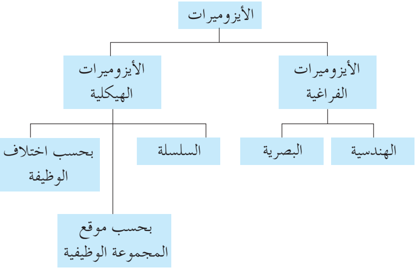
$$CH_3 - C \equiv C - CH_3 \xrightarrow[HgSO_4,\ 80°C]{H_2SO_4} CH_3 - \overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}} - CH_2 - CH_3$$

نشير في الختام إلى أنّ الخواصّ الكيميائية للهيدروكربونات لا تُحصى ولا يزال علم الكيمياء يكتشف كلّ يوم قدرة ذرّة الكربون على تكوين مركَّبات جديدة.

95

4. أيزوميرات Isomers

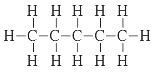
تُسمَّى أيزوميرات Isomers الجزيئات التي تمتلك نفس التركيب الكيميائي ولكنّها تختلف من حيث الصيغة التركيبية أو التركيب البنائي. تشتقّ كلمة أيزومير من اليونانية وتعني «أجزاء متساوية» تتكوّن الأيزوميرات في الكيمياء العضوية من الصيغة الجزيئية نفسها ولكنّها تختلف من حيث الصيغ التركيبية والخواصّ. هناك عدّة أنواع من الأيزوميرات كما يُظهِر الشكل (31) ولكنّنا سنكتفي بدراسة الأيزوميرات الهيكلية.



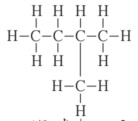
شكل (31)
أنواع الأيزوميرات

1.4 أيزوميرات السلسلة Skeletal Isomers

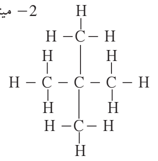
تتألّف هذه الأيزوميرات من عدد الذرّات نفسه ولكنّها تختلف في ترتيب الذرّات والروابط في ما بينها أي في صيغها التركيبية، مثال عليها أيزوميرات البنتان (C_5H_{12}) الموضَّحة أدناه. ويتّضح هذا النوع في الألكانات التي تحتوي على روابط أحادية بين ذرّات الكربون. وبالتالي، لا يوجد أيّ احتمال للتغيير في الصيغة التركيبية عند ترتيب السلسلة الكربونية.



بنتان



2– ميثيل البيوتان



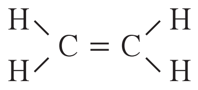
2، 2– ثنائي ميثيل البروبان

96

إجابات أسئلة مراجعة الدرس 1–3

.1 تحتوي الهيدروكربونات المشبَّعة على روابط كربون – كربون تساهمية أحادية فقط في حين تحتوي الهيدروكربونات غير المشبَّعة على رابطة كربون–كربون تساهمية ثنائية أو تساهمية ثلاثية واحدة على الأقلّ.

.2



الإيثين

$H-C\equiv C-H$

الإيثاين

الإيثين أبسط الألكينات وهو جزيء مستوٍ.
الإيثاين أبسط الألكاينات وهو جزيء خطّي.

.3 $CH_3-CH=CH-CH_3$

2– بيوتين

$CH_2=C-CH_3$
$\quad\;\; |$
$\quad CH_3$

ميثيل بروبين

$CH_2=CH-CH_2-CH_3$

1– بيوتين

.4 احتراق البروبان:

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$

احتراق البروبين:

$$C_3H_6 + \frac{9}{2}O_2 \rightarrow 3CO_2 + 3H_2O$$

.5

$$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-C\equiv CH + H_2 \xrightarrow{Pd} CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH=CH_2$$

.6

$$CH_3-CH=CH-CH_3 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3-CH_2-CHOH-CH_3$$

2.4 أيزوميرات موقع المجموعة الوظيفية Position Isomers

تنشأ هذه الأيزوميرات عند تغيير موقع المجموعة الوظيفية على سلسلة الكربون الرئيسية، وهي مركّبات لها الصيغة الجزيئية نفسها ولكنّها تختلف في الصيغة التركيبية وفي موقع المجموعة الوظيفية المميّزة. مثال على ذلك، البيوتين (C_4H_8):

1– بيوتين 2– بيوتين

3.4 أيزوميرات اختلاف الوظيفة Function Isomers

تنشأ هذه الأيزوميرات عند تغيّر موقع المجموعة الوظيفية على سلسلة الكربون الرئيسية فتختلف وظيفة المركَّب، وهي مركّبات لها الصيغة الجزيئية نفسها ولكنّها تختلف في الصيغة التركيبية والمجموعة الوظيفية المميّزة لنوع معيّن من المركّبات. مثال على ذلك C_3H_6O:

بروبانال (ألدهيد) بروبانون (كيتون)

$CH_2=CH-CH_2-OH$

كحول غير مشبّع

مثال آخر على ذلك C_2H_6O:

CH_3-CH_2-OH الإيثانول (كحول أوّلي)

CH_3-O-CH_3 ثنائي ميثيل إيثر

97

مراجعة الدرس 1–3

1. كيف تميّز الهيدروكربونات غير المشبَّعة عن تلك المشبَّعة؟
2. اكتب الصيغ التركيبية للإيثين والإيثاين، وصف شكل كلّ منهما في الفراغ.
3. اكتب أسماء جميع الألكينات ذات الصيغة الجزيئية C_4H_8.
4. اكتب المعادلة الكيميائية للاحتراق الكامل لكلّ من البروبان والبروبين.
5. اكتب معادلة إضافة الهيدروجين إلى 3– ميثيل – 1 – بيوتاين بوجود البالاديوم (Pd) كمادّة محفِّزة.
6. اكتب معادلة إضافة الماء إلى 2– بيوتين.

98

الهيدروكربونات الحلقية ، الغاز الطبيعي والنفط

دروس الفصل

الدرس 2–1: الهيدروكربونات الحلقية

الدرس 2–2: الهيدروكربونات المستخرجة من الأرض

تعرّف الطالب في دروس الفصل الأوّل أبسط المركّبات العضوية والهيدروكربونات (الألكانات ، الألكينات والألكاينات) . بات قادرًا على التمييز بين هذه الهيدروكربونات معتمدًا على أنواع الروابط بين ذرّات الكربون: $C-C$ في الألكانات ، $C=C$ في الألكينات و$C\equiv C$ في الألكاينات . كما تعلّم قواعد IUPAC لتسمية المركّبات المستقيمة ومتفرّعة السلسلة .

في هذا الفصل سيتعرّف الطالب الهيدروكربونات الحلقية (المشبَّعة وغير المشبَّعة) وبعض خواصها وقواعد IUPAC لتسميتها .

كما سيتعرّف مصدر الهيدروكربونات (البترول أو النفط الخام) ، النفط وطريقة تكوينه ، استخراجه ، تقطيره التجزيئي ، وفصل مشتقاته من هيدروكربونات ومشتقّات نفطية .

إلى ذلك ، سيعمّق الطالب معرفته بالمشتقّات النفطية وأهميتها في توليد الطاقة واستعمالها في تسيير وسائل النقل ، ضخّ المياه وتأمين الطحين إلخ .

اختبار المعلومات السابقة لدى الطلاب

وجّه إلى الطلاب أسئلة تتعلّق بأنواع الروابط التي تتكوّن بين ذرات الكربون وذرّات أخرى وذكّرهم بالأشكال التالية:

$$-\underset{|}{\overset{|}{C}}- \qquad -\overset{|}{C}= \qquad -C\equiv$$

ذكّر الطلاب بأنّ نوع الروابط بين ذرّات الكربون يدلّ على نوع الهيدروكربون الذي ينتمي إليه المركَّب .

أشر إلى أنّ الهيدروكربونات المشبَّعة تتميز بقيامها بتفاعلات استبدال بينما تتميز الهيدروكربونات غير المشبَّعة بقيامها بتفاعلات إضافة .

قسّم الطلاب إلى مجموعات وكلّف كل منها بملء الجدول التالي بالمعلومات المطلوبة بناءً على ما درسوه في الفصل الأوّل .

العائلة	الرابطة	الصيغة العامّة	مثال اسم المركّب	n = 3 صيغة المركّب
الألكانات	$C-C$	C_nH_{2n+2}	البروبان	C_3H_{18}
الألكينات	$C=C$	C_nH_{2n}	البروبين	C_3H_6
الألكاينات	$C=C$	C_nH_{2n-2}	البروباين	C_3H_4

الفصل الثاني

الهيدروكربونات الحلقية ، الغاز الطبيعي والنفط
Hydrocarbons Rings , Natural Gas and Petroleum

يُعتبَر النفط والغاز الطبيعي من مصادر الطاقة المهمّة في عالمنا . وهما ناتجان من ترسّب مكوّنات عضوية ومجهرية حيوانية ونباتية ودفنها تحت طبقات سميكة من التربة لملايين السنين لذلك يُسمّيان الوقود الأحفوري وهما بذلك مصدران غير متجدّدان للطاقة . البترول أو النفط الخام مادّة لزجة مكوّنة من مزيج من الهيدروكربونات المختلفة بات فصلها إلى مشتقّات نفطية ممكنًا ، بواسطة عملية التقطير التجزيئي بسبب اختلاف درجة غليانها .

والمشتقات النفطية عديدة وتعود أهمّيتها إلى توليدها طاقة عالية عند احتراقها رغم أنّ اسمها ارتبط بتسبيبها مشاكل صحية عديدة . وقد استعملت في تأمين الطاقة الضرورية للمطاحن ، ماكينات قصّ الحطب ، مضخّات المياه ، السيّارات إلخ . نذكر من مشتقّات النفط البنزين الذي يُعتبَر الهيدروكربون العطري الأساسي .

دروس الفصل

الدرس الأوّل

- الهيدروكربونات الحلقية

الدرس الثاني

- الهيدروكربونات المُستخرَجة من الأرض

99

استخدام الصورة الافتتاحية للفصل

دع الطلاب يتفحّصون الصورة الافتتاحية للفصل ، ويقرؤون الفقرة المرافقة لها . ناقش مع الطلّاب أهمية النفط كمصدر للمركّبات الهيدروكربونية والفت انتباه الطلاب إلى أهمية المشتقّات النفطية في الحياة اليومية بسبب ما تؤمّنه من طاقة ودورها في الصناعة .

أشر إلى أنّ النفط ثروة للمجتمعات التي تنتجه ويُعرَف «بالذهب الأسود» .

ناقش مع الطلّاب أهمية النفط في دولة الكويت على عدّة أصعدة:

- على الصعيد الاقتصادي ، يشكّل النفط الركن الأساسي في اقتصاد دولة الكويت .
- على الصعيد الاجتماعي ، أشر إلى أنّ دولة الكويت تحوّلت من منطقة صحراوية إلى منطقة في تطوّر دائم بفضل الثروة النفطية:
  - تطوّرت قطاعات التربية والصحّة وغيرها
  - تطوّرت بنيتها التحتية من طرقات واتصالات وغيرها
  - أفادت المجتمعات العربية الأخرى باستثمار فائض عائدات البترول في مشاريع في البلاد العربية أثّرت إيجابيًا على هذه البلاد .

الدرس 2-1

الـهيدروكربونات الحلقية

الأهداف:

- يتعرّف التراكيب المقفلة الحلقية الشائعة لسلاسل ذرّات الكربون.
- يشرح الرنين في ضوء حلقة البنزين العطري (الأروماتي).

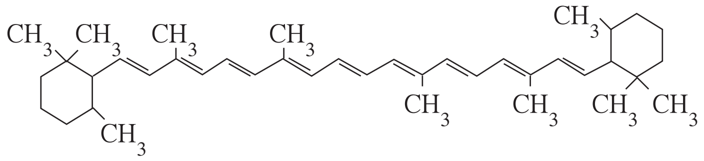
صفحات التلميذ: من ص 100 إلى ص 105

عدد الحصص: 2

1. قدّم وحفّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلّاب يتفحّصون الصورة الإفتتاحية للدرس ويقرؤون الفقرة المرافقة لها، ثمّ اكتب علىالسبّورة الصيغة التركيبية للبيتاكاروتين الذي ينقسم إلى جزئي فيتامين A. وضّح للطلّاب أنّ هذا المركّب هو مركّب هيدروكربوني وأنّ الفيتامين A مهمّ للرؤية ونموّ العظام.



دع الطلّاب يلاحظون أنّ صيغته التركيبية تحتوي عند طرفيها على حلقتي كربون. ثمّ اسأل: ما هي الحلقة الهيدروكربونية؟

[تركيب تتصل فيه نهايتا السلسلة الكربونية]

فسّر أنّ الحلقة الكربونية يمكن أن تحتوي على روابط تساهمية ثنائية وعندئذٍ يُسمَّى الهيدروكربون هيدروكربون عطري. وقد اكتشف العالم مايكل فراداي أبسط المركّبات العطرية أو الهيدروكربونات العطرية ودرسها في القرن التاسع عشر.

- ما هو أبسط المركّبات العطرية؟ [البنزين]

2.1 اختبار المعلومات السابقة لدى الطلّاب

لتقييم المعلومات السابقة لدى الطلّاب حول المركّبات الهيدروكربونية وجِّه إليهم السؤالين التاليين:

- فسِّر قول «الأشياء المتشابهة تذوب مع بعضها بعضًا». [المذيبات القطبية تذيب المركّبات الأيونية والجزيئات القطبية والمذيبات غير القطبية تذيب المركّبات غير القطبية.]
- المركّبات الهيدروكربونية مذيبات قطبية أو غير قطبية؟ [المركّبات الهيدروكربونية مذيبات غير قطبية فهي تذوب في المركّبات غير القطبية كزيت النفط ولا تذوب في المركّبات القطبية كالماء.]

الدرس 2-1

الهيدروكربونات الحلقية

Cyclic Hydrocarbons

الأهداف العامة

- يتعرّف التراكيب المقفلة الحلقية الشائعة لسلاسل ذرّات الكربون.
- يشرح الرنين في ضوء حلقة البنزين العطري (الأروماتي).

شكل (32)
مايكل فراداي (1791 – 1867)

يعود الفضل في اكتشاف ودراسة البنزين، أبسط هيدروكربون عطري، إلى الكيميائي والفيزيائي الإنكليزي الأصل مايكل فراداي Michael Faraday (شكل 32). أمّا أوّل من وضع فرضية التكوين الحلقي لجزيء البنزين فهو العالم فريديريك أوغست كيكولي Friedrich August Kekule في القرن التاسع عشر.

من خواصّ. البنزين أنّه مستقرّ كيميائيًّا وأقلّ تفاعلًا من الألكينات والألكاينات. يُستعمل كمذيب لكثير من الموادّ غير القطبية وفي قطاعات تجارية وصناعية كثيرة ولكنّ أهمّ استعمالاته هي دخوله في إنتاج المركّبات العطرية. أدّى ارتباطه ببعض المشاكل الصحية، من مثل وجع الرأس، الإغماء، الأمراض السرطانية، إلخ. إلى استبداله ببدائل أقلّ سمّية منها ميثيل البنزين.

1. الهيدروكربونات العطرية Aromatic Hydrocarbons

تعرّفت، حتّى الآن، مجموعة واسعة من سلاسل كربون طويلة وقصيرة، سلاسل ترتبط ذرّة الكربون فيها بروابط تساهمية أحادية وثنائية وثلاثية وسلاسل ارتبط بها عدد من المجموعات البديلة المختلفة. ماذا إن اتصل طرفا هذه السلاسل لتشكّل حلقات؟

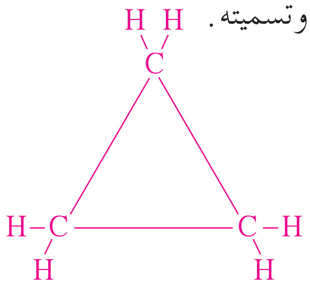
100

2. علِّم وطبِّق

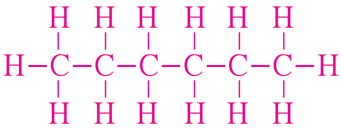
1.2 مناقشة

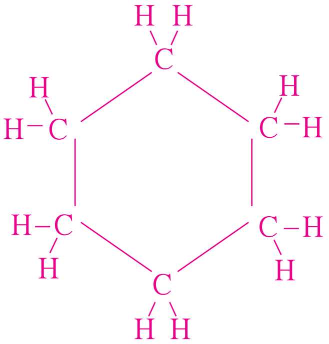
يجب على الطلّاب أن يعرفوا أنّ تكوين الحلقة يتطلّب قوّة شدّ بين الروابط (قوى تبادل) في جميع الألكانات الحلقية المقفلة التي تحتوي على أقلّ من ستّ ذرّات كربون. وتميل زاوية الرابطة في هذه الحلقات إلى أن تكون أصغر من زاوية رابطة الكربون – كربون المعتادة التي تساوي 109.5^o. اشرح أنّ هذه القوى تزيد النشاط الكيميائي للألكانات الحلقية الصغيرة ثمّ اطلب إلى الطلّاب كتابة الصيغة التركيبية للمركّب الحلقي الذي يحتوي على أقلّ عدد من ذرّات كربون وتسميته.

[البروبان الحلقي



اطلب إلى الطلّاب كتابة الصيغ التركيبية للهكسان والهكسان الحلقي




]

يحتوي الهكسان الحلقي على ذرّتي هيدروجين أقلّ من الهكسان، فهل هذا يعني أنه غير مشبَّع؟ [لا، لأنّه لا يحتوي على روابط تساهمية ثنائية أو تساهمية ثلاثية.]

2.2 مناقشة

اطلب إلى الطلّاب دراسة الجدول (9)، في كتاب الطالب، الذي يوضِّح أمثلة على المركّبات الحلقية. وجِّههم إلى استنتاج أنّ الصيغة العامّة لهذه المركّبات هي C_nH_{2n} ثمّ اطرح عليهم السؤالين التاليين:

- هل لهذه الصيغة علاقة بمركّبات الألكين؟ [كلا]
- لماذا تُسمّى هذه المركّبات الألكانات الحلقية؟ [لأنّ ذرّات الكربون فيها تتصل بروابط تساهمية أحادية وتشكّل حلقة مقفلة]

في بعض مركّبات الهيدروكربونية، يتصل طرفا سلسلة الكربون لتشكّل حلقة. **تُسمّى المركّبات التي تحتوي على حلقة كربون هيدروكربونات حلقية Cyclic Hydrocarbons**. ويوضِّح الجدول (9) بعض الصيغ التركيبية للهيدروكربونات الحلقية. نذكر أنّ حلقات الكربون المؤلّفة من ما بين 3 و20 ذرّة كربون متوفّرة في الطبيعة ولكنّ تلك المؤلّفة من 5 أو 6 ذرّات هي الأكثر وفرة.

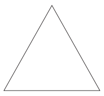
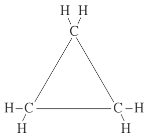
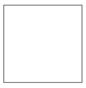
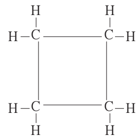
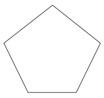
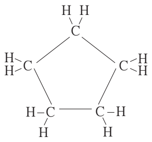
تُعرَف المجموعة الخاصة من الهيدروكربونات الحلقية غير المشبّعة بالأرينات Arenes وتحتوى هذه المركّبات على حلقات مفردة أو مجموعات حلقات.

كانت تُسمّى الأرينات (التولوين، أنيلين) قديمًا بالمركّبات العطرية لأنّ لأغلبها روائح جميلة (شكل 33)، والبنزين C_6H_6 هو أبسطها.

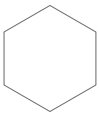
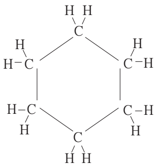
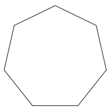
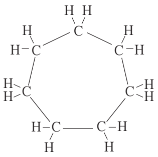
يُستخدم، في الوقت الحالي، مصطلح **مركّب عطري Aromatic Compound** لوصف أيّ مادّة يشبه الترابط فيها ترابط البنزين.

وهنالك اختلاف فيزيائي وكيميائي بين حلقة البنزين والألكانات الحلقية كما هو موضّح في الجدول (9) و الشكلين (34 و 35).

شكل (33)
نبات الفانيليا

أشكال الحلقات		تمثيل الحلقات المقفلة	ألكانات حلقية
			بروبان حلقي (درجة الغليان −34.4 °C)
			بيوتان حلقي (درجة الغليان −13 °C)
			بنتان حلقي (درجة الغليان 49.5 °C)

101

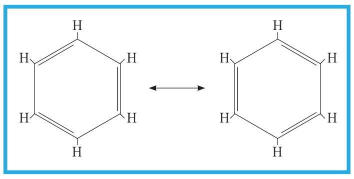
أشكال الحلقات		تمثيل الحلقات المقفلة	ألكانات حلقية
			هكسان حلقي (درجة الغليان 81.4 °C)
			هبتان حلقي (درجة الغليان 118 °C)

جدول (9)
أمثلة عن ألكانات حلقية

اصطلح روبيرت روبنسون Robert Robinson الرمز الدائري للعطرية لأوّل مرّة عام 1925 ثمّ أشاع موريسون وبويد Morrison وBoyd استخدامه.

جزيء البنزين عبارة عن حلقات سداسية. وكل رأس من رؤوس سداسي الأضلاع عبارة عن ذرّة كربون مرتبطة بذرّة هيدروجين، وهذا التركيب من شأنه أن يبقي لكلّ ذرّة كربون إلكترون حرّ يشارك في رابطة تساهمية ثنائية.

يمكن رسم البنزين بصيغتين مختلفين من حيث مواقع الروابط التساهمية الثنائية والروابط التساهمية الأحادية في كل جزيء كما هو موضّح في الشكل (34).



شكل (34)
تركيبان مختلفان لجزيء البنزين

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

خواصّ البنزين

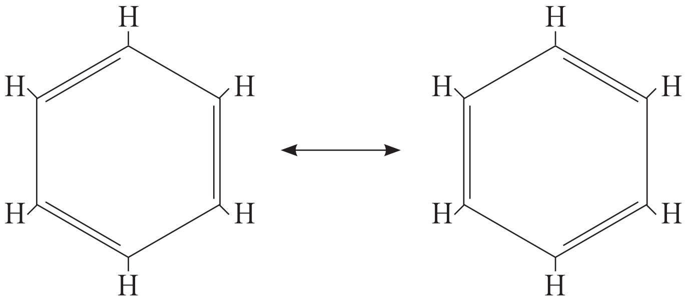
الصيغة الكيميائية: C_6H_6
اللون: عديم اللون
قابلية الاشتعال: قابل للاشتعال
درجة الانصهار: 5.5 °C (41.9 °F)
درجة الغليان: 80.1 °C (176.2 °F)
الكثافة (عند 15 °C): 0.8787 g/cm³
الذوبان في الماء (عند: 25 °C) 0.18 g/100 mL
يمتزج بـ: الكحول، الكلوروفورم، الإيثر ومذيبات عضوية أخرى.

102

3.2 مناقشة

أشر إلى أنّ الأرينات كانت تُعرف بالمركَّبات العطرية أو المركَّبات ذات الروائح ومثال عليها الفانيليا والقرفة. وضِّح للطلّاب أن هذه المركَّبات تشترك في احتوائها على حلقة كربون سداسية كالتي في البنزين، C_6H_6. ولذلك بات يُطلَق على كلّ مركَّب يشبه الترابط فيه البنزين اسم مركَّب عطري.

اكتب الصيغة التركيبية لمركَّب البنزين على السبّورة وأشر إلى تركيبه العنصري المؤلّف من ستّ ذرّات كربون متصلة بشكل حلقي ويرتبط كلّ منها بذرّة هيدروجين. اطلب إلى الطلّاب ملاحظة الصيغتين التركيبيتين لمركَّب البنزين المختلفتين من حيث مواقع الروابط التساهمية الثنائية وأشر إلى أنّ البنزين قد يُمثّل، بسبب ذلك، بحلقة سداسية من دون كتابة ذرّات الكربون والهيدروجين ويمكن أن تُمثّل الروابط الثنائية غير الثابتة بدائرة محاطة بمضلّع.



4.2 مناقشة

اشرح كيفية تسمية المركَّبات المؤلّفة من حلقة بنزين استُبدلت فيها ذرّة هيدروجين أو أكثر بذرّة أو مجموعة ذرّات أخرى. أعطِ كمثال على المركَّبات، التي يمثِّل فيها البنزين السلسلة الأطول، الفينول (الهيدروكسي بنزين)، ميثيل البنزين وإيثيل البنزين. يفسِّر ذلك ارتباط اسم المجموعة البديلة بالبنزين لتسمية المركَّب.

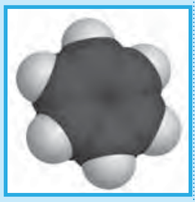
أعط كمثال مركَّب 3– فنيل الهكسان حيث حلقة البنزين هي المجموعة البديلة شارحًا أنّها تُسمَّى فنيل في مثل هذه الحالة.

اطلب إلى الطلّاب أن يقارنوا المركَّبات التي تحتوي على مجموعات من البدائل من مثل m–xylene ،o–xylene، p–xylene وشدِّد على وجوب ترقيم ذرّات الكربون من 1 إلى 6 باتجاه دوران عقارب الساعة لإعطاء كلّ مجموعة بديلة رقمًا يشير إلى مكانها على الحلقة.

بالنسبة إلى البنزين، يمثّل هذان الشكلان التركيبيان الحالتين المتضادّتين للمشاركة الإلكترونية بين كلّ ذرّتي كربون متجاورتين. ففي حين يوضِّح أحد التركيبين وجود رابطة تساهمية أحادية ما بين ذرّتي كربون يوضِّح التركيب الآخر وجود رابطة تساهمية ثنائية بين ذرّتي الكربون نفسيهما.

وعندما يُمثَّل جزيء ما بتركيبين صحيحين ومتساويين أو أكثر يحدث ما يُسمّى «الرنين Resonance»، ويُعتبَر البنزين (شكل 35) مثالًا على المركَّبات التي توضّح الرنين وهو أقلّ نشاطًا من الألكان الحلقي السداسي أي الهكسان الحلقي لأنّ الجزيئات التي يحدث فيها الرنين أكثر ثباتًا من الجزيئات المماثلة التي لا يحدث فيها.

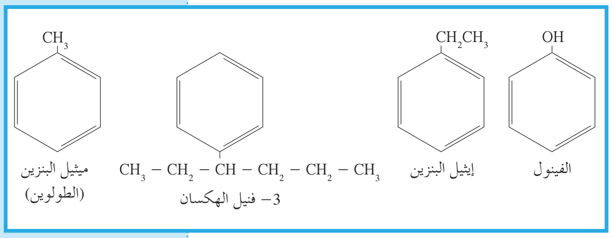
الدائرة المحاطة بمضلّع تمثيل مناسب للترابط الرنيني ولكنّها لا توضّح عدد الإلكترونات التي تتضمّنها الحلقة لذلك سوف نستخدم في هذا الكتاب التركيب التقليدي للبنزين الموضَّح في الشكل الأيمن.



شكل (35)
نموذج التعبئة المجسّمة للبنزين

1.1 مجموعات بديلة متصلة بالمركَّبات العطرية
Substituents on Aromatic Rings

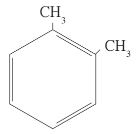
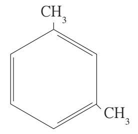
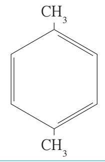
تُسمَّى المركَّبات التي تحتوي على مجموعات بديلة متصلة بحلقة بنزين مشتقّات البنزين. وفي بعض الأحيان تُعتبَر الحلقة البنزينية المجموعة البديلة، ويُعتبَر اسم السلسلة الكربونية الأطول الاسم الأساسي للمركَّب، يُطلَق في هذه الحالة على الشق (C_6H_5–) اسم مجموعة الفنيل (شكل 36).



شكل (36)
أمثلة على مركَّبات تحتوي على حلقة البنزين

يُعرف حلول مجموعتين بديلتين محلّ الهيدروجين بثنائية المجموعات البديلة في البنزين (ارتباط مجموعتين بحلقة جزيء البنزين). وهناك ثلاثة أيزوميرات تركيبية مختلفة للمركَّب العطري ثنائي ميثيل البنزين $C_6H_4(CH_3)_2$. نذكّر بأنّ الخواصّ الفيزيائية للأيزوميرات التركيبية مختلفة كما يوضِّح اختلاف درجات غليانها (جدول 10).

تبعًا لنظام IUPAC في تسمية المركَّبات العضوية، تُرقَّم ذرّات الكربون من 1 إلى 6 ابتداءً بذرّة الكربون التي ترتبط بالمجموعة البديلة الأولى، باتجاه المجموعة البديلة الأقرب. على سبيل المثال، تُستعمَل الأرقام 1، 2 و1، 3 و1، 4 والمصطلحات «أورثو» و «ميتا» و «بارا» لتحديد مواقع المجموعات البديلة في الأسماء العامّة لمشتقّات البنزين الثنائية.

اسم المركَّب	الصيغة التركيبية	درجة الغليان (°C)
1، 2– ثنائي ميثيل البنزين أو أورثو ثنائي ميثيل البنزين (o–Xylene)		144
1، 3– ثنائي ميثيل البنزين أو ميتا ثنائي ميثيل البنزين (m–Xylene)		139
1، 4– ثنائي ميثيل البنزين أو بارا ثنائي ميثيل البنزين (p–Xylene)		138

جدول (10)
أيزوميرات مركَّب ثنائي ميثيل البنزين المختلفة

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلاب

اطلب إلى الطلاّب أن يقارنوا ويوضّحوا أوجه الاختلاف بين المصطلحات التالية من ناحية ارتباطها بالهيدروكربونات ويدعموا إجاباتهم بأمثلة:

- عطري وأليفاتي
- سلسلة وحلقة
- مشبَّع وغير مشبَّع

اطلب إليهم أن يصفوا جزيء البنزين ويفسّروا الترابط الرنيني فيه. [جزيء البنزين حلقة سداسية الرؤوس وكلّ رأس عبارة عن ذرّة كربون مرتبطة بذرّة هيدروجين ولديها إلكترون حرّ يشارك في رابطة تساهمية ثنائية وبالتالي يمكن تمثيل جزيء البنزين بتركيبين صحيحين ومتساويين وهذا ما يُسمّى الرنين.]

ماذا تمثّل الدائرة المحاطة بمضلع في الصيغة التركيبية للبنزين التركيبي؟ [تمثّل الدائرة الترابط الرنيني في البنزين من دون تحديد عدد الإلكترونات المشاركة فيه]

ما هي مشتقّات البنزين؟ [المركّبات التي تحتوي على مجموعات بديلة متصلة بحلقة البنزين]

اطلب إلى الطلاّب أن يعطوا الاسم الآخر لـ o−xylene ، m−xylene و p−xylene.

[1 ، 2− ثنائي ميثيل البنزين؛ 1 ، 3− ثنائي ميثيل البنزين؛ 1 ، 4− ثنائي ميثيل البنزين]

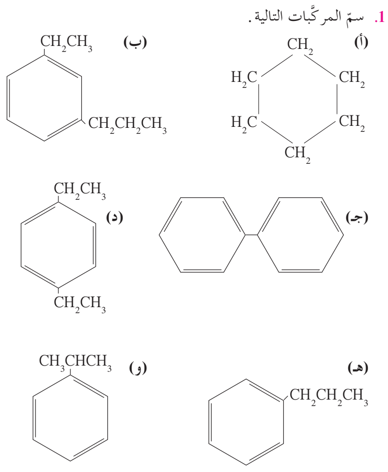
2.3 إعادة التعليم

تعرّف الطلاّب مصطلحات كثيرة في هذه الوحدة، لذا قبل أن يتعلّموا مزيدًا منها راجع معهم المصطلحات التالية: الألكانات، الألكينات، الألكانات الحلقية والأليفاتية. ثمّ اعرض عليهم الأرينات والمركَّبات العطرية. واشرح أنّ كون المركَّب يمتلك رائحة مميزة لا يعني بالضرورة أنّه عطري فالعطرية تشير بالتحديد إلى احتواء المركَّب على حلقة البنزين.

وضّح الفرق بين الهيدروكربونات الحلقية المشبَّعة وتلك غير المشبَّعة. وراجع مع الطلاّب كيفية توزيع الروابط في حلقة البنزين. ثمّ أشر إلى أنّ السلسلة المتصلة بالبنزين تُعتبَر السلسلة الأساسية في حال كانت الأطول وتُطلق على الحلقة البنزينية المتصلة اسم فنيل. امتحن الطلاّب شفويًا عن كيفية ترقيم ذرّات الكربون في حلقة البنزين.

مراجعة الدرس 2−1

1. سمّ المركَّبات التالية.

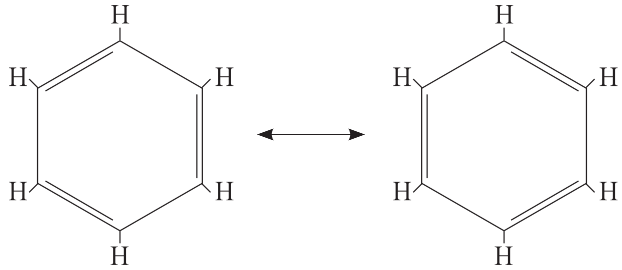


2. فسّر ظاهرة الرنين التي تحدث في جزيء البنزين مستخدمًا أشكاله التركيبية. كيف يؤثّر الرنين في تركيبه؟
3. تحتوي جزيئات الهكسان الحلقي والبنزين على ستّ ذرّات كربون مرتبطة في حلقة. اذكر بعض الفروق بين هذين المركَّبين.

105

إجابات أسئلة مراجعة الدرس 2−1

1. **(أ)** هكسان حلقي
   (ب) 1− إيثيل 3− بروبيل البنزين.
   (جـ) فنيل بنزين (ثنائي الفنيل).
   (د) 1 ، 4− ثنائي إيثيل البنزين أو بارا ثنائي إيثيل البنزين.
   (هـ) 1− فنيل البروبان
   (و) 2− فنيل البروبان
2. يمكن تمثيل البنزين بهذين الشكلين التركيبين اللذين يوضّحان الحالتين المتضادتين للمشاركة الإلكترونية بين كلّ ذرّتي كربون متجاورتين. وتمثيله بتركيبين متساويين وصحيحين هو الرنين وتُعتبَر الجزيئات التي تظهر الرنين أكثر ثباتًا من تلك التي لا تفعل.



3. الهكسان الحلقي هيدروكربون حلقي مشبَّع ويشبه الهيدروكربونات المشبَّعة الأخرى من حيث السلوك الكيميائي. أمّا البنزين فهو حلقة عطرية غير مشبَّعة والروابط الثنائية الظاهرية فيه تستقرّ بالرنين.

الدرس 2-2 الـهيدروكربونات المستخرجة من الأرض

الأهداف:
- يُحدِّد نوعين مهمين من الوقود الأحفوري المهمّ ويصف منشأهما.
- يُسمِّي بعض المنتجات التي يمكن الحصول عليها من الغاز الطبيعي والبترول.

صفحات التلميذ: من ص 106 إلى ص 109

صفحات الأنشطة: من ص 27 إلى ص 32

عدد الحصص: 2

الأدوات المستعملة: جهاز عرض

1. قدِّم وحفِّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلّاب يتفحّصون الصور الافتتاحية للدرس ويقرؤون الفقرة المرافقة لها واشرح لهم أن غلافنا الجوي لا يحتوي على الميثان أو الإيثان ثم اسأل:

- ما هي الغازات الموجودة في الغلاف الجوي للأرض؟ **[يحتوي غلافنا الجوي على 78% N_2 ، 21% O_2 ، 0.03% CO_2 وكمّيات ضئيلة جدًا من مركَّبات أخرى، ويتواجد بخار الماء H_2O فيه بكمّيات متغيرة]**

إجابة سؤال افتتاحية الدرس ص 106 في كتاب الطالب

[تنتج كائنات البناء الضوئي جميع المركَّبات الهيدروكربونية بطريقة مباشرة أو غير مباشرة باستخدامها الطاقة الشمسية لتثبيت الكربون الموجود في ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في سلاسل لتكوّن الهيدروكربونات ومشتقّاتها، ولذلك تُعتبَر هذه الكائنات التي عاشت وماتت منذ ملايين السنين إلى جانب الحيوانات البحرية والبرّية التي كانت تتغذّى عليها المصادر الرئيسية للهيدروكربونات على الأرض.]

2. علِّم وطبِّق

1.2 مناقشة

وضّح للطلّاب أنّ الغاز الطبيعي لم يكن يُعتبَر على قدر من الأهمّية وكان يُحرَق أمّا الآن فيعدّ من أهمّ المركَّبات العضوية. فسّر للطلّاب أن استخدامات الغاز الطبيعي تتزايد مع مرور الوقت وأنّ احتراقه ليس ملوِّثًا بقدر احتراق الوقود المُستعمَل في السيّارات.

2.2 ورشة عمل

قسّم الطلّاب ضمن مجموعة مؤلّفة من أربعة أو خمسة طلّاب واطلب إليهم إجراء بحث حول الطرق المختلفة لنقل الغاز الطبيعي.
دع المجموعات تعرض نتائج بحثها ثم اختر منها أهمّ طرق نقل الغاز وتوسّع في شرحِها.

الدرس 2-2 الـهيدروكربونات المستخرجة من الأرض
Hydrocarbons from the Earth

الأهداف العامة
- يُحدِّد نوعين مهميّن من الوقود الأحفوري ويصف منشأهما.
- يُسمِّي بعض المنتجات التي يمكن الحصول عليها من الغاز الطبيعي والبترول.

شكل (37)
كوكب زحل

هل تحتاج إلى الوقود؟ يمكنك، إن كنت على مقربة من تيتان، قمر زحل (شكل 37)، أن تستعمل بعضًا من الهيدركربونات العديدة الموجودة في غلافه الجوّي. أمّا على الأرض فاستخراج الوقود الهيدروكربوني أصعب. ما هي مصادر الهيدروكربونات على الأرض وكيف تتكوّن؟

1. الغاز الطبيعي Natural Gas

لقد تعلّمت الكثير عن الهيدروكربونات ولكن ثمّة سؤال واحد ما زلت تجهل إجابته وهو ما مصدر الهيدروكربونات؟ لكي تكتشف منشأ الهيدروكربونات، عليك التمعّن في ماضي الأرض البعيد، فكثير من طاقة العالم مصدرها حرق الوقود الأحفوري.
سُمِّي الوقود وقودًا أحفوريًا Fossil Fuels لأنّه مركَّبات عضوية ناتجة من انحلال الكائنات، التي دُفِنت في التربة منذ أزمنة بعيدة جدًا، تحت تأثير الحرارة والضغط.
فمنذ ملايين السنين، استقرّت الحيوانات البحرية المجهرية في قيعان المحيطات ودُفِنَت في الرواسب الموجودة فيها وتحوَّلت هذه الرواسب تحت تأثير الضغط ودرجة الحرارة وبفعل البكتيريا إلى البترول والغاز الطبيعي وهما من أهمّ أنواع الوقود الأحفوري.

106

3.2 مناقشة

فسِّر للطلّاب أنّ البترول أو النفط الخام المُستخرَج من الأرض يتكوّن من عدّة مكوّنات هيدروكربونية ذات درجات غليان مختلفة لذلك يُستَخدم برج التقطير التجزيئي لفصل هذه المكوِّنات بحسب درجة غليانها. وأشر إلى أنّ المكوِّنات التي تمتلك درجات الغليان الأعلى تبقى بالقرب من قاع البرج وتقلّ تدريجيًّا درجة غليان المكوّنات المستخلصة على طوله بحيث تتكثَّف المكوّنات التي تمتلك أدنى درجة غليان بالقرب من قمّته.

4. 2 نشاط

قسِّم الفصل إلى خمس مجموعات واطلب إلى كلّ مجموعة أن تعرض أحد النواتج التجزيئية المُستخلَصة من النفط الخام. يجب على كلّ مجموعة أن تحضِّر رسمًا بيانيًّا دائريًّا لنسب النواتج التجزيئية الموجودة في البترول الخام باستعمال الجدول (11) في كتاب الطالب، وتركِّز الانتباه على الشريحة التي تمثِّل الناتج التجزيئي الخاص بها. يجب أن يتضمّن عرضها أيضًا معلومات عن تركيب الناتج التجزيئي واستخدامات النواتج المشتقّة منه. يمكن للطلّاب استخدام بعض الصور الفوتوغرافية من المجلّات في عروضهم أو إعداد رسومات يدوية.

3. قيِّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب

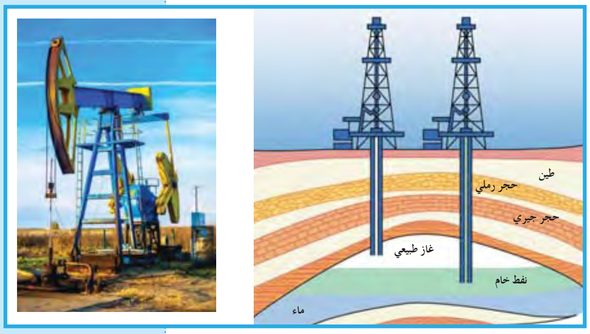
اطلب إلى الطلّاب أن يصفوا مصدر ومكوّنات الغاز الطبيعي ورواسب البترول. [مصدر البترول والغاز الطبيعي هو الكائنات البحرية المدفونة ضمن الرواسب الموجودة في قيعان المحيطات. ويحتوي الغاز الطبيعي والبترول في الأغلب على مركَّبات كربونية أليفاتية.]

اطلب إلى الطلّاب كتابة أسماء بعض المنتجات المصنوعة من الغاز الطبيعي، والبترول. [سوف تختلف الإجابات]

اسأل الطلّاب:

- ما هما أهمّ نوعين من أنواع الوقود الأحفوري؟ [البترول والغاز الطبيعي]
- ما هي مكوّنات الغاز الطبيعي؟ [80% ميثان، 10% إيثان، 4% بروبان و2% بيوتان].
- ما هو المكوّن الرئيسي للغاز الطبيعي؟ [غاز الميثان]
- ما اسم عملية تكرير النفط الخام؟ [التقطير التجزيئي]
- علامَ تعتمد عملية التقطير التجزيئي للنفط الخام؟ [على اختلاف درجة غليان مكوِّناته]

يتكوّن تركيب كلّ منهما بمعظمه من هيدروكربونات مستقيمة السلسلة أو أليفاتية. ويوضّح الشكل (38) كيف يتواجد الغاز الطبيعي غالبًا، في الصخور، مع البترول الخام أو في جيوب منفصلة.



شكل (38)
يتكوّن البترول والغاز الطبيعي في تكوينات جيولوجية تشبه القبّة في شكلها. ويحفر منقّبو البترول الآبار للوصول إلى طبقات الغاز ومن ثمّ البترول. في بعض الأحيان يكون الغاز تحت تأثير ضغط كبير، فيدفع البترول إلى أعلى داخل أنابيب البئر، ولكن غالبًا ما يُستخدَم الضخّ لدفع البترول إلى الخارج.

يُعتبَر **الغاز الطبيعي Natural Gas** مصدرًا مهمًّا للألكانات ذات الكتلة المولية المنخفضة إذ يتكوّن الغاز الطبيعي النموذجي من حوالى 80% ميثان و10% إيثان و4% بروبان و2% بيوتان. والنسبة المتبقية أي 4% تتكوّن من النيتروجين وهيدروكربونات ذوات كتل مولية أكبر من التي سبق ذكرها. ويحتوي الغاز الطبيعي أيضًا على كمّية صغيرة من الغاز النبيل الهيليوم ويُعتبَر أحد مصادره الرئيسية. وبالتالي غاز الميثان هو المكوّن الرئيسي للغاز الطبيعي، وهو متميّز كوقود يحترق على شكل لهب ساخن نظيف.

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(g)} + \text{حرارة}$$

يُعتبَر البروبان والبيوتان أيضًا وقودي تسخين جيّدين، يمكن فصلهما عن الغازات الأخرى بالإسالة. ويُباعان في الحالة السائلة في أسطوانات مضغوطة ويُطلَق عليهما اسم الغاز البترولي السائل.

تتطلّب الأكسدة التامة (أي الاحتراق التام) للهيدروكربونات قدرًا كافيًّا من الأكسجين للحصول على أكبر قدر من الحرارة. يعطي الاحتراق التام للهيدروكربونات لهبًا أزرق في حين يعطي الاحتراق غير التام لهبًا أصفر بسبب تكوّن جسيمات كربون صغيرة متوهّجة سرعان ما تترسّب كسناج عندما تبرد وينتج من الاحتراق غير التام أيضًا، إلى جانب ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء تصاعد أوّل أكسيد الكربون وهو غاز سامّ.

2.3 إعادة التعليم

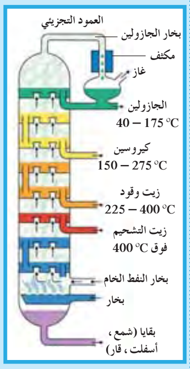
اعرض الشكل (39) في كتاب الطالب باستخدام جهاز عرض، وأحضر، إذا أمكن، عيّنة من النفط الخام إلى الفصل لكي يتعرّف الطلّاب لونه ورائحته. راجع معهم أنّ البترول هو خليط هيدروكربونات يتراوح طول سلسلة الكربون فيها بين 5 و40 وأنّ استخدامه بفعالية وإيجابية يتطلّب تكريره بطريقة تُعرَف بالتقطير التجزيئي. فسّر لهم أنّ التقطير التجزيئي عملية فيزيائية لفصل المركَّبات على أساس درجات حرارتها. واشرح أيضًا أنَّ المركَّبات ذات الكتل المولية الكبيرة بصفة عامّة تمتلك درجات غليان عالية لذا لا تغلي أولًا بل تتبع تلك ذات الكتل المولية الأصغر.
وضّح أن الوقود الأحفوري ناتج من مكوّنات عضوية ومجهرية حيوانية ونباتية استقرّت في قيعان البحار ودُفِنت تحت طبقات سميكة من الرواسب لملايين السنين.
اعرض الشكل (38) في كتاب الطالب الذي يبيّن مكان تواجد البترول والغاز تحت طبقات الأرض. واطلب إلى الطلّاب كتابة الصيغ التركيبية والجزيئية للغازات المتواجدة في الطبيعة من مثل الميثان، الإيثان، البروبان والبيوتان.

إجابات أسئلة مراجعة الدرس 2–2

1. البترول والغاز الطبيعي. تكوّن البترول والغاز الطبيعي من الحياة البحرية المدفونة تحت الرواسب الموجودة في قيعان المحيطات.
2. الميثان، وهو المكوّن الرئيسي للغاز الطبيعي، ناتج ثانوي من تحوّل الحياة البحرية إلى بترول والهيدروكربونات الأليفاتية مصدرها البترول.
3. $C_5H_{12} + 8O_2 \rightarrow 5CO_2 + 6H_2O$
   C و CO
4. تكرير البترول هو تقطير النفط الخام لفصله إلى نواتج تجزيئية، والتكسير الحراري هو عملية يمكن التحكّم بها لتكسير الهيدروكربونات ذات الكتل المولية الكبيرة التي لا يُستفاد منها صناعيًّا إلى هيدروكربونات ذات سلاسل أقصر ودرجات غليان منخفضة أي إلى هيدروكربونات ذات كتل مولية أصغر (جزيئات أصغر وأكثر نفعًا).
5. لأنّ المركّب المقطَّر يُنتَج على طول المدى ما بين أوّل درجة غليانه إلى حدّ درجة غليان المركّب المقطَّر بعده.

2. البترول Petroleum

المركَّبات العضوية الموجودة في البترول **Petroleum** أو **النفط الخام Crude Oil** أكثر تعقيدًا من تلك الموجودة في الغاز الطبيعي. معظم الهيدروكربونات الموجودة في البترول ألكانات مستقيمة ومتفرّعة السلسلة وتشمل أيضًا مركَّبات عطرية تحتوي على الكبريت، الأكسجين والنيتروجين.
عرف الإنسان البترول منذ عدّة قرون حيث كان يظهر فوق سطح الأرض في بعض المناطق. وقد توالى اكتشافه بدءًا من خمسينيات القرن الماضي في ولاية بنسلفانيا الأمريكيّة ومن ثمَّ في الشرق الأوسط، أوروبا والهند الشرقيّة. كما اكتشفت رواسب نفطيّة في أماكن أخرى من العالم.
يجب أن يُكرَّر النفط الخام قبل استخدامه تجاريًّا، وتتضمّن عملية التكرير تقطير تجزيئي يعتمد على اختلاف درجة غليان عناصره. تهدف العملية إلى تجزئته إلى نواتج تجزيئية يحتوي كلّ منها على عدّة هيدروكربونات مختلفة. يوضّح الشكل (39) والجدول (11) برج التقطير التجزيئي للبترول والنواتج التجزيئية التي لها استخدامات متنوِّعة.
كما يمكن استخدام التكسير الحراري وهو عملية يمكن التحكّم بها، لتكسير الهيدروكربونات ذات الكتل المولية الكبيرة، التي لا يُستفاد منها صناعيًّا، إلى هيدروكربونات ذات سلاسل قصيرة ودرجات غليان منخفضة، أي إلى جزيئات أصغر وأكثر نفعًا. يُستخدم في التكسير الحراري مادّة محفِّزة وحرارة. وبفضل هذه الطريقة بات البترول المصدر الرئيسي للموادّ الخام التي تدخل في صناعة الموادّ الكيميائية العضوية. على سبيل المثال، تُعتبَر الألكانات ذات الكتل المولية المنخفضة موادّ أوّلية لصناعة الدهانات والموادّ البلاستيكية.



شكل (39)
برج التقطير التجزيئي
تتمّ عملية التقطير التجزيئي بتسخين النفط الخام حتّى يتبخّر ويتصاعد في العمود التجزيئي. تتكثّف أوّلًا المركَّبات التي تمتلك أعلى درجات غليان بالقرب من القاع، بينما تتكثّف أجزاء المركَّبات التي تمتلك أدنى درجات غليان بالقرب من القمّة.

الناتج التجزيئي	تركيب سلاسل الكربون	مدى درجات الغليان (°C)	النسبة المئوية للنفط الخام
الغاز الطبيعي	C_1 إلى C_4	أقلّ من 20	%10
الإيثر البترولي (مذيب)	C_5 إلى C_6	من 30 إلى 60	
نفتا (مذيب)	C_7 إلى C_8	من 60 إلى 90	
جازولين	C_6 إلى C_{12}	من 40 إلى 175	%40
كيروسين	C_{12} إلى C_{15}	من 150 إلى 275	%10
زيت الوقود، الزيت المعدني	C_{15} إلى C_{18}	225 إلى 400	%30
زيت التشحيم، هلام البترول، شحوم، شمع البرافين، قار (أسفلت – زيت)	C_{16} إلى C_{24}	أعلى من 400	%10

جدول (11)
النواتج التجزيئية المستخلصة من النفط الخام

108

مراجعة الدرس 2–2

1. ما النوعين الأساسين للوقود الأحفوري؟ وكيف يتكوّن كلّ منهما؟
2. ما مصدر غاز الميثان، الهيدروكربونات مستقيمة السلسلة والهيدروكربونات العطرية؟
3. اكتب معادلة موزونة للاحتراق التام للبنتان. ما النواتج الأخرى التي يمكن أن تتكوّن إذا كان الاحتراق غير تام؟
4. عرّف عمليتا التقطير التجزيئي للنفط والتكسير الحراري.
5. فسّر استنادًا على قراءتك للجدول (11)، لماذا يستخدم مدى درجات الغليان ولا تستخدم درجة غليان كلّ مركّب.

فقرة إثرائية

علاقة الكيمياء بعلم البيئة

انسكاب النفط

تتسبّب البقع النفطية المتسرّبة من السفن الناقلة للبترول بتدمير الكائنات الحية البحرية الهشّة، ونظرًا لارتفاع تكاليف معالجة التلوّث النفطي وصعوبتها، يحاول العلماء تطوير موادّ ماصّة تُرشّ على بقع النفط فتتشبّع به ويسهل إخراجها من الماء. تتضمّن الوسائل المستخدمة استغلال الهندسة الوراثية للبكتيريا التي تأكل البقع، وتصميم ناقلات البترول مزدوجة الجدران بحيث تكون أقلّ عرضة لتسريب البترول عند حدوث أيّ طارئ.

فقرة إثرائية

معلومات إضافية

يمثّل احتياطي النفط في الكويت 8% من الاحتياط العالمي. وهي الدولة الثالثة بالترتيب في منظَّمة الدول المصدِّرة للبترول من حيث الإنتاج. يتركَّز معظم الاحتياط البترولي فيها من بئر برقان (Burgan) الذي يُعتبَر ثاني أكبر بئر تقليدي في العالم ولم ينضب منذ سنة 1938.

	2010	2011
إنتاج	414	478
استهلاك	446	502
احتياطي مثبّت (تريليون قدم مكعّب)	64	64

إنتاج واستهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت بوحدة قدم مكعّب ft^3

2012	2011
936	936

قدرة مصافي البترول في الكويت (ألف برميل يوميًّا)

109

مراجعة الوحدة الخامسة

الملّخص

وجّه السؤال التالي لمساعدة الطلّاب على تلخيص المعلومات الواردة في الوحدة:

◄ ما أوجه الاختلاف بين الهيدروكربونات المشبَّعة، تلك غير المشبَّعة وتلك العطرية؟ أعطِ مثالًا على كلّ منها واذكر الأمثلة بترتيب زيادة الثبات الكيميائي وبترتيب زيادة درجة الغليان، واشرح اتجاه زيادة درجات حرارة الغليان في ضوء أنواع قوى التجاذب بين الجزيئات التي تشدّ جزيئات الهيدروكربونات إلى بعضها بعضًا في الحالة السائلة.

إضافة

دورة الكربون هي من أكثر الدورات أهمّية في الكون، حيث يتحوّل الكربون من غاز جوِّي (غاز موجود في الجوّ) إلى مادّة صلبة مغذِّية، ثم يعود مرّة أخرى إلى حالته السابقة كغاز جوّي. اطلب إلى الطلّاب إجراء بحث عن دورة الكربون وتصميم رسم تخطيطي يوضِّح حركة الكربون بين الحياة البحرية والبرّية. ثمّ اطلب إليهم وصف تأثير الأنشطة البشرية في دورة الكربون واسألهم متى بدأ هذا التأثير.

مراجعة الوحدة الخامسة

المفاهيم

أرين	Arenes	ألكان	Alkane
ألكان متفرّع السلسلة	Branched−Chain Alkane	ألكان مستقيم السلسلة	Straight−Chain Alkane
ألكاين	Alkyne	ألكين	Alkene
بترول	Petroleum	رنين	Resonance
سلاسل متشابهة	Homologous Series	غاز طبيعي	Natural Gas
مجموعة الألكيل	Alkyl Group	مجموعة بديلة	Substituent
مركَّب أليفاتي	Aliphatic compound	مركَّب عضوي	Organic Compound
مركَّب عطري	Aromatic Compound	نفط الخام	Crude Oil
هيدروكربون	Hydrocarbon	هيدروكربون حلقي	Cyclic Hydrocarbon
هيدروكربون غير مشبّع	Unsaturated Hydrocarbon	هيدروكربون مشبّع	Saturated Hydrocarbon
وقود أحفوري	Fossil Fuel		

الأفكار الرئيسية للوحدة

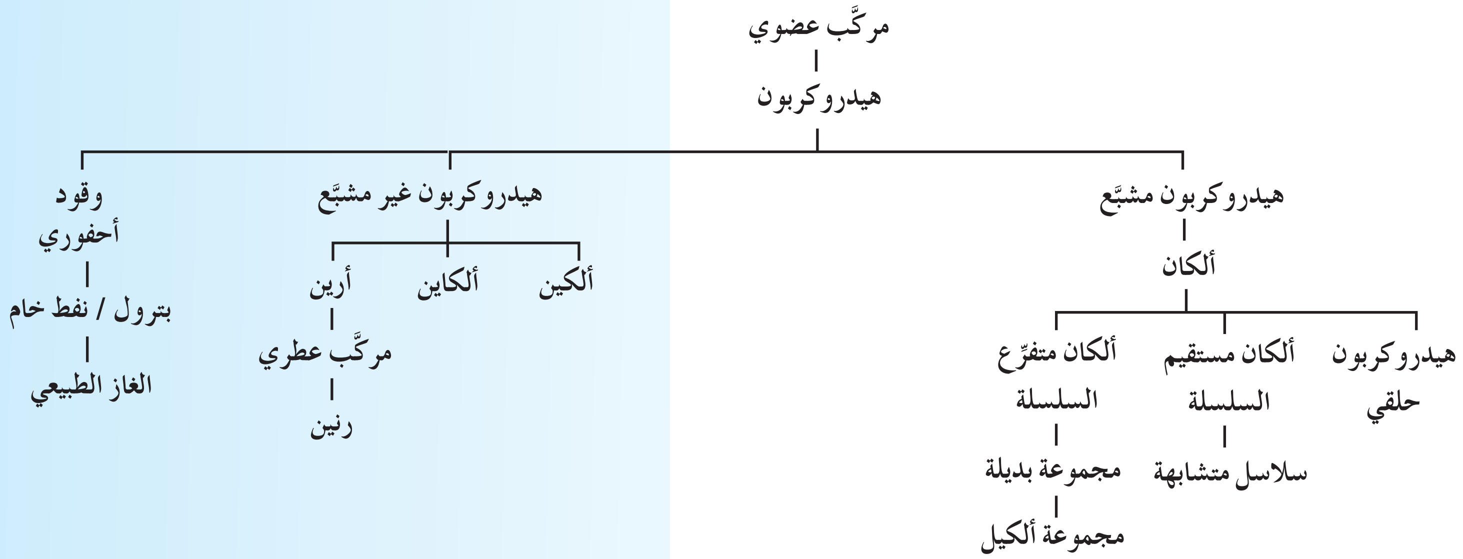
(1–1) مركَّبات الكربون العضوية

- صُنّفت المركَّبات العضوية إلى مركَّبات مشبَّعة ومركَّبات غير مشبَّعة بحسب أنواع الروابط بين ذرّات الكربون فيها.
- تُعبِّر الصيغة الأوَّلية لمركَّب ما عن عدد ذرّاته بأصغر عدد صحيح وتمثّل الصيغة الجزيئية مكوّنات جزيء هذا المركَّب. يمكن الحصول على الصيغة الجزيئية بضرب الصيغة الأوَّلية بمضاعف "n".

(1–2) الهيدروكربونات المشبَّعة

- الهيدروكربونات هي مركَّبات تحتوي فقط على ذرّات كربون وهيدروجين، وتحتوي الألكانات أو الهيدروكربونات المشبَّعة على روابط تساهمية (C – C) أحادية فقط.
- تحتوي الهيدروكربونات مستقيمة السلسلة على ذرّات كربون متتالية. وتتكوّن الهيدروكربونات متفرّعة السلسلة عند إضافة مجموعة الألكيل بديلة واحدة أو أكثر إلى الهيدروكربون مستقيم السلسلة.
- يُفهَم ضمنيًّا في الصيغة التركيبية المكثّفة وجود روابط بين الذرّات على الرغم من عدم رسمها بالتفصيل.
- تتألّف أسماء الألكانات من قسمين يدلّ الأوّل على عدد ذرّات الكربون والثاني ثابت لكلّ مركَّبات هذه المجموعة وهو المقطع «ان».

110



(1–3) الهيدروكربونات غير المشبَّعة

- الألكينات هي هيدروكربونات غير مشبَّعة تحتوي على الأقلّ على رابطة تساهمية ثنائية واحدة (C = C)
- الألكاينات هي هيدروكربونات غير مشبَّعة تحتوي على الأقلّ على رابطة تساهمية ثلاثية واحدة (C ≡ C)
- تتألّف أسماء الألكينات من قسمين يدلّ الأوّل على عدد ذرّات الكربون والثاني ثابت لكلّ مركَّبات هذه المجموعة وهو المقطع «ين». يختلف المقطع الثاني إن كان المركَّب من الألكاينات ويصبح «اين».
- تقوم الهيدروكربونات المشبَّعة وغير المشبَّعة بتفاعلات الاحتراق بوجود كمّية وافرة من الأكسجين أو الهواء الجوّي في حين تتفرّد الهيدروكربونات غير المشبَّعة بقيامها بتفاعلات إضافة (الهيدروجين، الكلور، الماء إلخ.)
- تُسمَّى المركَّبات التي تمتلك التركيب العنصري (الكيميائي) نفسه وصيغ تركيبية مختلفة الأيزوميرات، وتنقسم الأيزوميرات إلى مجموعتين هما الأيزوميرات الفراغية والأيزوميرات هيكلّية.

(1–2) الحلقات الهيدروكربونيّة

- تحتوي الهيدروكربونات العطرية أو الأرينات على البنزين الحلقي.
- بسبب وجود روابط تساهمية أحادية وروابط تساهمية ثنائية في حلقة البنزين يحدث الرنين وكنتيجة لذلك، يُعتَبر البنزين أقلّ نشاطًا من الألكينات العادية.

(2–2) الهيدروكربونات المُستخرَجة من الأرض

- الوقود الأحفوري، أي البترول والغاز الطبيعي، مصدره الكائنات البحرية المدفونة في ترسيبات قيعان المحيطات أو أشجار المستنقعات وطحالبها المدفونة في باطن الأرض منذ ملايين السنين التي تعرّضت لتأثيرات الحرارة والضغط والبكتيريا.

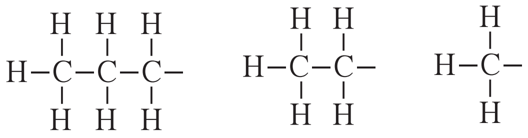
خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المفاهيم الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة تُنظّم الأفكار الرئيسية التي جاءت في الوحدة:

هيدروكربون مشبّع
أرين
ألكان مستقيم السلسلة
ألكاين
هيدروكربون غير مشبّع
ألكان
ألكان متفرّع السلسلة
هيدروكربون
مركّب عضوي
وقود أحفوري
هيدروكربون حلقي
ألكين
الغاز الطبيعي
مجموعة بديلة
سلاسل متشابهة
مجموعة الألكيل
بترول
رنين
مركّب عطري

111

تحقق من فهمك

1. الصيغة الأوّلية هي الصيغة التي تعبّر عن عدد ذرّات المركّب بأصغر رقم صحيح.
الصيغة الجزيئية هي الصيغة الواقعية للمركّب التي تمثّل مكوّنات المركّب.
2. بنتان: $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$
هكسان: $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$
3. **(أ)** بروبان
(ب) أوكتان
(جـ) بنتان
4. 
ميثيل إيثيل بروبيل
5. **(أ)** المقطع «ثنائي» يعني ارتباط مجموعتي ميثيل بالسلسلة الأساسية، وعلى ذلك يجب تحديد مواقع هاتين المجموعتين بأرقام.
(ب) الاسم الصحيح بنتان. السلسلة الكربونية الأطول قد أخطأ تحديدها.
(جـ) الاسم الصحيح 2– ميثيل البيوتان. لم يحدِّد رقم ذرّة الكربون التي اتصلت بها المجموعة البديلة.
(د) الاسم الصحيح 3– ميثيل البنتان. السلسلة الكربونية الأطول قد أخطأ تحديدها.
6. **(أ)** 2– ميثيل البيوتان
(ب) 2، 3– ثنائي ميثيل البيوتان
(جـ) 3– ميثيل الهكسان
7. الروابط بين الكربون غير قطبية لذلك تُعتبَر الألكانات غير قطبية.
8. المقطع «ميث» يعني ذرّة كربون مفردة (أحادية) واللاحقة «ين» تعني وجود رابطة تساهمية ثنائية بين ذرّتي كربون.
9. **(أ)** بروبين
(ب) 4– ميثيل – 1 – بنتين
(جـ) 3– إيثيل – 2 – ميثيل – 2 – بنتين
(د) 1– هكسين

تحقق من فهمك

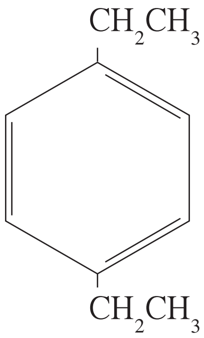
1. عرّف الصيغة الأوّلية والصيغة الجزيئية.
2. اكتب الصيغ التركيبية المكثّفة للبنتان والهكسان.
3. اذكر أسماء الألكانات ذات الصيغ التركيبية والتركيبية المكثَّفة التالية:
(أ) $CH_3CH_2CH_3$ (ب) $CH_3(CH_2)_6CH_3$ (جـ) H–C–C–C–C–C–H (مع ذرّات H أعلى وأسفل كل ذرّة C)
4. اكتب الصيغ التركيبية للمجموعات الألكيلية المشتقّة من الميثان والإيثان والبروبان.
5. لماذا تُعتبر الأسماء التالية غير صحيحة؟ وما الأسماء الصحيحة؟
(أ) 2 – ثنائي ميثيل البنتان (ب) 1، 3 – ثنائي ميثيل البروبان
(جـ) ميثيل البيوتان (د) 3، 4 – ثنائي ميثيل البيوتان
6. اكتب أسماء المركّبات التالية بحسب نظام IUPAC.
(أ) $CH_3-CH(CH_3)-CH_2(CH_3)$ (ب) $CH_3-CH(CH_3)-CH(CH_3)-CH_3$ (جـ) $CH_3-CH(CH_2CH_3)-CH_2-CH_2(CH_3)$
7. لماذا تُعتبَر جزيئات الألكانات غير قطبية؟
8. اشرح لماذا لا يمكنك كتابة صيغة تركيبية للميثين.
9. اكتب الأسماء المركّبات التالية بحسب نظام IUPAC:
(أ) $CH_3CH = CH_2$ (ب) $CH_3CH(CH_3)CH_2CH = CH_2$
(جـ) $(CH_3)_2C = C(CH_2CH_3)_2$ (د) $CH_2 = CHCH_2CH_2(CH_2CH_3)$
10. اكتب الصيغة التركيبية لكلّ مركّب ممّا يلي:
(أ) بارا – ثنائي إيثيل البنزين (ب) 2 – ميثيل – 3 – فنيل البنتان
11. اكتب معادلة توضّح الاحتراق التام للأوكتان (C_8H_{18}).
12. اذكُر أسماء المركّبات الثلاثة التي تلي الإيثان من حيث عدد ذرّات الكربون.
13. قارن بين التراكيب الجزيئية التالية. ما الشكل الأكثر ثباتًا؟ ولماذا؟

أسئلة مراجعة الوحدة 5

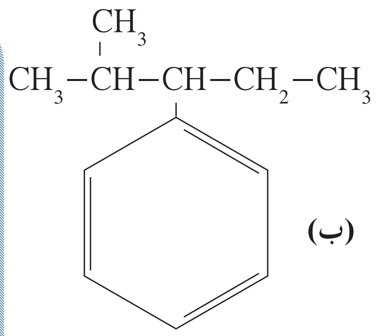
112

.10

(أ)



(ب)



.11 $C_8H_{18} + \frac{25}{2} O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O$

.12 بروبان، بيوتان وبنتان

.13 التركيب الموجود على أقصى اليمين (الأوّل) هو الأكثر ثباتًا بسبب حدوث الرنين داخل الحلقة.

.14 (أ)

.15 (أ)

.16 (ب)

.17 (أ)

اختبر مهاراتك

.1 $CH_2 = CHCH_2CH_2CH_3$

1− بنتين

$CH_3CH = CHCH_2CH_3$

2− بنتين

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3-C = CH-CH_3 \end{array}$$

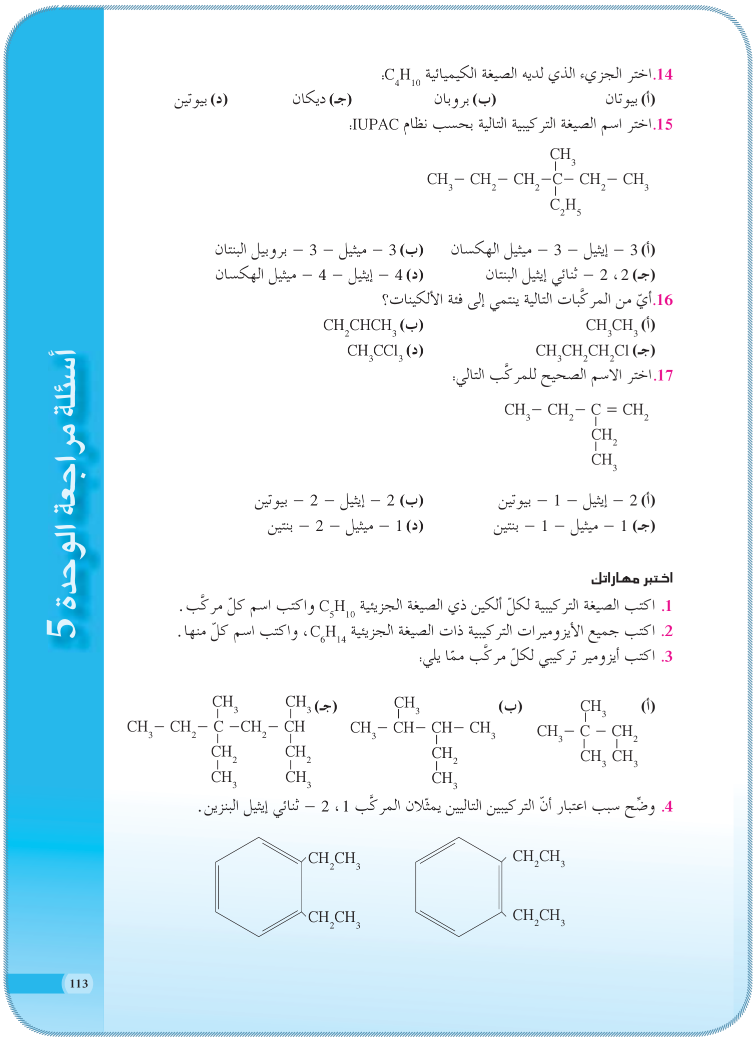
2− ميثيل − 2− بيوتين

$$\begin{array}{c} CH_2 = C-CH_2-CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

2− ميثيل − 1 بيوتين

$$\begin{array}{c} CH_2 = CH-CH-CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

3− ميثيل − 1− بيوتين



14.اختر الجزيء الذي لديه الصيغة الكيميائية C_4H_{10}:

(أ) بيوتان (ب) بروبان (جـ) ديكان (د) بيوتين

15.اختر اسم الصيغة التركيبية التالية بحسب نظام IUPAC:

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3-CH_2-CH_2-C-CH_2-CH_3 \\ | \\ C_2H_5 \end{array}$$

(أ) 3 − إيثيل − 3 − ميثيل الهكسان (ب) 3 − ميثيل − 3 − بروبيل البنتان

(جـ) 2 ، 2 − ثنائي إيثيل البنتان (د) 4 − إيثيل − 4 − ميثيل الهكسان

16.أيّ من المركّبات التالية ينتمي إلى فئة الألكينات؟

(أ) CH_3CH_3 (ب) CH_2CHCH_3

(جـ) $CH_3CH_2CH_2Cl$ (د) CH_3CCl_3

17.اختر الاسم الصحيح للمركّب التالي:

$$\begin{array}{c} CH_3-CH_2-C = CH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

(أ) 2 − إيثيل − 1 − بيوتين (ب) 2 − إيثيل − 2 − بيوتين

(جـ) 1 − ميثيل − 1 − بنتين (د) 1 − ميثيل − 2 − بنتين

اختبر مهاراتك

1. اكتب الصيغة التركيبية لكلّ ألكين ذي الصيغة الجزيئية C_5H_{10} واكتب اسم كلّ مركّب.
2. اكتب جميع الأيزوميرات التركيبية ذات الصيغة الجزيئية C_6H_{14}، واكتب اسم كلّ منها.
3. اكتب أيزومير تركيبي لكلّ مركّب ممّا يلي:

(أ) $CH_3-C(CH_3)(CH_3)-CH_2-CH_3$

(ب) $CH_3-CH(CH_3)-CH(CH_2CH_3)-CH_3$

(جـ) $CH_3-CH_2-C(CH_3)(CH_2CH_3)-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$

4. وضِّح سبب اعتبار أنّ التركيبين التاليين يمثّلان المركّب 1، 2 − ثنائي إيثيل البنزين.

CH2CH3 CH2CH3

CH2CH3 CH2CH3

113

أسئلة مراجعة الوحدة 5

.2 توجد خمسة أيزوميرات تركيبية للصيغة الجزيئية C_6H_{14}.

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3-C-CH_2-CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

2، 2− ثنائي ميثيل البيوتان

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

هكسان

$$\begin{array}{c} CH_3\ \ CH_3 \\ |\ \ \ \ | \\ CH_3-CH-CH-CH_3 \end{array}$$

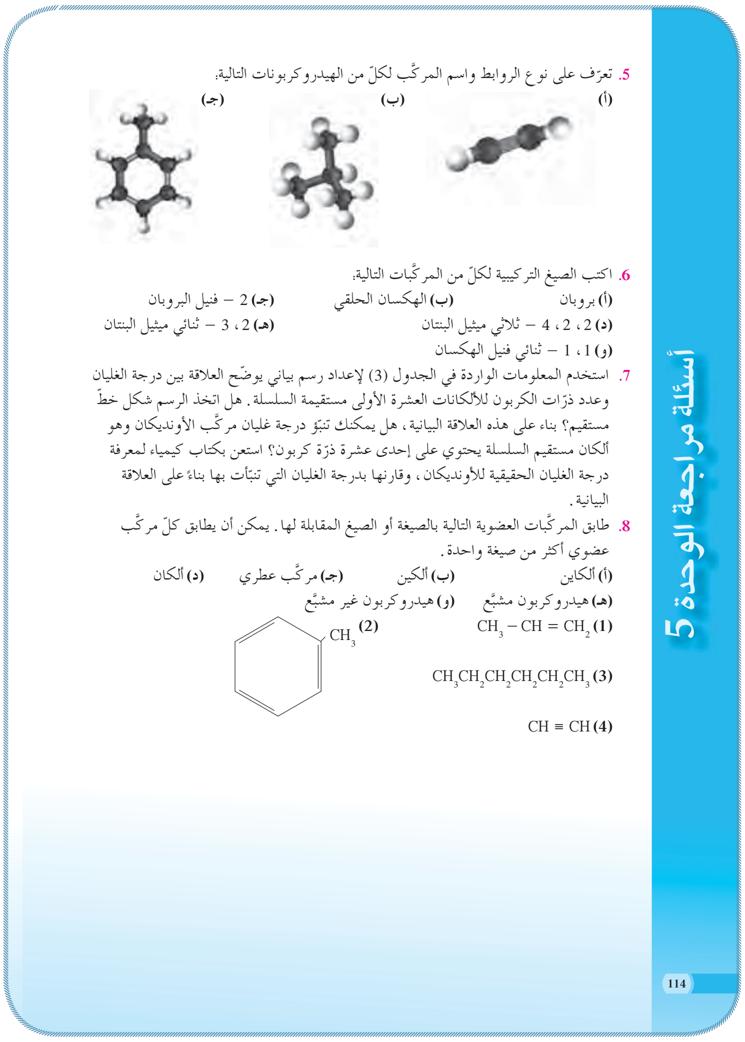
2 ، 3− ثنائي مثيل البيوتان

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3-CH-CH_2-CH_2-CH_3 \end{array}$$

2− ميثيل البنتان

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3-CH_2-CH-CH_2-CH_3 \end{array}$$

3− ميثيل البنتان



5. تعرّف على نوع الروابط واسم المركَّب لكلّ من الهيدروكربونات التالية:

(أ) (ب) (جـ)

6. اكتب الصيغ التركيبية لكلّ من المركَّبات التالية:

(أ) بروبان (ب) الهكسان الحلقي (جـ) 2 – فنيل البروبان

(د) 2 ، 2 ، 4 – ثلاثي ميثيل البنتان (هـ) 2 ، 3 – ثنائي ميثيل البنتان

(و) 1 ، 1 – ثنائي فنيل الهكسان

7. استخدم المعلومات الواردة في الجدول (3) لإعداد رسم بياني يوضّح العلاقة بين درجة الغليان وعدد ذرّات الكربون للألكانات العشرة الأولى مستقيمة السلسلة. هل اتخذ الرسم شكل خطّ مستقيم؟ بناء على هذه العلاقة البيانية، هل يمكنك تنبّؤ درجة غليان مركَّب الأونديكان وهو ألكان مستقيم السلسلة يحتوي على إحدى عشرة ذرّة كربون؟ استعن بكتاب كيمياء لمعرفة درجة الغليان الحقيقية للأونديكان، وقارنها بدرجة الغليان التي تنبّأت بها بناءً على العلاقة البيانية.

8. طابق المركَّبات العضوية التالية بالصيغة أو الصيغ المقابلة لها. يمكن أن يطابق كلّ مركَّب عضوي أكثر من صيغة واحدة.

(أ) ألكاين (ب) ألكين (جـ) مركَّب عطري (د) ألكان

(هـ) هيدروكربون مشبَّع (و) هيدروكربون غير مشبَّع

(1) $CH_3 - CH = CH_2$

(2) CH_3

(3) $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$

(4) $CH \equiv CH$

114

3. سوف تختلف الإجابات

(أ) يُقبَل أيّ مركَّب يحتوي على 6 ذرّات كربون و14 ذرّة هيدروجين.

(ب) يُقبَل أيّ مركَّب يحتوي على 7 ذرّات كربون و16 ذرّة هيدروجين.

(جـ) يُقبَل أيّ مركَّب يحتوي على 11 ذرّة كربون و24 ذرّة هيدروجين.

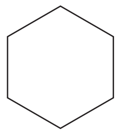
4. نظرًا لأن المركَّب يحدث فيه الرنين، يمكن تمثيله بهاتين الصيغتين التركيبيتين المختلفتين.

5. **(أ)** رابطتان تساهميتان أحاديتان ورابطة تساهمية ثلاثية.
اسم المركَّب إيثاين

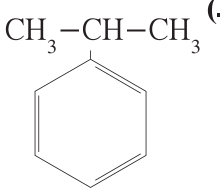
(ب) جميعها روابط تساهمية أحادية. اسم المركَّب 2 – ميثيل بروبان

(جـ) روابط تساهمية أحادية داخل المجموعات البديلة وبين المجموعات البديلة والحلقة، وروابط عطرية (روابط أحادية وثنائية بالتبادل) داخل الحلقة. اسم المركَّب 1– ميثيل بنزين.

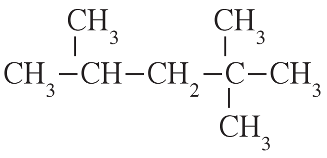
6. **(أ)** $CH_3-CH_2-CH_3$ **(ب)**



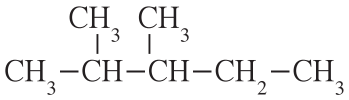
(جـ)



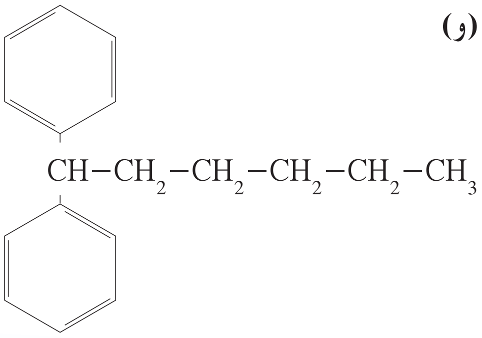
(د)



(هـ)

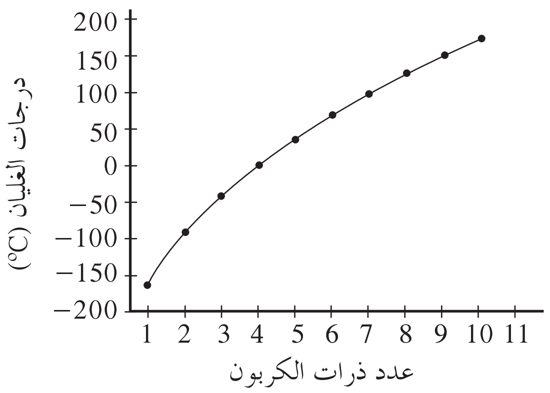


(و)



أسئلة مراجعة الوحدة 5

.7



تساوي درجة غليان الأونديكان 196 °C

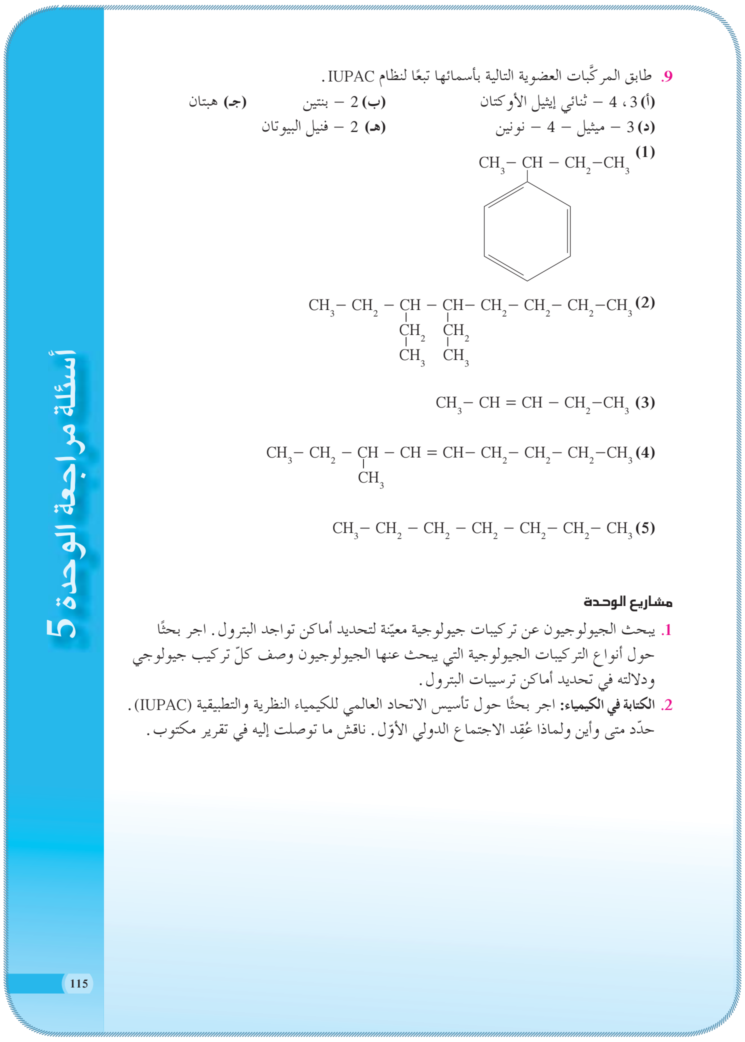
.8 **(أ)** (4) **(ب)** (1)
(جـ) (2) **(د)** (3)
(هـ) (3) **(و)** (1)، (2)، (4)

.9 **(أ)** (2)
(ب) (3)
(جـ) (5)
(د) (4)
(هـ) (1)

مشاريع الوحدة

.1 يبحث الجيولوجيون، لتحديد أماكن تواجد البترول، عن تركيبات الصخور الرسوبية التي تحجز النفط وتسمح له بالتجمّع بكميّات كبيرة. على سبيل المثال، يوجد البترول غالبًا بالقرب من القبب الملحية وفي التصدّعات.

.2 عقد علماء مؤتمر IUPAC في مدينة جنيف في سويسرا في عام 1882 وكان هدفهم وضع قواعد قياسية لتوحيد تسمية المركّبات العضوية.



.9 طابق المركّبات العضوية التالية بأسمائها تبعًا لنظام IUPAC.

(أ) 3، 4 – ثنائي إيثيل الأوكتان **(ب)** 2 – بنتين **(جـ)** هبتان
(د) 3 – ميثيل – 4 – نونين **(هـ)** 2 – فنيل البيوتان

(1) $CH_3-CH-CH_2-CH_3$ (مع حلقة بنزين على ذرة CH)

(2) $CH_3-CH_2-CH(CH_2CH_3)-CH(CH_2CH_3)-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

(3) $CH_3-CH=CH-CH_2-CH_3$

(4) $CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH=CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

(5) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

مشاريع الوحدة

.1 يبحث الجيولوجيون عن تركيبات جيولوجية معيّنة لتحديد أماكن تواجد البترول. اجر بحثًا حول أنواع التركيبات الجيولوجية التي يبحث عنها الجيولوجيون وصف كلّ تركيب جيولوجي ودلالته في تحديد أماكن ترسيبات البترول.

.2 **الكتابة في الكيمياء:** اجر بحثًا حول تأسيس الاتحاد العالمي للكيمياء النظرية والتطبيقية (IUPAC). حدّد متى وأين ولماذا عُقِد الاجتماع الدولي الأوّل. ناقش ما توصلت إليه في تقرير مكتوب.

أسئلة مراجعة الوحدة 5

115

نشاط 1 التفاعل بين فلزّ وكاتيون فلزّ آخر

الملاحظة

		a	b	c	
		$Cu(NO_3)_{2(aq)}$	$FeSO_{4(aq)}$	$Pb(NO_3)_{2(aq)}$	$Zn(NO_3)_{2(aq)}$
	$Cu_{(s)}$	لا تفاعل	لا تفاعل	لا تفاعل	لا تفاعل
d	$Fe_{(s)}$	راسب	لا تفاعل	راسب	لا تفاعل
e	$Pb_{(s)}$	راسب	لا تفاعل	لا تفاعل	لا تفاعل
f	$Zn_{(s)}$	راسب	راسب	راسب	لا تفاعل

جدول 1

التحليل والاستنتاج

1. عند حدوث تفاعل بين فلزّات الحديد والرصاص والخارصين من جهة وكاتيون النحاس (II) من جهة أخرى تبهت زرقة المحلول المائي الذي يحتوي على هذه الكاتيونات إلى أن تختفي.
2. $M^{n+}_{(aq)} + ne^- \rightarrow M_{(s)}$
   (a) تكوّن راسب النحاس $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$
   (b) تكوّن راسب الحديد $Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$
   (c) تكوّن راسب الرصاص $Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Pb_{(s)}$
3. تفاعلات اختزال لأنّ كاتيونات الفلزّات تؤدّي دور عامل مؤكسد
4. كلا، فلزّات الحديد Fe، الرصاص Pb والخارصين Zn تؤدّي دور عامل مختزل.
5. (d) $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$
   (e) $Pb_{(s)} \rightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^-$
   (f) $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$
6. (a) و (d) $Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$
   (a) و (e) $Pb_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$
   (a) و (f) $Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$
   (b) و (f) $Zn_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)}$
   (c) و (d) $Fe_{(s)} + Pb^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Pb_{(s)}$
   (c) و (f) $Zn_{(s)} + Pb^{2+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Pb_{(s)}$
7. من الملاحظ أنّ بعض الفلزّات لا يتفاعل في بعض المحاليل.
   يعود ذلك إلى أنّ الفلزّ الذي يتكوّن منه الكاتيون الموجود في المحلول أكثر نشاطًا من الفلزّ الذي يغمره المحلول.
   بمعنى آخر، يحدث التفاعل إن كان فلزّ الشريحة أكثر نشاطًا (تمتلك قابلية أكبر لفقدان الإلكترونات) من كاتيون الفلزّ الموجود في محلول مائي ما.

8. يمكن استنتاج أنّ الخارصين أكثر نشاطاً من الحديد والحديد أكثر نشاطاً من الرصاص الذي بدوره أكثر نشاطاً من النحاس.

Cu — Pb — Fe — Zn →

تزايد قابلية فقدان الإلكترونات

9. نعم، يمكن إضافة 5–10 نقاط من محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى الخليّة التي حدث فيها تفاعل (تكوّن راسب) بعد سحب الشرائح.

تحديد Fe^{2+}: $Fe^{2+}_{(aq)} + 2OH^{-}_{(aq)} \rightarrow Fe(OH)_{2(s)}\downarrow$ راسب أخضر اللون

تحديد Zn^{2+}: $Zn^{2+}_{(aq)} + 2OH^{-}_{(aq)} \rightarrow Zn(OH)_{2(s)}\downarrow$ راسب هلامي أبيض اللون

تحديد Pb^{2+}: $Pb^{2+}_{(aq)} + 2OH^{-}_{(aq)} \rightarrow Pb(OH)_{2(s)}\downarrow$ راسب أبيض اللون

نشاط 2 جهود الاختزال

الملاحظة

الخليّة الجلفانية	E°_{cell} (V)	$E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn}$ (V)	$E^{\circ}_{M^{n+}/M}$ (V)
Cu – Zn	1.1	−0.76	0.34
Fe – Zn	0.32	−0.76	−0.44
Pb – Zn	0.63	−0.76	−0.13

جدول 2

التحليل والاستنتاج

1. الخليّة الخارصين – النحاس:

الأنود: أكسدة $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$

الكاثود: اختزال $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$

الخليّة الخارصين – الحديد:

الأنود: أكسدة $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$

الكاثود: اختزال $Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Fe_{(s)}$

الخليّة الخارصين – الرصاص:

الأنود: أكسدة $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$

الكاثود: اختزال $Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Pb_{(s)}$

2. يشكّل فلزّ الخارصين الأنود في كلّ الخلايا لذلك يتأكسد ليكوّن كاتيون الخارصين Zn^{2+} بحسب المعادلة التالية:
$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$.

يعود ذلك إلى قابليته لفقدان الإلكترونات أكثر من الفلزّات التالية: النحاس Cu، الحديد Fe، الرصاص Pb.

يثبت جهد أنصاف الخلايا ذلك فقابلية الفلزّ لفقدان الإلكترونات تزيد كلّما تدنّى جهد اختزال الفلزّ $E^{\circ}_{M^{n+}/M}$.

3. الخليّة Cu−Zn:

$$\ominus\ Zn_{(s)}\ |\ [Zn^{2+}]_{(aq)}\ ||\ [Cu^{2+}]_{(aq)}\ |\ Cu_{(s)}\ \oplus$$

الخليّة Fe−Zn:

$$\ominus\ Zn_{(s)}\ |\ [Zn^{2+}]_{(aq)}\ ||\ [Fe^{2+}]_{(aq)}\ |\ Fe_{(s)}\ \oplus$$

الخليّة Pb−Zn:

$$\ominus\ Zn_{(s)}\ |\ [Zn^{2+}]_{(aq)}\ ||\ [Pb^{2+}]_{(aq)}\ |\ Pb_{(s)}\ \oplus$$

4. بتطبيق المعادلة التالية: $E^o_{cell} = E^o_{cathode} - E^o_{anode}$

يمكن حساب $E^o_{cathode}$: $E^o_{cathode} = E^o_{cell} + E^o_{anode}$

بالعودة إلى الجدول (2) : $E^o_{cell} = E^o_{Fe^{2+}/Fe} - E^o_{Zn^{2+}/Zn} = 0.32\ V$

$$E^o_{cathode} = E^o_{Fe^{2+}/Fe} = 0.32 - 0.76 = -0.44\ V$$

5. يعود ذلك جزئيًّا إلى تكوّن أكسيد على أحد الأقطاب نتيجة تفاعل سريع الحدوث عند الفلزّات التي تتأكسد بسهولة.
مثلاً: يساوي جهد خليّة الخارصين − النحاس 1.1 V إلّا أنّه يقلّ في خلال إحدى التجارب عن هذه القيمة بسبب تكوّن أكسيد الخارصين.

ويمكن إزالة هذا الأكسيد بواسطة الصوف الفولاذي الذي يُستخدَم في صقل المعادن.

1. بالاستعانة بجدول جهود الاختزال القياسية نعرف جهود أنصاف الخلايا التالية:

$$E^o_{Al^{3+}/Al} = -1.66\ V$$

$$E^o_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44\ V$$

$$E^o_{Cu^{2+}/Cu} = 0.34\ V$$

الخلايا الجلفانية التي تمتلك جهودًا موجبة هي:

خليّة الألمنيوم − الحديد

$$\ominus\ Al\ |\ [Al^{3+}]\ ||\ [Fe^{2+}]\ |\ Fe\ \oplus$$

$$E^o_{cell} = E^o_{cathode} - E^o_{anode}$$

$$E^o_{cell} = -0.44 + 1.66 = 1.22\ V$$

خليّة الألمنيوم − النحاس

$$\ominus\ Al\ |\ [Al^{3+}]\ ||\ [Cu^{2+}]\ |\ Cu\ \oplus$$

$$E^o_{cell} = 0.34 + 1.66 = 2.00\ V$$

خليّة الحديد − النحاس

$$\ominus\ Fe\ |\ [Fe^{2+}]\ ||\ [Cu^{2+}]\ |\ Cu\ \oplus$$

$$E^o_{cell} = 0.34 + 0.44 = 0.78\ V$$

2. $E^o_{Al-Fe} = 1.22\ V$

و $E^o_{Fe-Cu} = 0.78\ V$

يساوي المجموع: $E^o = 1.22\ V + 0.78\ V = 2.00\ V$

بالمقارنة مع النتائج السابقة:

$$E^o_{Al-Cu} = E^o_{Al-Fe} + E^o_{Fe-Cu}$$

نشاط 3 التحليل الكهربائي للماء بوجود أزرق البروموثيمول

الملاحظة

	الكاثود	الأنود
لون المحلول	أزرق	أصفر
اسم الغاز الناتج	غاز الهيدروجين	غاز الأكسجين
طبيعة الوسط	قاعدي	حمضي

جدول 3

التحليل والاستنتاج

1. نعم، جعل الماء المقطّر موصلًا للكهرباء.
2. أصبح أصفر اللون ما يشير إلى أن المحيط أصبح حمضيًّا بسبب الكاتيون H^+.
3. أصبح أزرق اللون ما يشير إلى أن المحيط أصبح قاعديًّا بسبب الأنيون OH^-.
4. نعم كمّيتها أكبر عند الكاثود، بسبب تكوّن غاز الهيدروجين.
5. أنود: $2H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$
   كاثود: $4H^+_{(aq)} + 4e^- \longrightarrow 2\ H_{2(g)}$
6. $2H_2O_{(l)} \longrightarrow O_2 + 2H_{2(g)}$
7. ماصّ للحرارة

إرشادات:

من المهمّ تحذير الطلّاب من:

خطر الاستخفاف بمصدر الطاقة الصغير المستعمل إذ أنّه كاف ليسبّب صعق كهربائي.

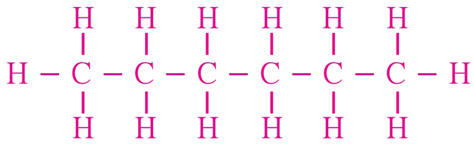
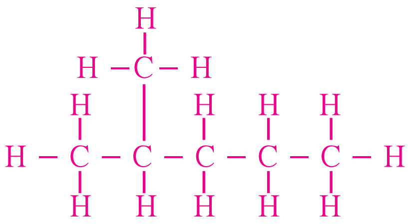
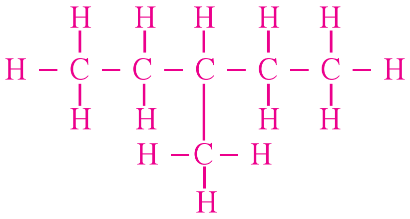
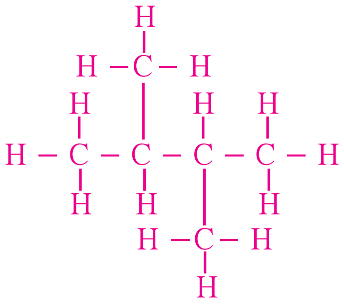
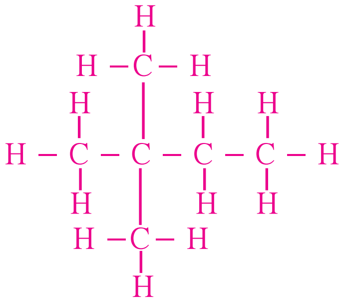
رمي الأقطاب بعد انتهاء التجربة إذ يجب عليهم غسلها جيدًا وغسل الأنبوب على شكل U بالماء المقطّر عدّة مرّات.

رمي أيّ من الأدوات المستعملة قبل استئذان المعلّم.

نشاط 4 صيغ الهكسان التركيبية

خطوات العمل

.2

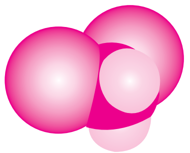
اسم المركّب بحسب IUPAC	الصيغة التركيبية
الهكسان Hexane	
2– ميثيل البنتان 2– methylpentane	
3– ميثيل البنتان 3– methylpentane	
2، 3 – ثنائي ميثيل البيوتان 2, 3 – dimethylbutane	
2، 2 – ثنائي ميثيل البيوتان 2, 2 – dimethylbutane	

جدول 4

التحليل والاستنتاج

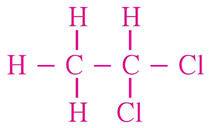
1. تقصير سلسلة الكربون واستعمال ذرّات الكربون المقتطعة كمجموعة بديلة.
2. 2، 2 ثنائي ميثيل البيوتان و 2، 3 ثنائي ميثيل البيوتان

أنت الكيميائي

1. إستبدال لأنّ الميثان هيدروكربون مشبّع
2. 

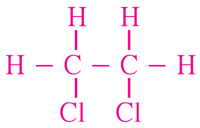
نموذج لثنائي كلورو الميثان

3.



1,1 − dichloroethane

1، 1 − ثنائي كلورو الإيثان



1,2 − dichloroethane

1، 2 − ثنائي كلورو الإيثان

إرشادات:

ذكّر الطلّاب بأنّ عدد أيزوميرات مركّب ما يزيد مع ازدياد عدد ذرّات الكربون وأنّ لكل أيزومير خواصّه الفيزيائية والكيميائية الخاصة.

ذكّر الطلّاب بأنّ الكرات السوداء تمثّل الكربون في حين تمثّل الكرات البيضاء الهيدروجين. نبّههم أيضًا إلى احتمال اختلاف ألوان العناصر بين علبة نماذج وأخرى.

نشاط 5 التعرّف على الألكينات باستعمال محلول برمنجنات البوتاسيوم

التحليل والاستنتاج

1. ظلّ اللون بنفسجيًّا في الأنبوب الأوّل وتحوّل إلى أخضر في الأنبوب الثاني.
2. يعود إلى تحوّل MnO_4^- الليلكي إلى MnO_4^{2-} الأخضر وفقًا للمعادلة التالية:

$$-\overset{|}{\underset{|}{C}}=\overset{|}{\underset{|}{C}}- + 2OH^- + 2\,MnO_4^- \rightarrow -\overset{OH}{\underset{|}{C}}-\overset{OH}{\underset{|}{C}}- + 2\,MnO_4^{2-}$$

3. ظلّ اللون ليلكيًّا في الأنبوب الأوّل وتحوّل المحتوى إلى سائل عديم اللون في الأنبوب الثاني.
4. يتحوّل أنيون MnO_4^- الليلكي إلى كاتيون Mn^{2+} العديم اللون من خلال تفاعل اختزال MnO_4^- في وسط حمضي وفقًا للمعادلة التالية:

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

5. تفاعل الأكسدة: $-\overset{|}{\underset{|}{C}}=\overset{|}{\underset{|}{C}}- + 2H_2O \rightarrow -\overset{OH}{\underset{|}{C}}-\overset{OH}{\underset{|}{C}}- + 2H^+ + 2e^-$ $(\times 5)$

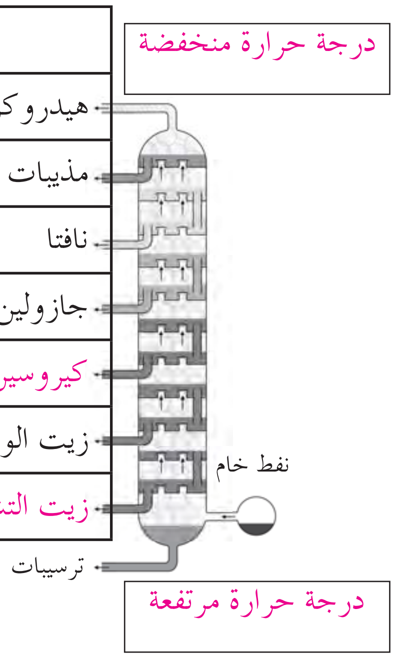
تفاعل الاختزال: $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$ $(\times 2)$

$$5\,-\overset{|}{\underset{|}{C}}=\overset{|}{\underset{|}{C}}- + 2MnO_4^- + 6H^+ + 2H_2O \rightarrow 5\,-\overset{OH}{\underset{|}{C}}-\overset{OH}{\underset{|}{C}}- + 2Mn^{2+}$$

نشاط 6 أجزاء برج التقطير التجزيئي للنفط: ترتيب نواتجه بحسب خواصّها الفيزيائية

خطوات العمل

نواتج	عدد ذرّات الكربون	درجة الغليان (°C)
هيدروكربونات في الحالة الغازية	$C_1 - C_4$	< 20
مذيبات نفطية	$C_5 - C_6$	30−60
نافتا	$C_7 - C_8$	60−90
جازولين	$C_6 - C_{12}$	40−175
كيروسين	$C_{12} - C_{15}$	150−275
زيت الوقود	$C_{15} - C_{18}$	225−400
زيت التشحيم	$C_{16} - C_{24}$	> 400



جدول 5

التحليل والاستنتاج

1. اختلاف درجة غليان مكوّنات مزيج النفط الخام
2. زيت الوقود
3. في القسم الأعلى
4. غازية
5. استخراج كمّيات إضافية من الكيروسين لتغطية نقص هذه المادّة في الأسواق المحلية والعالمية
6. الاسم: قار ويستعمل عامةً في تزفيت الطرقات

أنت الكيميائي

2. بولي كلوريد الفينيل PVC = Polyvinyl chloride
بولي ستايرين PS = Polystyrene

ملاحظات

ملاحظات

ملاحظات

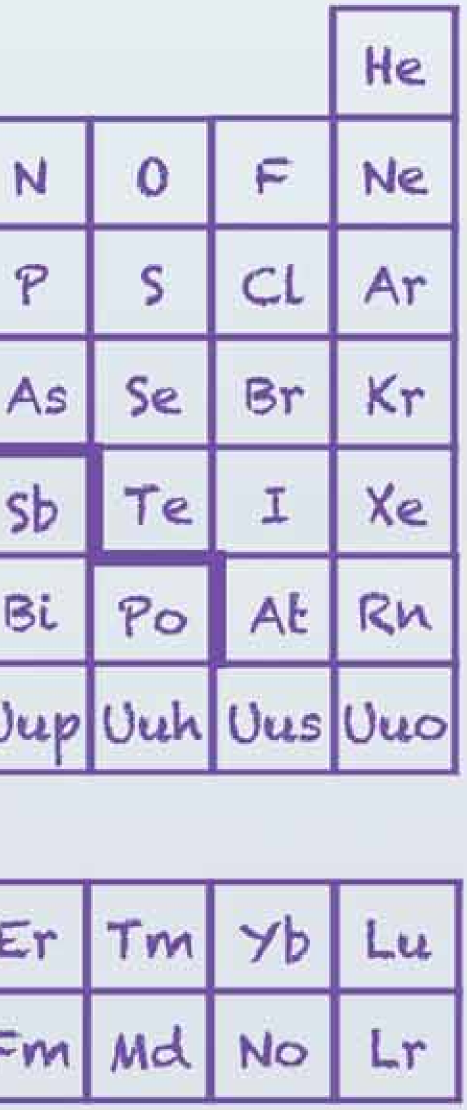
تطرح سلسلة العلوم مضمونًا تربويًا منوَّعًا يتناسب مع جميع مستويات التعلُّم لدى الطلّاب.

يوفّر كتاب العلوم الكثير من فرص التعليم والتعلُّم العلمي والتجارب المعمليّة والأنشطة التي تعزز محتوى الكتاب.

يتضمّن هذا الكتاب أيضًا نماذج الإختبارات لتقييم استيعاب الطلّاب والتأكد من تحقيقهم للأهداف واعدادهم للاختبارات الدولية.

تتكوّن السلسلة من:

- كتاب الطالب
- كتاب المعلّم
- كرّاسة التطبيقات
- كرّاسة التطبيقات مع الإجابات



الصف الحادي عشر 11

كتاب المعلّم

الجزء الثاني

ISBN 978-614-406-593-8
9 786144 065938

PEARSON
Scott Foresman

مَركز البُحوث التّربَويّة

الكيمياء