وزارة التربية

كويت جديدة
NEWKUWAIT

الكيمياء ١١

الصف الحادي عشر

الجزء الثاني

كتاب الطالب

المرحلة الثانوية

الطبعة الثانية

الكيمياء

كتاب الطالب

الصفّ الحادي عشر ١١

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 الله طاهر الشمالي　　أ. تهاني ذعار المطيري

الطبعة الثانية

١٤٤٠ - ١٤٤١ هـ

٢٠١٩ - ٢٠٢٠ م

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لوزارة التربية ـ قطاع البحوث التربوية والمناهج

إدارة تطوير المناهج

الطبعة الأولى ٢٠١٣ - ٢٠١٤ م
الطبعة الثانية ٢٠١٥ - ٢٠١٦ م
٢٠١٧ - ٢٠١٨ م
٢٠١٩ - ٢٠٢٠ 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 ٢٠١٣**

الكتاب كاملًا

شاركنا بتقييم مناهجنا

صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح

أمير دولة الكويت

سمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح

ولي عهد دولة الكويت

مقدمـــــة

الحمدلله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين، محمد بن عبدالله وصحبه أجمعين.

عندما شرعت وزارة التربية في عملية تطوير المناهج، استندت في ذلك إلى جملة من الأسس والمرتكزات العلمية والفنية والمهنية، حيث راعت متطلبات الدولة وارتباط ذلك بسوق العمل، وحاجات المتعلمين والتطور المعرفي والعلمي، بالإضافة إلى جملة من التحديات التي تمثلت بالتحدي القيمي والاجتماعي والاقتصادي والتكنولوجي وغيرها، وإن كنا ندرك أن هذه الجوانب لها صلة وثيقة بالنظام التعليمي بشكل عام وليس المناهج بشكل خاص.

ومما يجب التأكيد عليه، أن المنهج عبارة عن كم الخبرات التربوية والتعليمية التي تُقدم للمتعلم، وهذا يرتبط أيضًا بعمليات التخطط والتنفيذ، والتي في محصلتها النهائية تأتي لتحقيق الأهداف التربوية، وعليه أصبحت عملية بناء المناهج الدراسية من أهم مكونات النظام التعليمي، لأنها تأتي في جانبين مهمين لقياس كفاءة النظام التعليمي، فهي من جهة تمثل أحد المدخلات الأساسية ومقياسًا أو معيارًا من معايير كفاءته من جهة أخرى، عدا أن المناهج تدخل في عملية إنماء شخصية المتعلم في جميع جوانبها الجسمية والعقلية والوجدانية والروحية والاجتماعية.

من جانب آخر، فنحن في قطاع البحوث التربوية والمناهج، عندما نبدأ في عملية تطوير المناهج الدراسية، ننطلق من كل الأسس والمرتكزات التي سبق ذكرها، بل إننا نراها محفزات واقعية تدفعنا لبذل قصارى جهدنا والمضي قدمًا في البحث في المستجدات التربوية سواء في شكل المناهج أم في مضامينها، وهذا ما قام به القطاع خلال السنوات الماضية، حيث البحث عن أفضل ما توصلت إليه عملية صناعة المناهج الدراسية، ومن ثم إعدادها وتأليفها وفق معايير عالمية استعدادًا لتطبيقها في البيئة التعليمية.

ولقد كانت مناهج العلوم والرياضيات من أول المناهج التي بدأنا بها عملية التطوير، إيمانًا بأهميتها وانطلاقًا من أنها ذات صفة عالمية، مع الأخذ بالحسبان خصوصية المجتمع الكويتي وبيئته المحلية، وعندما أدركنا أنها تتضمن جوانب عملية التعلم ونعني بذلك المعرفة والقيم والمهارات، قمنا بدراستها وجعلها تتوافق مع نظام التعليم في دولة الكويت، مركزين ليس فقط على الكتاب المقرر ولكن شمل ذلك طرائق وأساليب التدريس والبيئة التعليمية ودور المتعلم، مؤكدين على أهمية التكامل بين الجوانب العلمية والتطبيقية حتى تكون ذات طبيعة وظيفية مرتبطة بحياة المتعلم.

وفي ضوء ما سبق من معطيات وغيرها من الجوانب ذات الصفة التعليمية والتربوية تم اختيار سلسلة مناهج العلوم والرياضيات التي أكملناها بشكل ووقت مناسبين، ولنحقق نقلة نوعية في مناهج تلك المواد، وهذا كله تزامن مع عملية التقويم والقياس للأثر الذي تركته تلك المناهج، ومن ثم عمليات التعديل التي طرأت أثناء وبعد تنفيذها، مع التأكيد على الاستمرار في القياس المستمر والمتابعة الدائمة حتى تكون مناهجنا أكثر تفاعلية.

د. سعود هلال الحربي

الوكيل المساعد لقطاع البحوث التربوية والمناهج

المحتويات

الجزء الأوّل

الوحدة الأولى: الإلكترونات في الذرّة

الوحدة الثانية: المحاليل

الوحدة الثالثة: الكيمياء الحرارية

الجزء الثاني

الوحدة الرابعة: الكيمياء الكهربائية

الوحدة الخامسة: المركّبات الهيدروكربونية

محتويات الجزء الثاني

الوحدة الرابعة: الكيمياء الكهربائية	**12**
الفصل الأوّل: تفاعلات الأكسدة والاختزال	**13**
الدرس 1–1: طبيعة الخلايا الإلكتروكيميائية	**14**
الدرس 1–2: وزن معادلات الأكسدة والاختزال	**17**
الدرس 1–3: الخلايا الإلكتروكيميائية	**30**
الفصل الثاني: الخلايا الإلكتروكيميائية: أنصافها وجهودها	**42**
الدرس 2–1: أنصاف الخلايا وجهود الخلايا	**43**
الدرس 2–2: الخلايا الإلكتروليتية	**55**
مراجعة الوحدة الرابعة	**62**
أسئلة مراجعة الوحدة الرابعة	**65**

الوحدة الخامسة: المركّبات الهيدروكربونية	**71**
الفصل الأوّل: الهيدروكربونات الأليفاتية	**72**
الدرس 1–1: المركّبات العضوية	**73**
الدرس 1–2: الهيدروكربونات المشبَّعة	**77**
الدرس 1–3: الهيدروكربونات غير المشبَّعة	**89**
الفصل الثاني: الهيدروكربونات الحلقية ، الغاز الطبيعي والنفط	**99**
الدرس 2–1: الهيدروكربونات الحلقية	**100**
الدرس 2–2: الهيدروكربونات المستخرجة من الأرض	**106**
مراجعة الوحدة الخامسة	**110**
أسئلة مراجعة الوحدة الخامسة	**112**

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

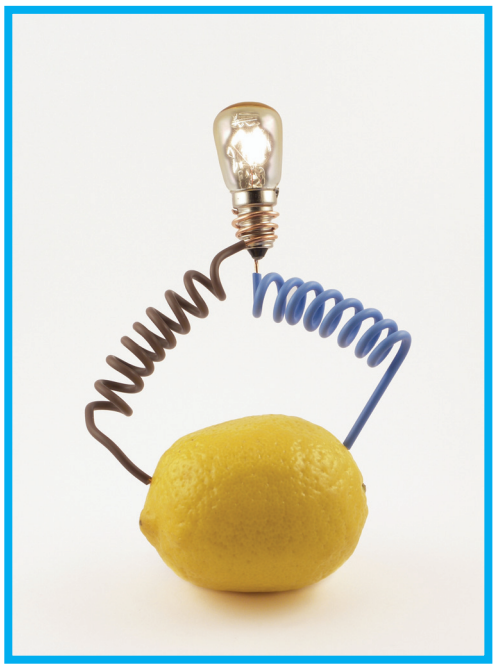
الفصل الأوّل

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

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:

- تتكوّن طبقة لونها بنّي غامق على سطح شريحة الخارصين.

- 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:

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

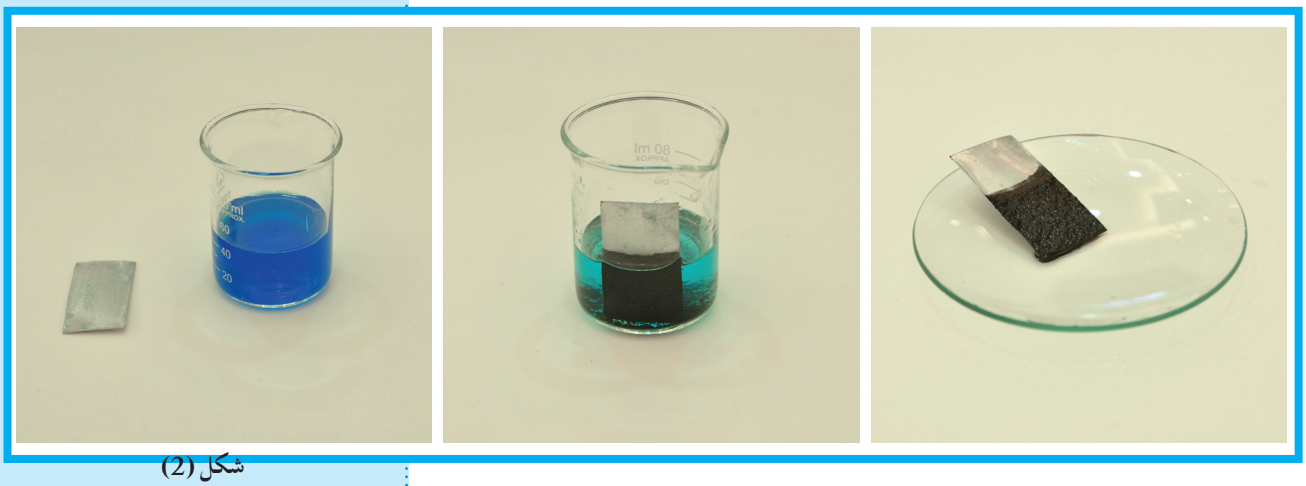
يشير اكتساب كاتيون النحاس للإلكترونين إلى أنّه عامل مؤكسد Oxidizing Agent. وتسمّى عملية اكتساب الإلكترونات بالاختزال Reduction.

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.

توضِّح 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 توضِّح 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: تشكِّل المعادلات التي توضِّح 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. توضِّح المعادلة النهائية التفاعل الذي حدث في الواقع.

مراجعة الدرس 1-1

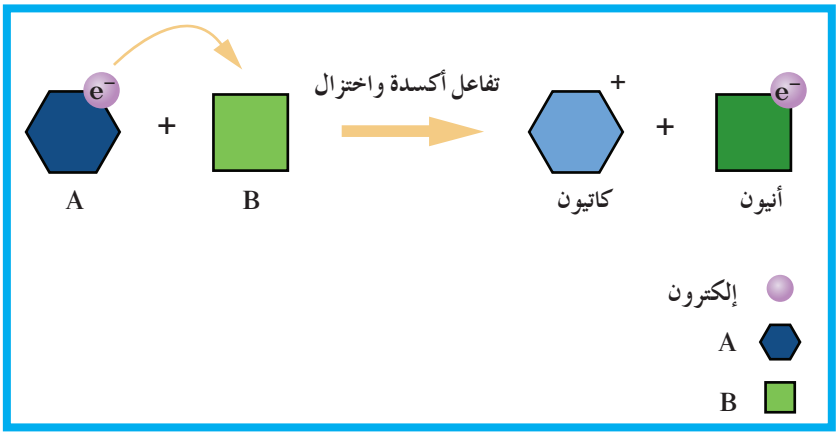
1. إلامَ يشير اكتساب كاتيون الفلزّ إلكترونات؟ وماذا تُسمَّى هذه العملية؟
2. نصادف الكثير من عمليات الأكسدة والاختزال في حياتنا اليومية. اذكر بعض هذه العمليات مبيّنًا أثرها الإيجابي أو السلبي.

الدرس 1-2

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 توضِّح 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:

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

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 Cl، Br، I 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 OH^-، NO_3^-	−1
عدد تأكسد NH_4^+	+1
عدد تأكسد SO_4^{2-}، CO_3^{2-}	−2
عدد تأكسد NH_3، H_2O (مركّبات متعادلة)	صفر

جدول (1)
أعداد التأكسد

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

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 تُختَزل 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

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.

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

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

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

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.

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

$+2$

-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 $(3 \times (+2) = +6)$ مع النقصان $(2 \times (-3) = -6)$.

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.

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

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.

$$\overset{+1\ +6\ -2}{K_2Cr_2O_{7(aq)}} + \overset{+1\ -2}{H_2O_{(l)}} + \overset{0}{S_{(s)}} \longrightarrow \overset{+1\ -2\ +1}{KOH_{(aq)}} + \overset{+3\ -2}{Cr_2O_{3(s)}} + \overset{+4\ -2}{SO_{2(g)}}$$

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.

$$\overset{-3}{\overset{+6}{K_2Cr_2O_{7(aq)}} + H_2O_{(l)} + \overset{0}{S_{(s)}} \longrightarrow \overset{+3}{KOH_{(aq)}} + Cr_2O_{3(s)} + \overset{+4}{SO_{2(g)}}}$$

$$\overset{+4}{\overset{+6}{K_2Cr_2O_{7(aq)}} + H_2O_{(l)} + \overset{0}{S_{(s)}} \longrightarrow \overset{+3}{KOH_{(aq)}} + Cr_2O_{3(s)} + \overset{+4}{SO_{2(g)}}}$$

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.

$$\overset{4 \times (-3) = -12}{\overset{+6}{2K_2Cr_2O_{7(aq)}} + H_2O_{(l)} + \overset{0}{3S_{(s)}} \longrightarrow \overset{+3}{KOH_{(aq)}} + 2Cr_2O_{3(s)} + \overset{+4}{3SO_{2(g)}}}$$

$$\overset{3 \times (+4) = +12}{\overset{+6}{2K_2Cr_2O_{7(aq)}} + H_2O_{(l)} + \overset{0}{3S_{(s)}} \longrightarrow \overset{+3}{KOH_{(aq)}} + 2Cr_2O_{3(s)} + \overset{+4}{3SO_{2(g)}}}$$

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 (II) Fe^{2+} بواسطة أنيون البرمنجنات MnO_4^- في محلول حمضي $(H^+_{(aq)})$ كمحلول حمض الكبريتيك $(H_2SO_{4(aq)})$.

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

الخطوة الأولى: حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرّات في المعادلة.

$$\overset{+7\ -2}{MnO^-_{4\,(aq)}} + \overset{+2}{Fe^{2+}_{(aq)}} + \overset{+1}{H^+_{(aq)}} \rightarrow \overset{+2}{Mn^{2+}_{(aq)}} + \overset{+3}{Fe^{3+}_{(aq)}} + \overset{+1-2}{H_2O_{(l)}}$$

الخطوة الثانية: حدّد العنصر الذي اختُزل والعنصر الذي تأكسد.
نَقُص عدد تأكسد المنجنيز من (+7) إلى (+2) أي أنّ المنجنيز اختُزل.
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.

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

فتصبح المعادلتان:

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

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 المركّبات 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: صمّم 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.

$$\overset{+1}{K^+_{(aq)}} + \overset{+7\ -2}{MnO^-_{4(aq)}} + \overset{+1}{H^+_{(aq)}} + \overset{-1}{Cl^-_{(aq)}} \longrightarrow \overset{+2}{Mn^{2+}_{(aq)}} + 2\overset{-1}{Cl^-_{(aq)}} + \overset{0}{Cl_{2(g)}} + \overset{+1\ -2}{H_2O_{(l)}} + \overset{+1}{K^+_{(aq)}} + \overset{-1}{Cl^-_{(aq)}}$$

الخطوة الثانية: حدّد العنصر الذي اختُزِل والعنصر الذي تأكسد.

نَقُص عدد تأكسد المنجنيز من (+7) إلى (+2) أي أنّ المنجنيز اختُزل.

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.

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

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.

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

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.

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.

$$\overset{+3-2}{NO^-_{2\,(aq)}} + \overset{0}{Al_{(s)}} \longrightarrow \overset{-3\,+1}{NH_{3\,(g)}} + \overset{+3-2}{AlO^-_{2\,(aq)}}$$

الخطوة الثانية: حدّد العنصر الذي اختُزِل والعنصر الذي تأكسد.

نَقُص عدد تأكسد النيتروجين من (+3) إلى (−3) أي أنّ النيتروجين اختُزل.

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.

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

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

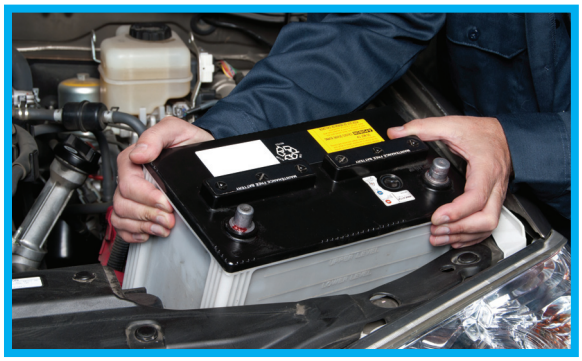
(جـ) $Cu_{(s)} + Ag^+_{(aq)} \rightarrow Ag_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)}$

الدرس 1-3

الخلايا الإلكتروكيميائية
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.

• **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 ومستمّر؟

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:

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

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)

بمَ 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 (E°) Standard Reduction Potential فهو جهد الاختزال عند الظروف القياسية (عند درجة الحرارة 25 °C وضغط غاز، إن وجد، 101 kPa وتركيز المحلول 1 M).

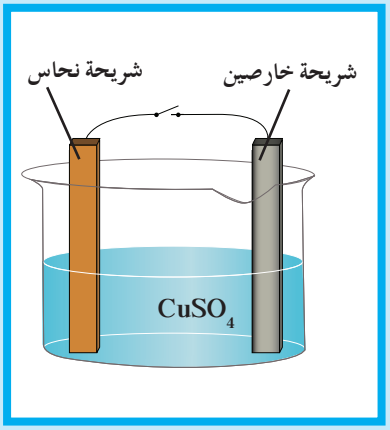
مثال على ذلك:

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

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.

مثال على ذلك الخليّة الإلكتروكيميائية الموضّحة 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 غلق الدائرة الكهربائية تحدث عملية أكسدة لذرّات الخارصين واختزال لكاتيونات النحاس على سطح شريحة الخارصين الذي تميل ذرّاته إلى فقدان 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 مركّبات 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.

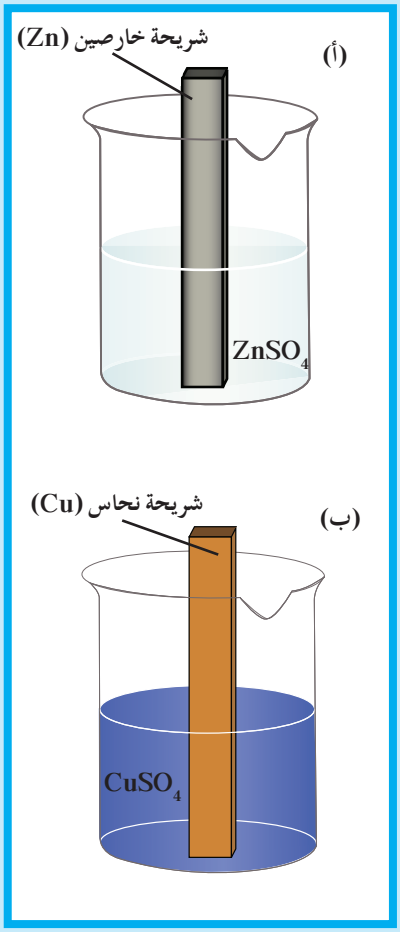
مثال على أنصاف الخلايا القياسية: $Zn^{2+}_{(aq)}$ (1 M)/$Zn_{(s)}$

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

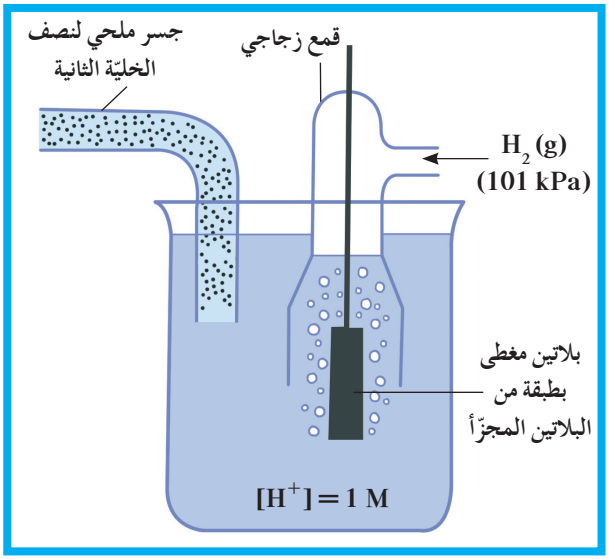
- يبقى تركيز الكاتيونات في المحلول ثابتًا.
- تبقى كتلة الشريحة ثابتة.
- يُعتبَر نصف الخليّة المفرد دائرة مفتوحة.



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 موضّح 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 محفّزة. حيث يوضع القطب داخل غلاف زجاجي يمرّ فيه غاز الهيدروجين بضغط 101 kPa.



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

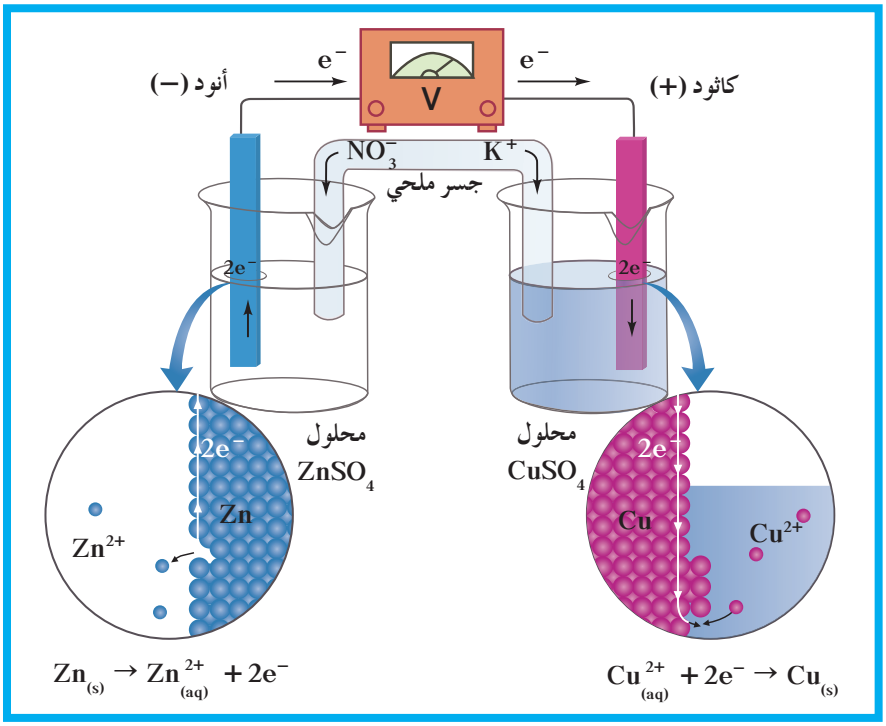
الخليّة الجلفانية هي خليّة تنتج طاقة كهربائية من خلال التفاعلات الكيميائية وهي تتكوّن من نصف خليّة خارصين، ونصف خليّة نحاس، وموصّل فلزّي وجسر ملحي.

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.

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 إلكتروني. يمرّ التيّار الكهربائي في الدائرة الخارجية من قطب الخارصين إلى قطب النحاس 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: $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

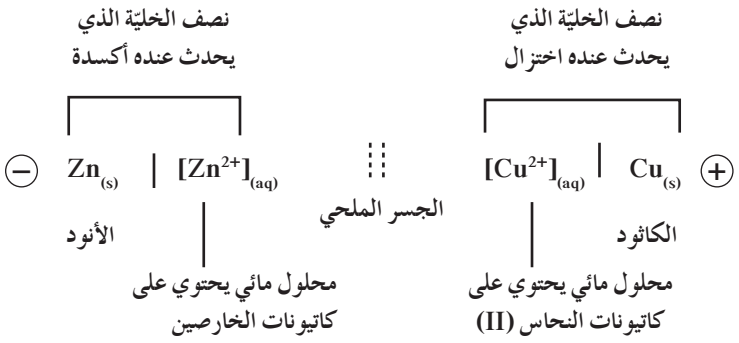
يتزايد تركيز كاتيونات الخارصين Zn^{2+} عند الأنود ما يؤدّي إلى تزايد الشحنات الموجبة في المحلول. في حين يتناقص تركيز كاتيونات النحاس Cu^{2+} عند الكاثود وبالتالي تزيد الشحنات السالبة في المحلول نتيجة اختزال كاتيونات النحاس.

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 Zn – Cu بالتالي:



3. تطبيقات على الخلايا الجلفانية

Galvanic Cell Applications

تُصنّف الخلايا التجارية إلى نوعين هما خلايا أوّلية وخلايا ثانوية. **تحوّل 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 تحوّل 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.

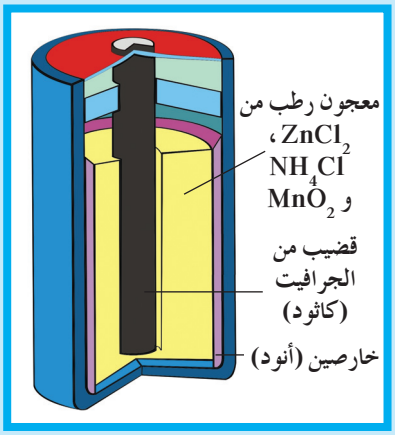
اخترع المهندس الفرنسي جورج لوكلانشيه Georges Leclanche **الخليّة الجافّة Dry Cell** في العام 1866م وأصبحت **تُعرف باسمه أي خليّة لوكلانشيه Leclanche Cell وهي تُعتبَر مصدرًا رئيسيًّا للطاقة الكهربائية في ألعاب الأطفال والكاشفات الكهربائية وغيرها.**

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.

عند الكاثود، تُختزَل كاتيونات الأمونيوم:

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

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

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

تسمح المعادلتان السابقتان بكتابة تفاعل الاختزال الذي يحدث عند الكاثود.

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

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

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

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

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

وتصبح المعادلة النهائية:

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

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 تباديليًّا 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:

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

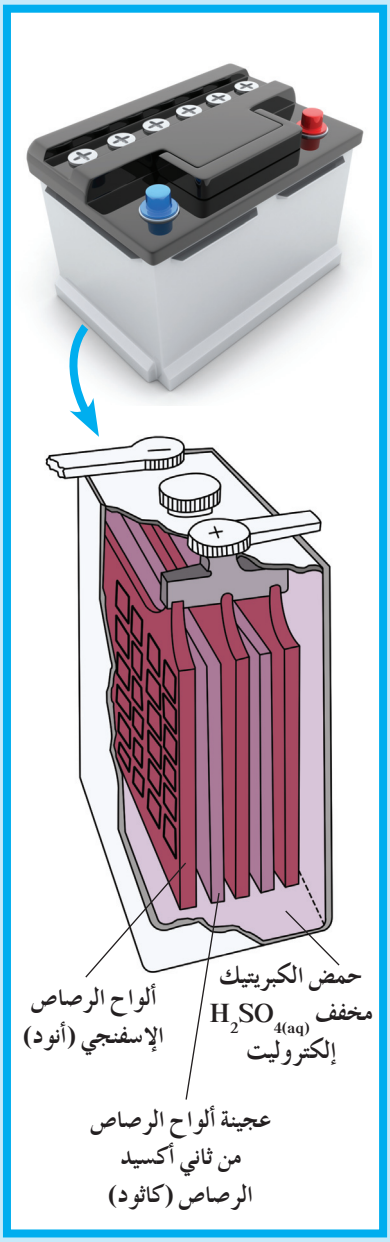
$$Pb_{(s)} + SO^{2-}_{4\ (aq)} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2e^{-}$$

الاختزال:

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

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

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



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

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

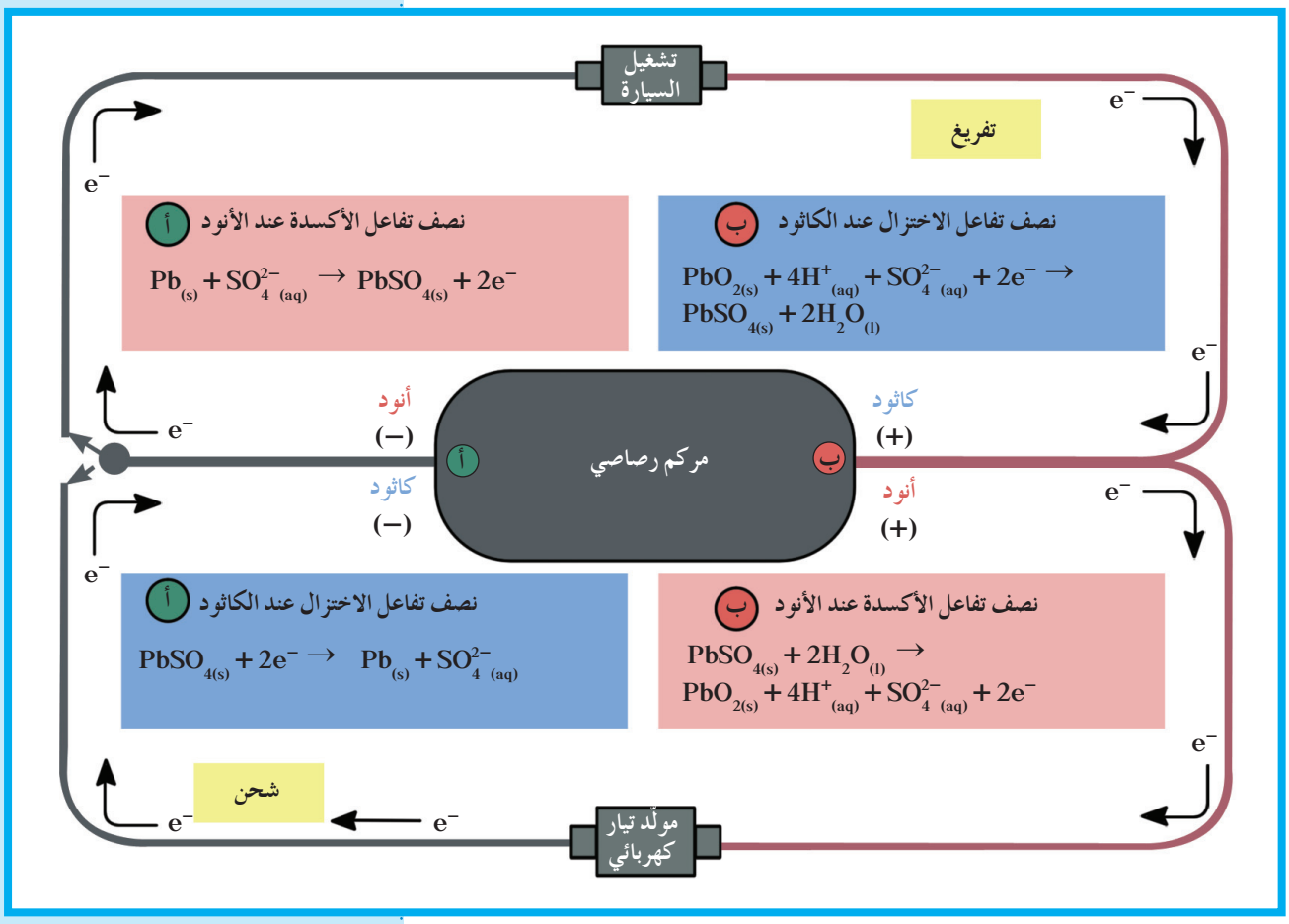
$$Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 2H_2SO_{4(aq)} \rightarrow 2PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

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

3.3 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 (H_2/O_2) الموضّحة في الشكل (13).

الأكسدة عند الأنود (وسط قاعدي):

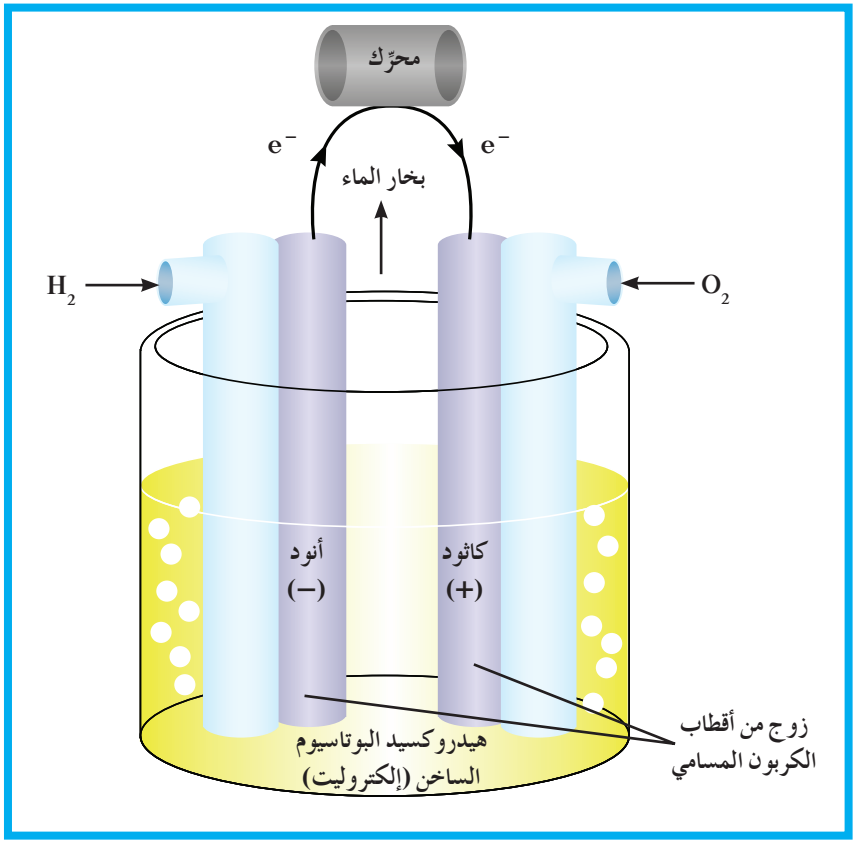
$$2H_{2(g)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + 4e^-$$
$$2H_{2(g)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + 4OH^-_{(aq)} + 4e^-$$
$$2H_{2(g)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow 4H_2O_{(l)} + 4e^-$$

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؟

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.

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

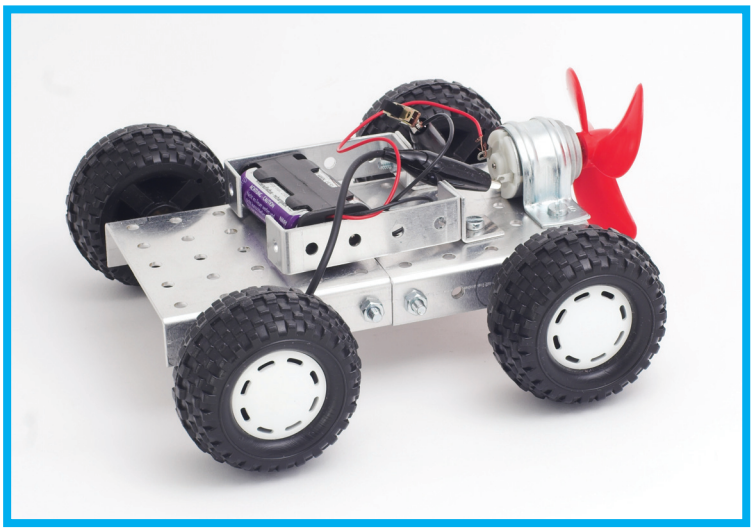
- الخلايا الإلكتروليتية

الدرس 2-1

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 .

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 .

$$\text{جهد الخليّة} = \text{جهد الاختزال لنصف الخليّة الذي يحدث عنده الاختزال} - \text{جهد الاختزال لنصف الخليّة الذي يحدث عنده الأكسدة}$$

$$E_{cell} = E_{cathode} - E_{anode}$$

أو

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

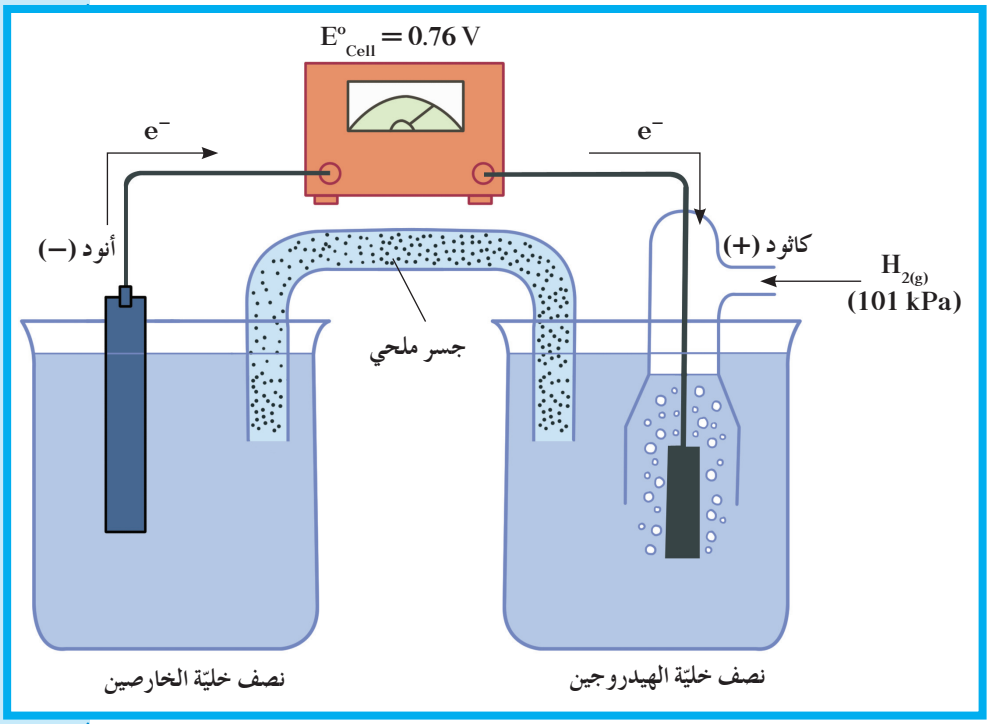
هل تعلم؟

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 تُختزل كاتيونات الهيدروجين أي أن قطب الهيدروجين هو الكاثود .

يمكن الآن كتابة أنصاف التفاعلات والتفاعل النهائي للخليّة.

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

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

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 موضّح 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.

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 مركّباته 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 مركّبات 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 مركّباته 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 مركّبات مثل الكلوريدات أو الكبريتات، علّل ذلك.

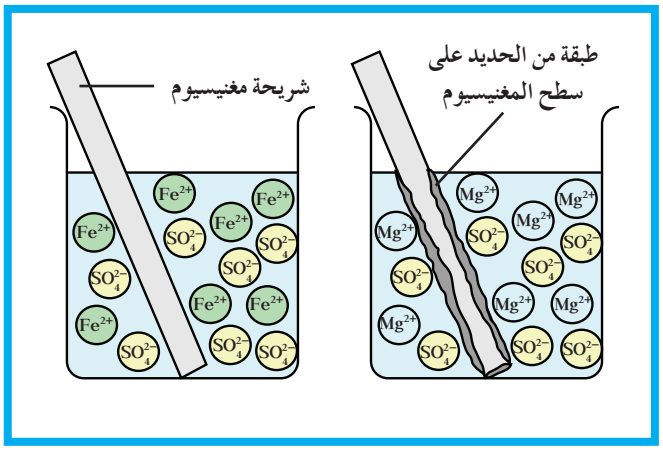
على ضوء ما سبق، فسّر لماذا يتمّ استخدام الفضّة والذهب والبلاتين في صناعة الحلي؟

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 الإستنتاج 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.

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.

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

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 .

$$Fe^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} \quad E^{\circ}_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0.77\ V$$

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

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم:	**غير المعلوم:**
$E^{\circ}_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0.77\ V$	الكاثود = ؟
$E^{\circ}_{Ni^{2+}/Ni} = -0.25\ V$	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:

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

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.

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

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:

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

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

اكتب معادلة الخليّة النهائية واحسب جهدها القياسي.

الحلّ:

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

2. خليّة فولتية مكوّنة من نصفي الخلايا التالية:

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

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

اكتب معادلة الخليّة النهائية واحسب جهدها القياسي.

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

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)

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

$E^{\circ}_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44\ V$

غير المعلوم:

$E^{\circ}_{cell} = ؟$

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:

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

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

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 .

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؟

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.

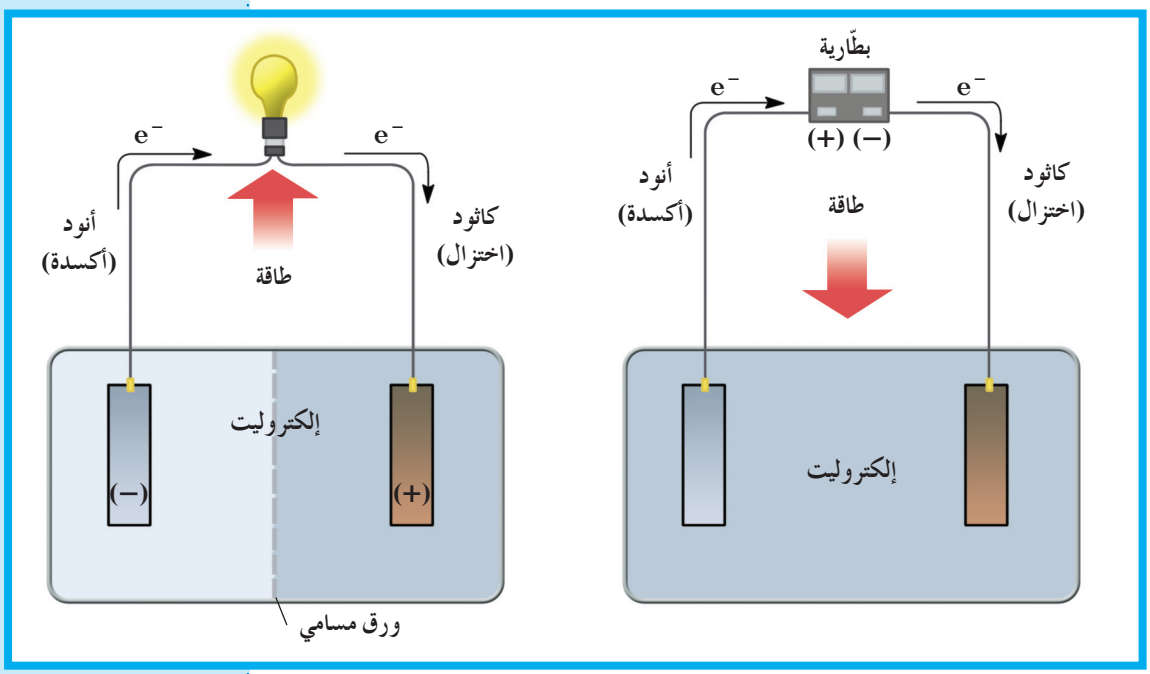
وقد يكون المثال الأقرب إليك هو إعادة شحن بطّارية بعد أن فرغت حيث تتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية .

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 .

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) .

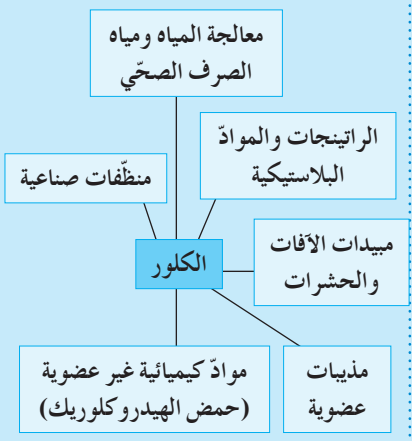


شكل (18)

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؟

فقرة إثرائية

أهمّ استخدامات الكلور

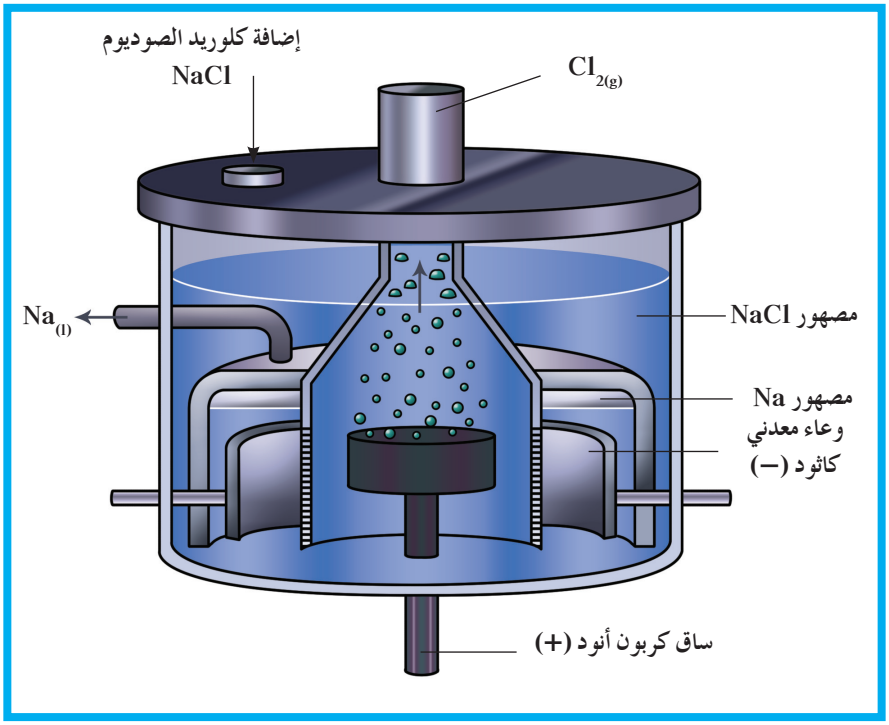


على عكس الخليّة الإلكتروليتية حيث تتحرّك الإلكترونات بفعل طاقة تمتصّها الخليّة من مصدر خارجي (بطّارية) ليحدث التفاعل. كما تختلفان من حيث إشارة الأقطاب ففي الخليّة الفولتية تسيل الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود وبالتالي تصبح إشارة الأنود سالبة وإشارة الكاثود موجبة. في حين يُعتبَر الكاثود في الخليّة الإلكتروليتية 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.

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:

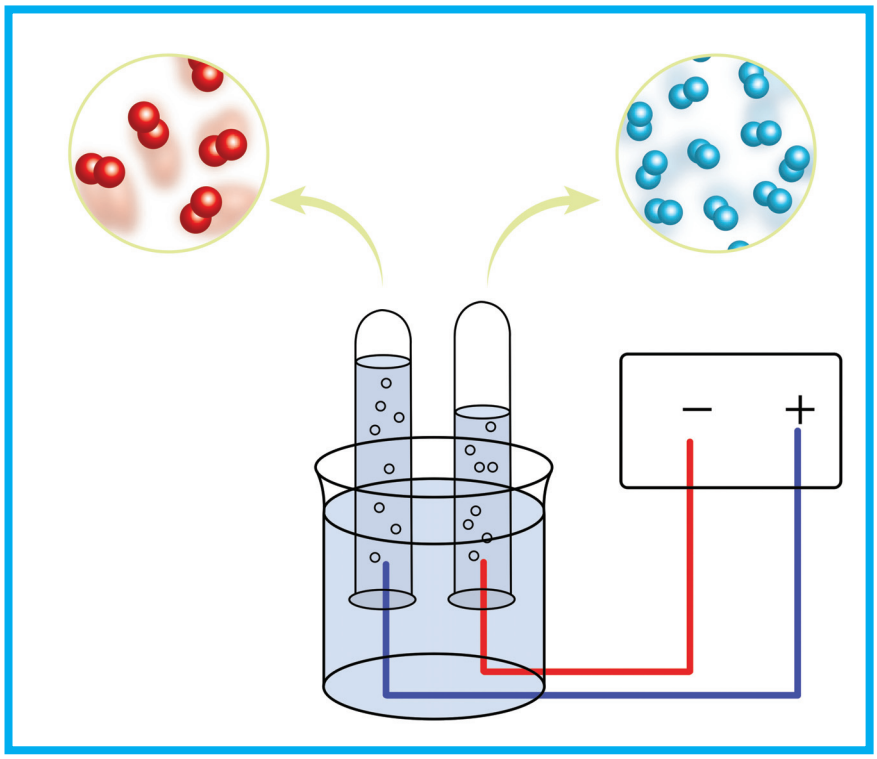
عند الأنود $2Cl^-_{(l)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$ (أكسدة)

عند الكاثود $2Na^+_{(l)} + 2e^- \rightarrow 2Na_{(l)}$ (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 موصلاً 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؟

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 المتوفرّة 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:

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

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.

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:

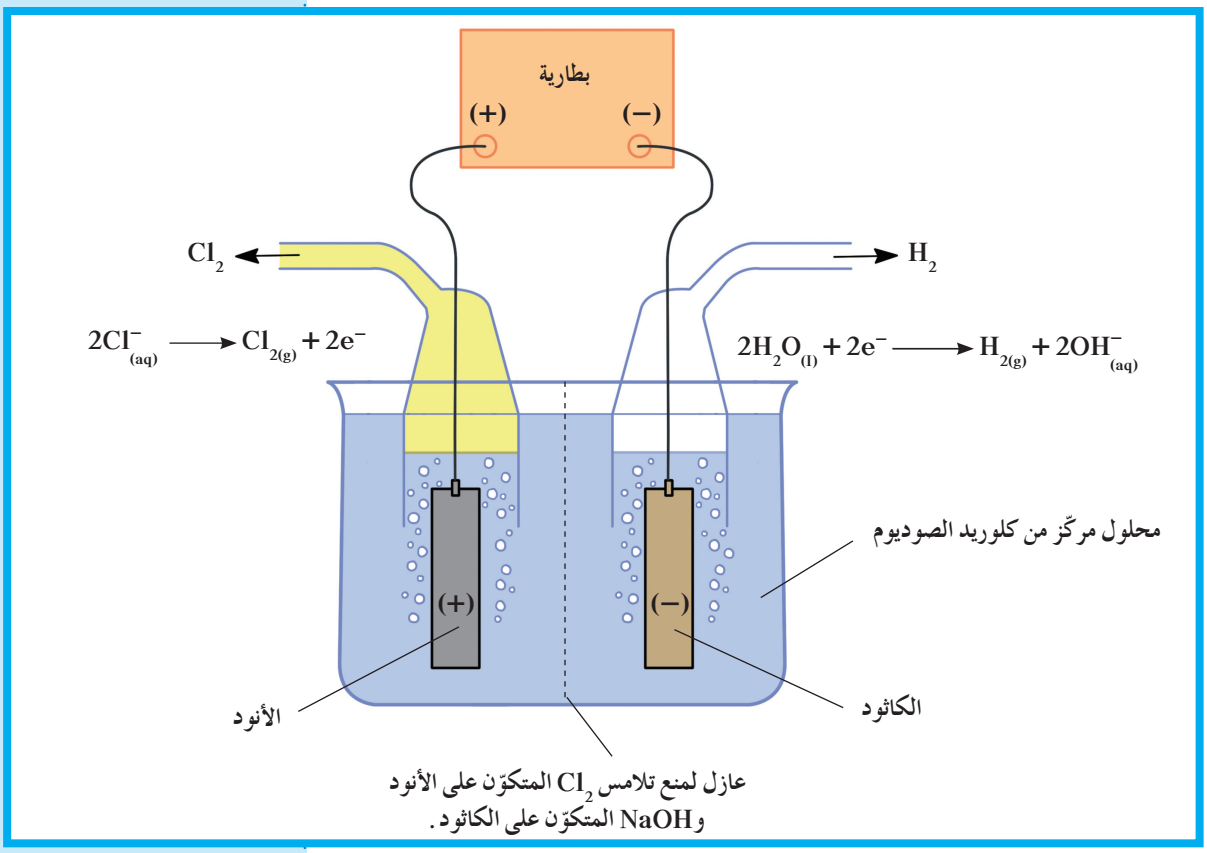
$$2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$

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:

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



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.

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.

6. الطلاء بالكهرباء والعمليات المتعلّقة به

Electroplating and Related Processes

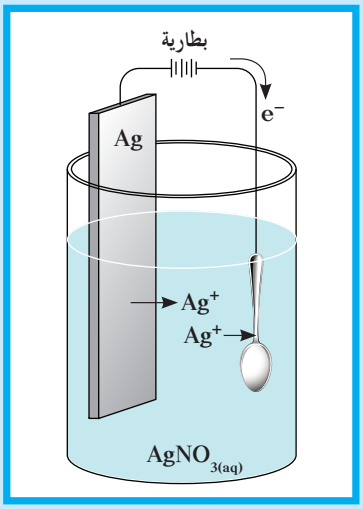
الطلاء بالكهرباء Electroplating هو ترسيب طبقة رقيقة من فلزّ على جسم معدني في خليّة إلكتروليتية. ولهذه العملية تطبيقات كثيرة هامّة هدفها، عادة، حماية سطح الفلزّ المراد طلاؤه من التآكل وتجميله. وتكون طبقة الفلزّ المترسّبة رقيقة للغاية وتتراوح سماكتها، عادة، بين 5×10^{-5} cm إلى 1×10^{-3} cm. نذكر من بين 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 تُختزَل 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.

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؟



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 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، يبيِّنان 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.

- تتكوّن الدائرة الخارجية في الخليّة الجلفانية من موصل معدني يربط الأقطاب ويتصل بجهاز فولتمتر .
- في خليّة خارصين – نحاس ، يُختَزل كاتيون النحاس ويترسّب على قطب النحاس ويتأكسد فلزّ الخارصين لإنتاج كاتيونات الخارصين وإلكترونات .
- يدلّ الرمز الاصطلاصي 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 .

خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المفاهيم الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة تُنظّم الأفكار الرئيسة التي جاءت في الوحدة.

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) Hg ،Cu (ب) Ni ،Mg (جـ) Pb ،Zn

(د) Ca ،Al (هـ) Sn ،Ag (و) Cu ،Al

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) $K_2Cr_2O_7$ (ب) KIO_3 (جـ) MnO^{-}_{4} (د) $FeCl_3$

19. لقد تعلّمت أنّ الأكسدة هي فقد إلكترونات والاختزال هو اكتساب إلكترونات، قدّم تعريفًا آخر للأكسدة والاختزال.

اختبر مهاراتك

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

1. احسب جهود الخلايا القياسية للخلايا الفولتية التالية:

(أ) $\ominus \; Ni_{(s)} \; | [Ni^{2+}_{(aq)}] \; || \; Cl_{2(g)} \; | [Cl^{-}_{(aq)}] \; \oplus$

(ب) $\ominus \; Sn_{(s)} \; | [Sn^{2+}_{(aq)}] \; || \; [Ag^{+}_{(aq)}] \; | \; Ag_{(s)} \; \oplus$

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:

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

(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) $\ominus\ Sn_{(s)}\ |[Sn^{2+}_{(aq)}]\ ||\ [Pb^{2+}_{(aq)}]|\ Pb_{(s)}\ \oplus$

(ب) $\ominus\ H_{2(g)}\ |[H^+_{(aq)}]\ ||\ Br_{2(l)}\ |[Br^-_{(aq)}]\ \oplus$

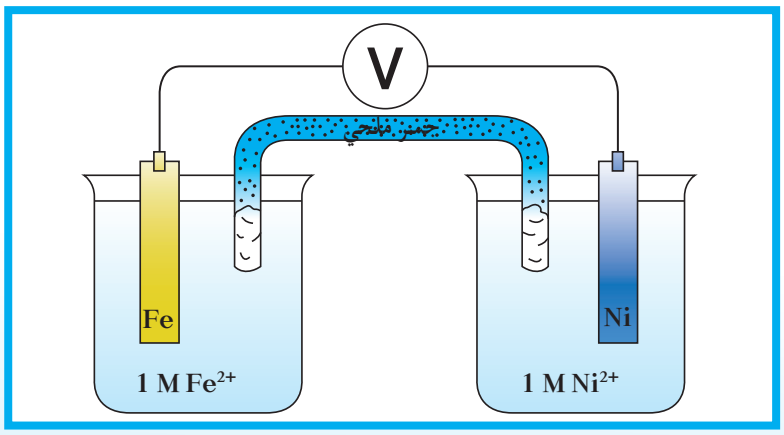
10. اكتب تفاعلات النهائية واحسب قيمة E°_{Cell} للخلايا الفولتية المكوّنة من مجموعات أنصاف الخلايا التالية:

(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:

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

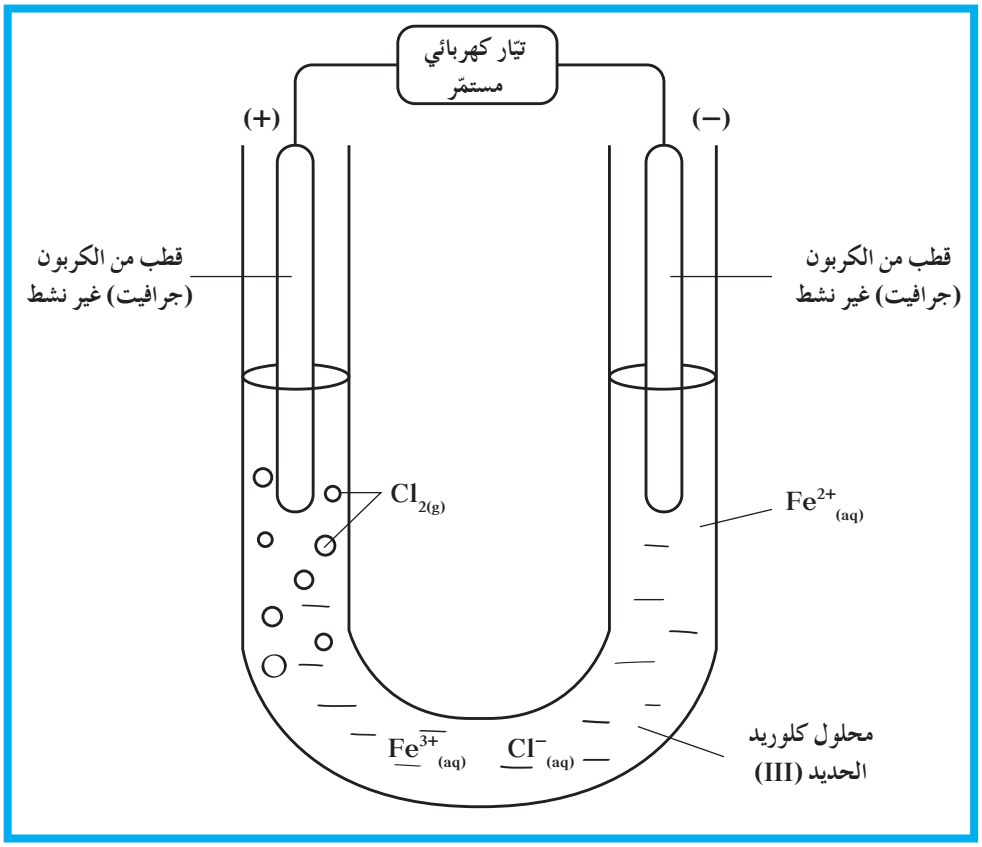


(أ) حدّد الأنود والكاثود.
(ب) حدّد الشحنات على الأقطاب.
(جـ) اكتب نصفي التفاعل.
(د) احسب جهد الخليّة القياسي.

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).

(أ) اكتب معادلة كيميائية توضّح التفاعل الذي حدث بين حمض الهيدروكلوريك والفلزّات محدِّدًا العامل المؤكسد والعامل المختزل.

(ب) فسّر كلّ من الملاحظات السابقة

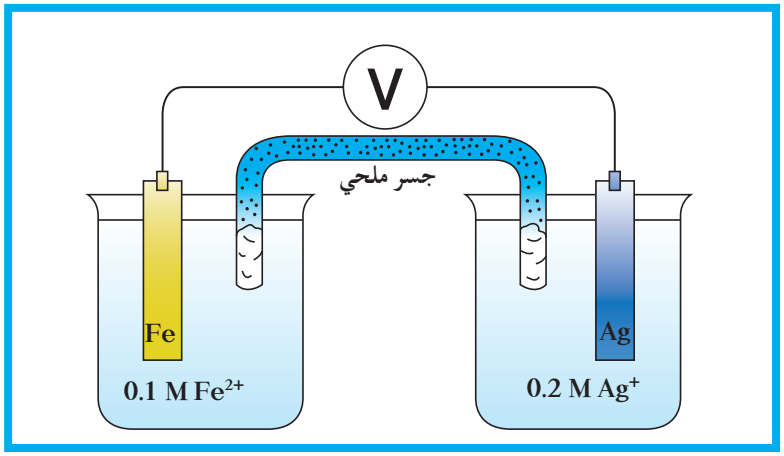
(جـ) استنتج ترتيب الأنواع التالية H^+/H_2 وPb^{2+}/Pb وCu^{2+}/Cu ترتيبًا تصاعديًّا بحسب جهود الاختزال القياسية.

(د) فسّر سبب تفاعل حمض الهيدروكلوريك مع الحديد Fe والخارصين Zn.

(هـ) اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث بين كاتيون H^+ وكلّ من الحديد والخارصين موضِّحًا تفاعلات الأكسدة وتفاعلات الاختزال في كلّ حالة.

(و) هل تتوقَّع أن يتفاعل حمض الكبريتيك (H_2SO_4) المخفَّف مع هذه الفلزّات كما تفاعل حمض الهيدروكلوريك (HCl)؟ علّل.

16. يوضِّح 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.

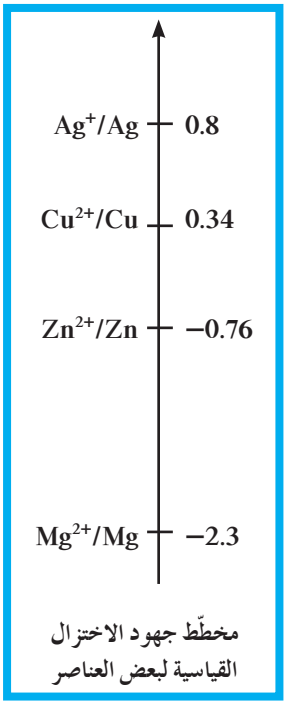
(جـ) حدّد اتجاه الإلكترونات عندما تعمل الخليّة.

(د) ما هي وظيفة الجسر الملحي؟

(هـ) كيف يتغيّر تركيز كاتيونات الفضّة عندما تعمل الخليّة؟ ما هو التغيّر الذي يحدث لقطب الحديد؟

17. يتكوّن قطبا خليّة جلفانية (G) من فلزّين M_1 و M_2.
يشكل الفلزّ M_1 الأنود لأنّ جهد الاختزال القياسي لـ M_1 أصغر منه لـ M_2.
يمثّل الرمز الاصطلاحي التالي الخليّة (G):

$$\ominus\ M_1\,|\,[M_1^{n+}]\,\|\,[M_2^{n+}]\,|\,M_2\ \oplus$$



مخطّط جهود الاختزال القياسية لبعض العناصر

(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 سيؤدّي 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؟

$$Zn_{(s)} + Mg^{2+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Mg_{(s)}$$
$$Zn^{2+}_{(aq)} + Mg_{(s)} \rightarrow Zn_{(s)} + Mg^{2+}_{(aq)}$$

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.

الوحدة الخامسة

المركّبات 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 حضّر 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 المركّبات 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 وسجّل ملاحظاتك.
4. أضف زيت نفط إلى الطبقين 2 و4 ثمّ امزج الخليط وسجّل 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 للمركّبات العضوية.
- يصف الترابط في الهيدروكربونات.
- يميّز بين الألكانات مستقيمة السلسلة والألكانات متفرّعة 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.

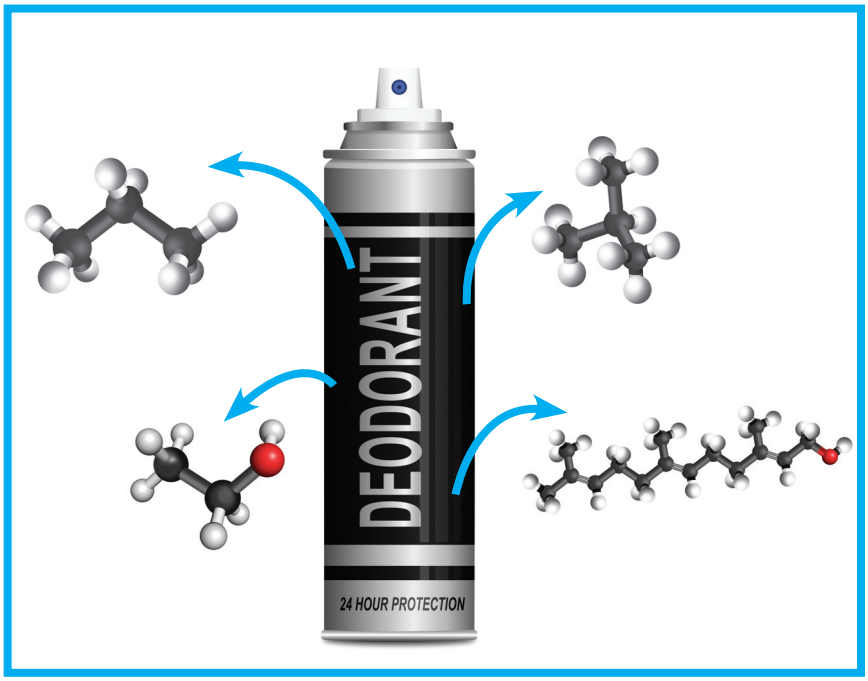
معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: ماذا يذيب ماذا؟

علاقة الكيمياء بعلم البيئة: انسكاب النفط

الهيدروكربونات 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 المشبَّعة

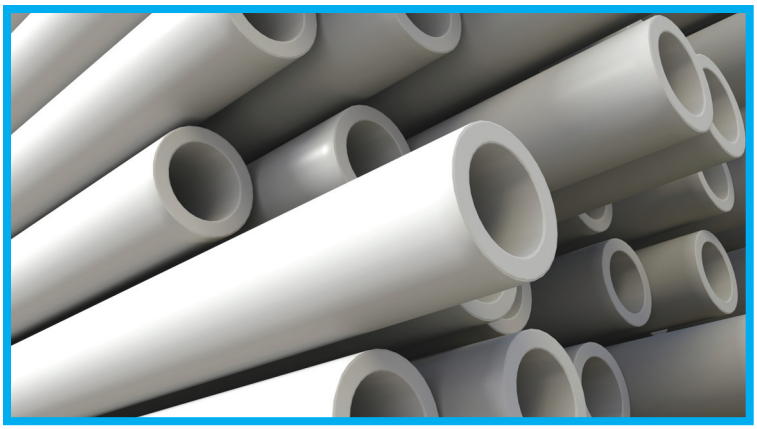
الدرس الثالث
- الهيدروكربونات غير المشبَّعة

الدرس 1-1

المركّبات العضوية
Organic Compounds

الأهداف العامة

- يُعدِّد العناصر الأساسية لمركّبات الكربون العضوية .
- يُحدِّد الصيغة الأوّلية والصيغة الجزيئية للمركّبات العضوية .



شكل (24)
أحد استخدامات المركّبات 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 بالمركّبات 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 المركّبات 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 المركّبات العضوية واختلاف أحجامها وتعقيدات تركيباتها الأثر الأهمّ في تنوّع استعمالاتها .

1. المركّبات العضوية Organic Compounds

المركّبات العضوية Organic Compounds هي المركّبات التي تحتوي على عنصر الكربون، ما عدا بعض الإستثناءات مثل غازي ثاني أكسيد الكربون وأوّل أكسيد الكربون وأملاح الكربونات والكربيدات التي تُعتبَر مركّبات غير عضوية على الرغم من احتوائهما على الكربون.

يمكن تقسيم المركّبات العضوية إلى أليفاتية وعطرية.

1.1 المركّبات الأليفاتية Aliphatic Compounds

تنقسم المركّبات الأليفاتية Aliphatic Compounds إلى مركّبات هيدروكربونية ومشتقّات هيدروكربونية.

(أ) المركّبات الهيدروكربونية Hydrocarbon Compounds

هي مركّبات عضوية تحتوي على الكربون والهيدروجين فقط وتنقسم إلى:

- المركّبات الهيدروكربونية المشبَّعة.
- المركّبات الهيدروكربونية غير المشبَّعة.

المركّبات المشبَّعة هي مركّبات جميع الروابط بين ذرّات الكربون فيها روابط تساهمية أحادية كالتي تظهر في الصيغة التركيبية لمركّبي الميثان والإيثان الموضّحين أدناه (راجع تهجين sp^3 في الجزء الأوّل):

ميثان

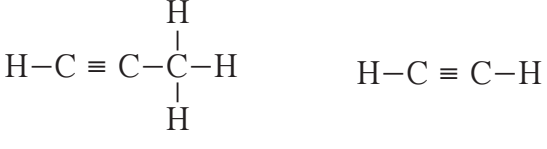
إيثان

المركّبات غير المشبَّعة هي مركّبات تحتوي، على الأقلّ، على رابطة تساهمية ثنائية واحدة بين ذرّتي كربون كالتي تظهر في الصيغة التركيبية لمركّبي الإيثين والبروبين، الموضّحين أدناه (راجع تهجين sp^2 في الجزء الأوّل):

إيثين

بروبين

أو، على الأقلّ، على رابطة تساهمية ثلاثية واحدة بين ذرّتي كربون كالتي تظهر في الصيغة التركيبية لمركّبي الإيثاين والبروباين الموضّحين أدناه (راجع تهجين sp في الجزء الأوّل):



إيثاين

بروباين

(ب) المشتقّات الهيدروكربونية Hydrocarbon Derivatives

هي مركّبات تحتوي على الكربون والهيدروجين وعناصر أخرى مثل الهالوجينات، الأكسجين، النيتروجين إلخ.

2.1 المركّبات العطرية الأروماتية
Aromatic Compounds

يرجع المصطلح العطري إلى البنزين C_6H_6 والمركّبات 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 للمركّب وكتلة كلّ من عناصره. تذكّر أنّ الصيغة الكيميائية لجزيء ما تمثّل ذرّات المركّب وعددها. لذلك كي نحصل على التركيبة الكيميائية لمركّب 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 $(C_x H_y O_z N_w)$.

الصيغ الكيميائية في الكيمياء العضوية أربعة أنواع:

- الصيغة الأوّلية
- الصيغة الجزيئية
- الصيغة التركيبية
- الصيغة التركيبية المكثّفة

والفرق بين الصيغة الأوّلية والصيغة الجزيئية هو أنّ **الصيغة الأوّلية Empirical Formula هي الصيغة التي تعبّر عن عدد ذرّات المركّب بأصغر رقم صحيح** في حين أنّ **الصيغة الجزيئية Molecular Formula هي الصيغة الواقعية أو الحقيقية للمركّب التي تمثّل مكوّنات جزيء المركّب.**

أمّا الصيغتان التركيبية والتركيبية المكثّفة فتعبّران عن ترتيب وارتباط ذرّات العناصر الداخلة في تركيب المركّب الكيميائي. سوف تُناقشان في الدروس اللاحقة.

الصيغة الأوّلية للجلوكوز مثلًا هي CH_2O، أمّا صيغته الجزيئية هي $C_6H_{12}O_6$.

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 المركّبات 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 المركّبات العضوية.
2. عدّد الصيغ التي تمثّل المركّبات العضوية.
3. أيّ من الأمثلة التالية صيغ أوّلية وأيّها صيغ جزيئية؟

(أ) C_6H_6 (ب) CH_2O (جـ) C_3H_8 (د) $C_6H_{12}O_6$

الدرس 1-2

الهيدروكربونات 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 مركّبات كثيرة تُسمّى الهيدروكربونات وهي من أبسط المركّبات العضوية ومن أهمّ مصادرها الغاز الطبيعي والموادّ البترولية . يُعتبَر الميثان، البروبان والبيوتان من أكثر الغازات الطبيعية وفرة التي تُستَعمل كمصدر للطاقة لإنتاج عدد من المركّبات العضوية . ما هي الهيدروكربونات المشبَّعة وبماذا تتميّز مركّباتها؟

1. الهيدروكربونات Hydrocarbons

تدرس الكيمياء العضوية في العصر الحاضر جميع مركّبات الكربون بغضّ النظر عن مصادرها . وهناك حاليًّا ما يزيد عن عشرة ملايين مركّب عضوي وجميعها ذات خواصّ قيّمة وعديدة . أحد الأسباب التي تُعزى إليها وفرة المركّبات العضوية هو قدرة الكربون المميّزة على الترابط

(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 تصاعديًّا بحسب عدد ذرّات الكربون في السلسلة.

تُعتَبر الألكانات مستقيمة السلسلة مثالًا على **السلاسل المتشابهة التركيب (المتتالية المتجانسة) Homologous Series**، حيث أنّ **كلّ مركّب مختلف عن الذي يسبقه بزيادة مجموعة ميثيلين "CH_2" واحدة فقط.**

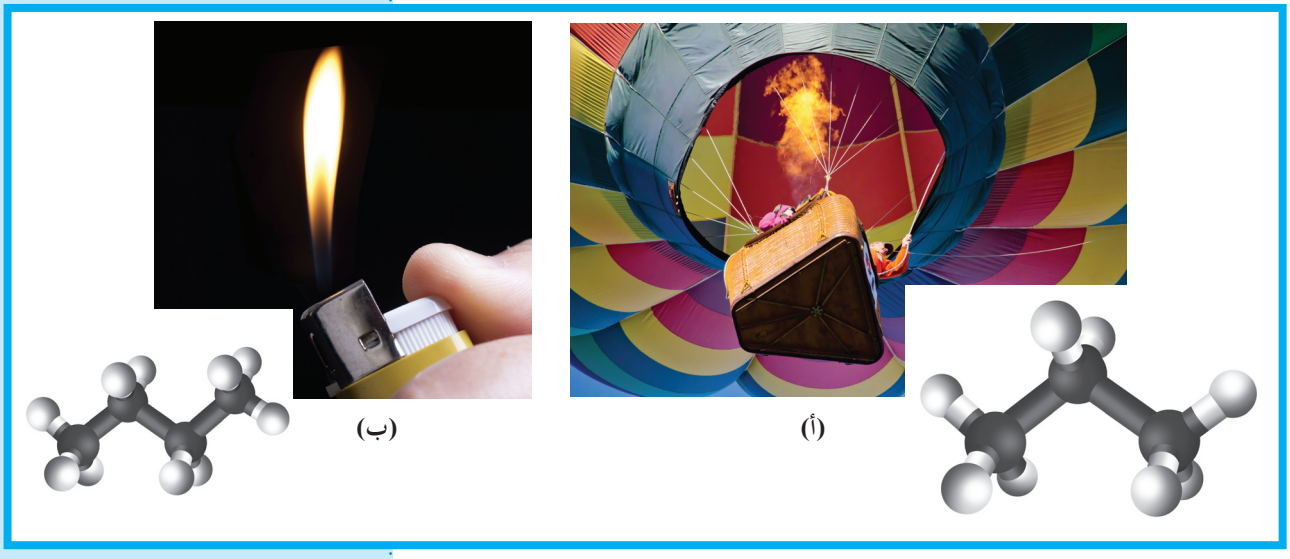
معلومات إثرائية

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.

الصيغة الجزيئية	الصيغة التركيبية المكثَّفة	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)
المركَّبات 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 .



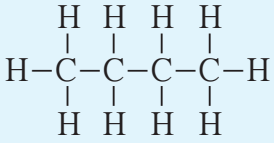
(أ)

(ب)

شكل (26)
(أ) يُستَعمل البروبان الذي يمكن تمييعه تحت ضغوط مرتفعة كوقود لمنطاد الهواء الساخن ويحفَظ عادة في أسطوانات .
(ب) يُستخدم البيوتان في الكثير من الولّاعات .

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.**

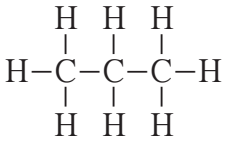
طبّق قواعد الترابط كربون – هيدروجين (C – H) وكربون – كربون (C – C). بما أنّهما ألكانان مستقيما السلسلة تشكّل ذرّات الكربون خطًّا مستقيمًا، ثمّ تصل رابطة تساهمية أحادية ما بين كلّ ذرّة كربون وأخرى ثمّ تُستكمل السلسلة بذرّات الهيدروجين بحيث تكوّن كلّ ذرّة كربون أربع روابط تساهمية أحادية.

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

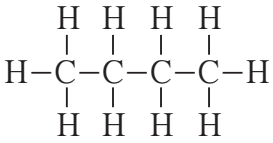
تتصل ذرّات الكربون في الألكان مستقيم السلسلة الذي يحتوي على ثلاث ذرّات كربون في خطّ مستقيم، وبالتالي صيغته التركيبية مؤلّفة من ذرّة كربون مركزية في الوسط تتصل بذرّتي

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.



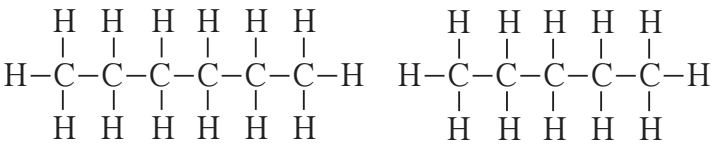
3. **قيّم: هل النتيجة لها معنى؟**

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 المركّب المحتوي على ذرّة كربون واحدة، والإيثان ذلك المحتوي على ذرّتي كربون والبروبان ذلك المحتوي على ثلاث ذرّات كربون إلخ.

ما اسم الألكان مستقيم السلسلة الذي يحتوي على ست ذرّات كربون؟ وذلك الذي يحتوي على ثماني ذرّات كربون؟ وما عدد ذرّات الكربون التي يحويها جزيء البيوتان؟

نظرًا لأهمّية المركّبات العشرة الأوائل وبما أن أسماءها تُستَخدم كقاعدة في تسمية الكثير من المركّبات 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

ألكيلية شائعة وهي مجموعة الميثيل ($-CH_3$) ومجموعة الإيثيل ($-CH_3CH_2$) ومجموعة البروبيل ($-CH_3CH_2CH_2$).

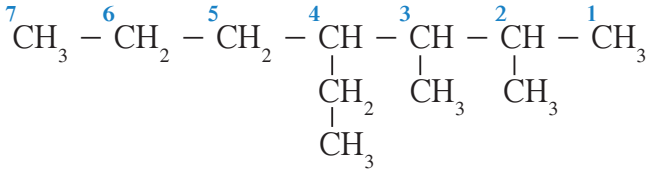
كما تلاحظ، تتألّف مجموعة الألكيل من الألكان المقابل بعد نزع ذرّة الهيدروجين. ونلاحظ أيضًا أنّه عند تسمية المجموعات الألكيلية، نحذف المقطع «ان» من اسم الهيدروكربون الأساسي (الألكان) ونضيف المقطع «يل». ما اسم مجموعة الألكيل ذات الصيغة $-CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2$؟

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 المركّبات العضوية. تجدها في ما يلي ونأخذ المركّب التالي كمثال تُطبّق عليه هذه القواعد.



الخطوة الأولى: حدِّد سلسلة ذرّات الكربون الأطول في الجزيء كأساس لتسمية أي مركّب هيدروكربوني أو أحد مشتقّاته. في المثال الموضّح تتألّف السلسلة 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 الموضّح تكون أسماء المجموعات البديلة ومواقعها كالتالي: 2 – ميثيل و3 – ميثيل و4 – إيثيل.

هل تعلم؟

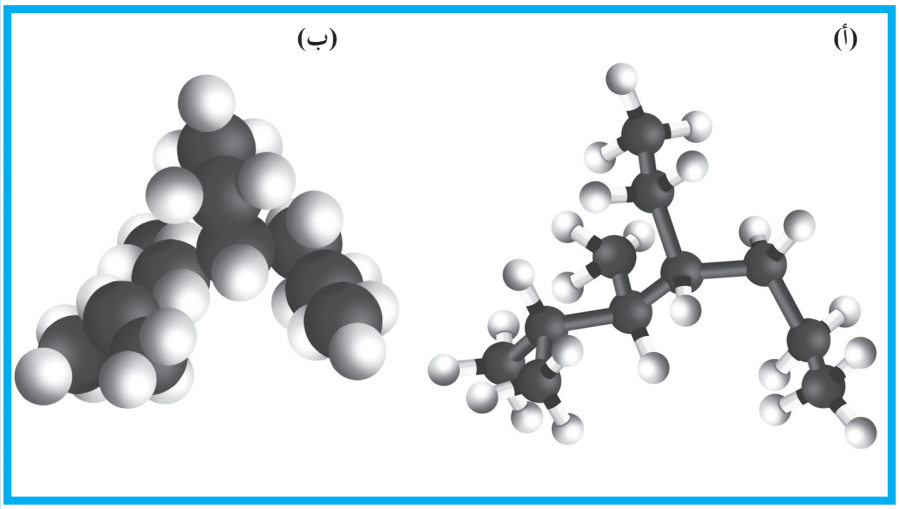
الكلورفلوروكربونات Chlorofluorocarbons (CFC) هي مركّبات عضوية تتكوّن من الكربون، والفلور، الكلور والهيدروجين تُصنّع تحت اسم فريون Freon. وقد طُوِّرت في ثلاثينيات القرن العشرين وشاع استخدامها بعد الحرب العالمية الثانية في أجهزة التبريد وفي رذاذ الأيروسولات. إلّا أنّ مساهمة هذه المركّبات في اتساع ثقب الأوزون، أدّى إلى الحدّ من استعمالها وإلى إصدار التشريعات التي تحذّر منها.

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.

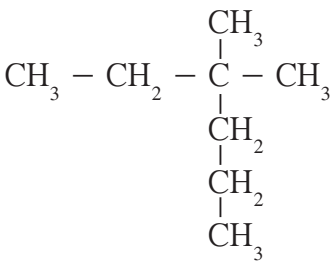


شكل (27)
نموذج الكرة والعصا (أ) ونموذج التعبئة المجسّمة (ب) للمركَّب العضوي
4 – إيثيل – 2، 3 – ثنائي ميثيل الهبتان

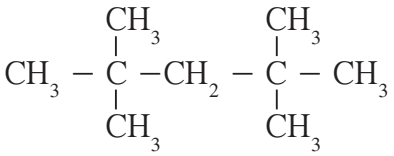
مثال (2)

سمّ المركّبات التالية مستخدمًا نظام IUPAC . لاحظ أن السلسلة الأطول لم تُكتَب في خط مستقيم في الجزيء (أ) .

(أ)



(ب)



طريقة التفكير في الحلّ

1. **حلّل: صمّم خطّة استراتيجية لحلّ السؤال .**

اتبع الخطوات لتسمية كلّ مركّب بحسب قواعد IUPAC . جِد سلسلة ذرّات الكربون الأطول وسمّها . رقّم 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 المركّب . 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 .

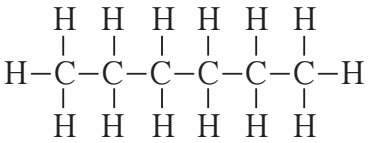
3. **قيّم: هل النتيجة لها معنى؟**

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 .

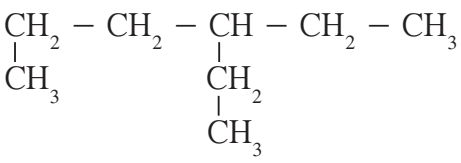
أسئلة تطبيقية وحلّها

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).

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).

$$\overset{1}{CH_3}-\overset{2}{CH_2}-\overset{3}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}}-\overset{4}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}}-\overset{5}{CH_2}-\overset{6}{CH_3}$$

(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).

$$\overset{1}{CH_3}-\overset{2}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\underset{|}{C}}}}-\overset{3}{CH_2}-\overset{4}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}}-\overset{5}{CH_3}$$

3. **قيّم: هل النتيجة لها معنى؟**

لقد كُتِبت السلاسل الأطول ورُقِّمت بشكل صحيح ووُضعت المجموعات البديلة على ذرّات الكربون، وتمّ تحديدها من اسم المركّب وأضيف العدد الصحيح لذرّات الهيدروجين.

أسئلة تطبيقية وحلّها

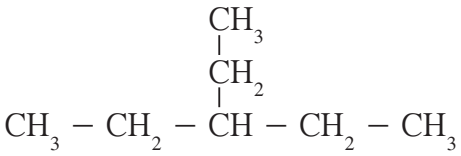
اكتب الصيغ التركيبية للمركّبات التالية:

(أ) 3 – إيثيل البنتان

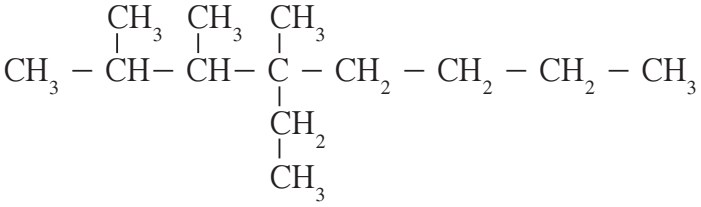
(ب) 4 – إيثيل – 2، 3، 4 – ثلاثي ميثيل الأوكتان .

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 المركّبين غير القطبيين يكوّنان محلولًا وكذلك المركّبين القطبيين. ولكنّ المركّب غير القطبي والمركّب 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؟

الدرس 1-3

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} .

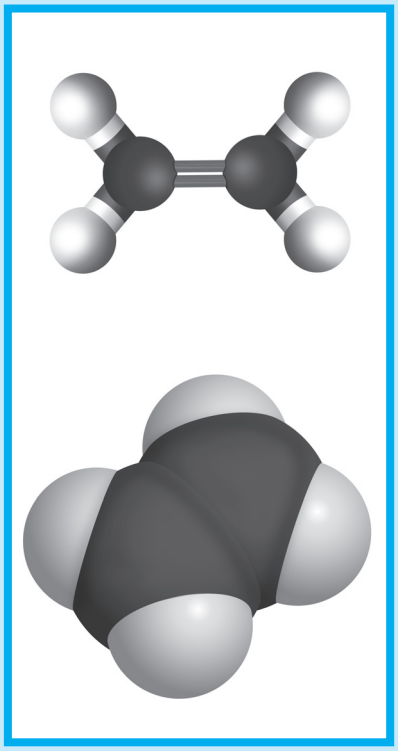
$$\diagdown C = C \diagup$$

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

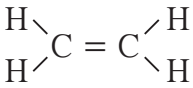
لكي تُسمّي الألكينات تبعًا لنظام IUPAC ، جد السلسلة الأطول في الجزيء التي تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية التي تعتبر الألكين الرئيسي . تتألّف أسماء الألكينات المستقيمة السلسلة من قسمين أيضًا . يدلّ الأوّل منهما ، وهو المستخدم في الألكانات أيضًا ، على عدد ذرّات الكربون الموجودة في المركَّب: «إيث» ذرّتان «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 .

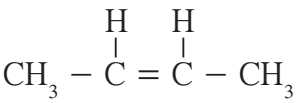


شكل (29)
تقع ذرّات الإيثين الستّ (ذرّتا كربون و4 ذرّات هيدروجين) في مستوى واحد . هل يمكن أن تدور حول الرابطة التساهمية الثنائية؟

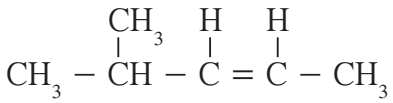
$CH_2 = CH - CH_2 - CH_3$
1– بيوتين

بروبين (بروبيلين)


إيثين
(إيثيلين)



2– بيوتين



4– ميثيل – 2– بنتين

ويُعتبر الإيثين والبروبين أبسط الألكينات ، وغالبًا ما يُستَخدم اسماهما القديمان أي الإيثيلين والبروبلين .

يوضّح 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 .

2. الألكاينات Alkynes

تُسمّى الهيدروكربونات التي تحتوي على رابطة كربون – كربون تساهمية ثلاثية الألكاينات Alkynes وهي، على غرار الألكينات، مركّبات غير مشبَّعة، وصيغتها الجزيئية العامة هي C_nH_{2n-2}.

$$-C \equiv C-$$

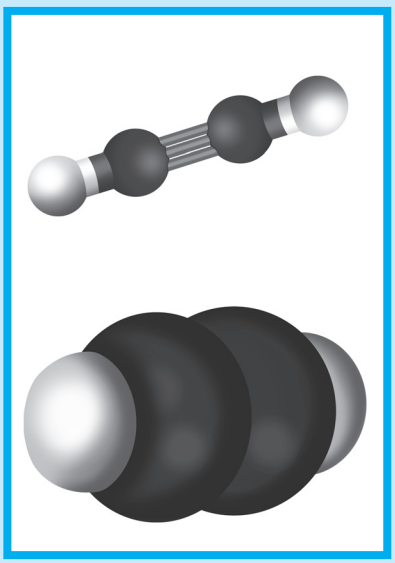
يوضِّح الجدول (7) الصيغ العامة للألكانات، الألكينات والألكاينات والصيغ التركيبية لأبسط مركّباتها.

العائلة	الرابطة كربون–كربون	الصيغة العامة	أبسط مركّب	
			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 مركّبات الألكانات، الألكينات والألكاينات

لا تتواجد الألكاينات بوفرة في الطبيعة، وأبسط هذه المركّبات وأهمّها على الإطلاق هو $CH \equiv CH$ الذي يُطلَق عليه اسم إيثاين أو الاسم الأكثر شيوعًا الأستيلين. هذا المركّب 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.

الاسم	التركيبة 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.

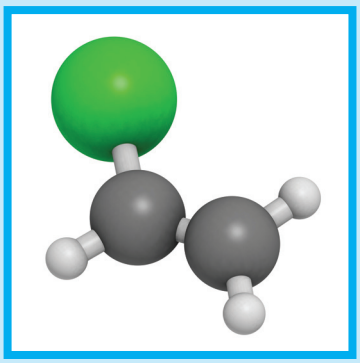
فقرة إثرائية

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 مركّبات كلوريد الفينيل $CH_2 = CHCl$، ولكن ثمّة تحذيرات بشأن استعماله لأنّه بوليمر غير مستقرّ 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.



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:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{طاقة}$$

$$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + \text{طاقة}$$

$$C_2H_2 + \frac{5}{2} O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O + \text{طاقة}$$

(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:

$$-\overset{|}{\underset{|}{C}}-H + X-X \longrightarrow -\overset{|}{\underset{|}{C}}-\boxed{X + H}-X$$

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 محفِّزة، وينتج منها تكوين مركَّبات مشبَّعة.

• إضافة الهيدروجين (H_2):

تتمّ هذه العملية بوجود النيكل (Ni) كمادّة محفّزة على درجة حرارة تقارب 200 °C وبحسب المعادلات التالية:

ألكين:

$$C_nH_{2n} + H_2 \xrightarrow[\text{ألكان}]{Ni,\ 200\ ^\circ C} C_nH_{2n+2}$$

ألكاين:

$$C_nH_{2n-2} + H_2 \xrightarrow[\text{ألكين}]{Ni,\ 200\ ^\circ C} C_nH_{2n}$$

$$C_nH_{2n} + H_2 \xrightarrow[\text{ألكان}]{Ni,\ 200\ ^\circ C} C_nH_{2n+2}$$

مثال عليها:

$$\begin{cases} CH \equiv CH + H_2 \xrightarrow{Ni,\ 200\ ^\circ C} CH_2 = CH_2 \\ CH_2 = CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni,\ 200\ ^\circ C} CH_3 - CH_3 \end{cases}$$

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 (Cl_2 الكلور):

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 هيدروجين HX (HCl):

في حالة الألكين، ينتج من هذا التفاعل تكوين مركّبات مشبّعة أحادية الهالوجين بحسب المعادلة التالية:

$$C_nH_{2n} + HX \longrightarrow C_nH_{2n+1}X$$

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:

$$CH_2 = CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl$$

$$\begin{cases} CH \equiv CH + HCl \longrightarrow CH_2 = CHCl \\ CH_2 = CHCl + HCl \longrightarrow CH_3CHCl_2 \end{cases}$$

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.

$$CH_3 - CH = CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3 - CHCl - CH_3$$

• 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):

$$C_nH_{2n-2} + H_2O \xrightarrow[HgSO_4,\ 80^\circ C]{H_2SO_4} C_nH_{2n}O$$

مثال عليه:

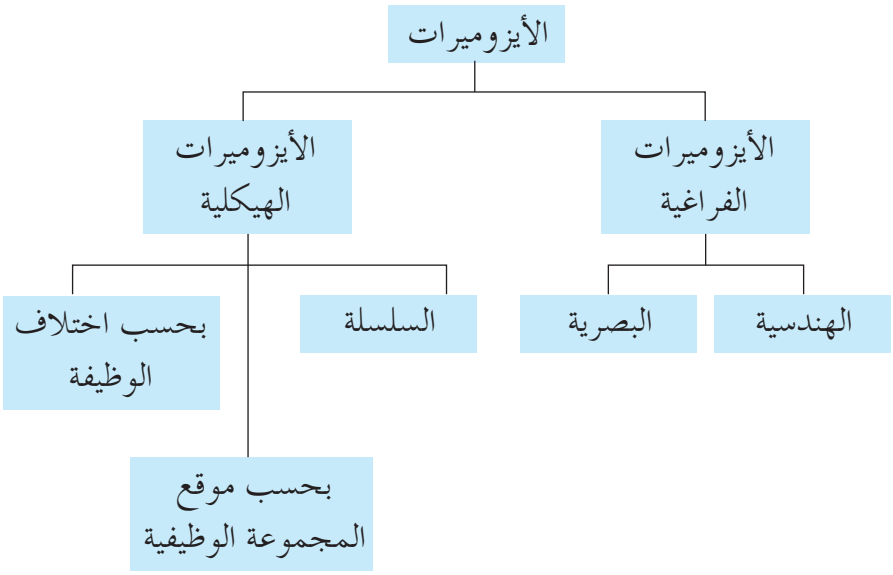
$$CH \equiv CH + H_2O \xrightarrow[HgSO_4,\ 80^\circ C]{H_2SO_4} CH_3 - \overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}} - H$$

$$CH_3 - C \equiv C - CH_3 \xrightarrow[HgSO_4,\ 80^\circ C]{H_2SO_4} CH_3 - \overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}} - CH_2 - CH_3$$

نشير في الختام إلى أنّ الخواصّ الكيميائية للهيدروكربونات لا تُحصى ولا يزال علم الكيمياء يكتشف كلّ يوم قدرة ذرّة الكربون على تكوين مركّبات جديدة.

4. أيزوميرات (متشاكلات) Isomers

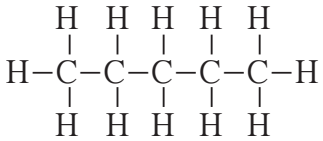
تُسمَّى أيزوميرات Isomers الجزيئات التي تمتلك نفس الصيغة الجزيئية ولكنّها تختلف من حيث الصيغة التركيبية أو التركيب البنائي. تشتقّ كلمة أيزومير من اليونانية وتعني «أجزاء متساوية» تتكوّن الأيزوميرات في الكيمياء العضوية من الصيغة الجزيئية نفسها ولكنّها تختلف من حيث الصيغ التركيبية والخواصّ. هناك عدّة أنواع من الأيزوميرات كما يُظهِر الشكل (31) ولكنّنا سنكتفي بدراسة الأيزوميرات الهيكلية.



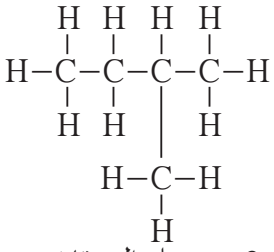
شكل (31)
أنواع الأيزوميرات

1.4 أيزوميرات السلسلة Skeletal Isomers

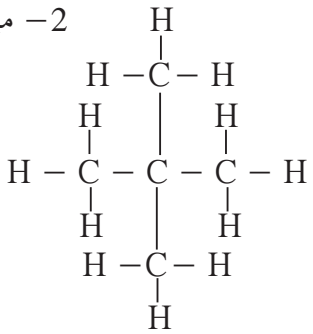
تتألّف هذه الأيزوميرات من عدد الذرّات نفسه ولكنّها تختلف في ترتيب الذرّات والروابط في ما بينها أي في صيغها التركيبية، مثال عليها أيزوميرات البنتان (C_5H_{12}) الموضّحة أدناه. ويتّضح هذا النوع في الألكانات التي تحتوي على روابط أحادية بين ذرّات الكربون. وبالتالي، لا يوجد أيّ احتمال للتغيير في الصيغة التركيبية عند ترتيب السلسلة الكربونية.



بنتان



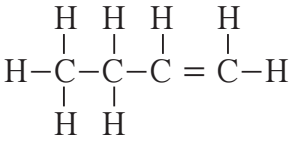
2- ميثيل البيوتان



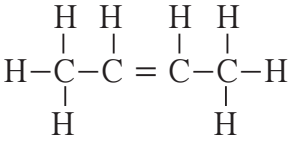
2، 2- ثنائي ميثيل البروبان

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 من حيث موقع المجموعة الوظيفية المميّزة.
مثال على ذلك، البيوتين (C_4H_8):



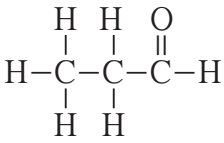
1− بيوتين



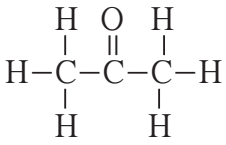
2− بيوتين

3.4 أيزوميرات اختلاف الوظيفة Function Isomers

تنشأ هذه الأيزوميرات عند تغيّر نوع المجموعة الوظيفية على سلسلة الكربون الرئيسية فتختلف وظيفة المركّب، وهي مركّبات لها الصيغة الجزيئية نفسها ولكنّها تختلف في الصيغة التركيبية ونوع المجموعة الوظيفية المميّزة لنوع معيّن من المركّبات. مثال على ذلك C_3H_6O:



بروبانال (ألدهيد)



بروبانون (كيتون)

$$CH_2 = CH - CH_2 - OH$$

كحول غير مشبَّع

مثال آخر على ذلك C_2H_6O:

الإيثانول (كحول أوّلي)

ثنائي ميثيل إيثر

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.

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

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؟

في بعض مركّبات الهيدروكربونية، يتصل طرفا سلسلة الكربون لتشكّل حلقة. تُسمّى **المركّبات التي تحتوي على حلقة كربون هيدروكربونات حلقية Cyclic Hydrocarbons**. ويوضّح 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.

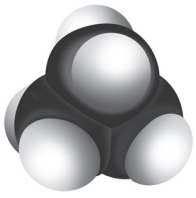
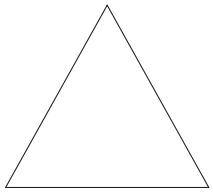
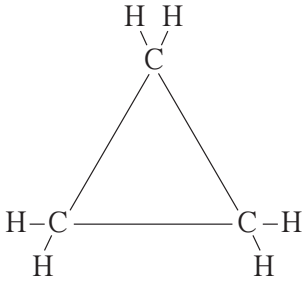
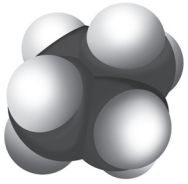
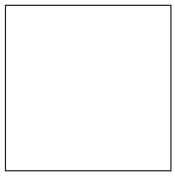
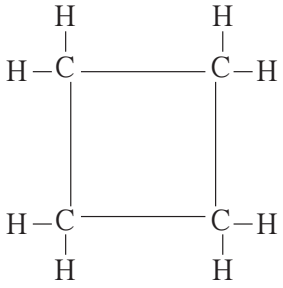
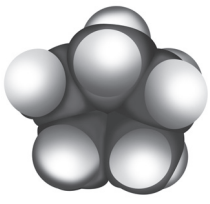
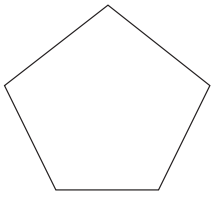
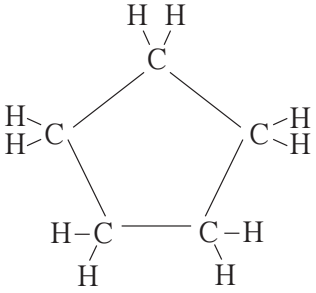
شكل (33)
نبات الفانيليا

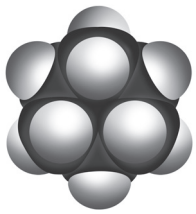
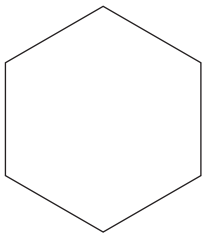
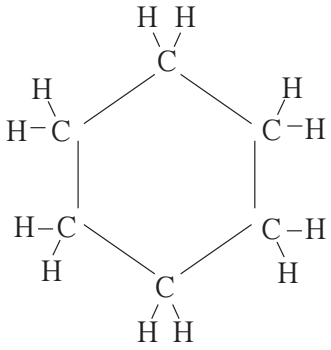
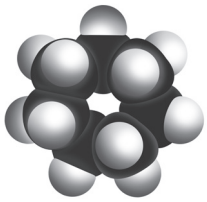
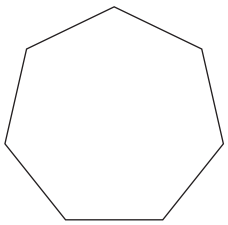
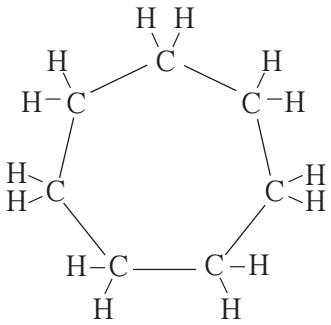
تُعرَف المجموعة الخاصة من الهيدروكربونات الحلقية غير المشبّعة بالأرينات Arenes وتحتوى هذه المركّبات على حلقات مفردة أو مجموعات حلقات.

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).

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)

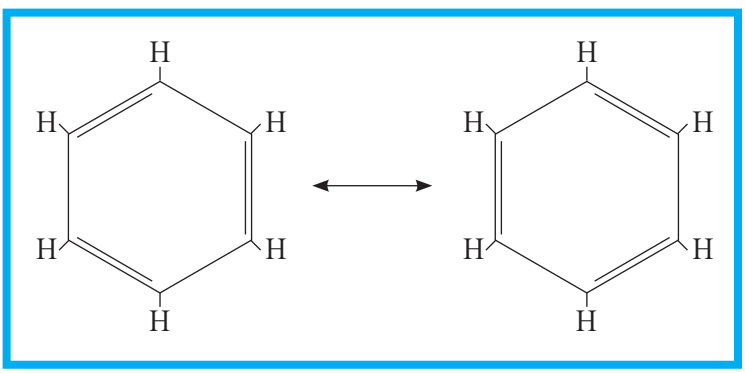
أشكال الحلقات	تمثيل الحلقات المقفلة		ألكانات حلقية
			هكسان حلقي (درجة الغليان 81.4 °C)
			هبتان حلقي (درجة الغليان 118 °C)

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

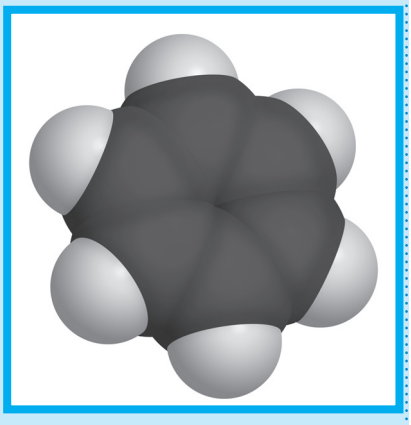
خواصّ البنزين

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/cm^3
الذوبان في الماء (عند : 25 °C)
0.18 g/100 mL
يمتزج بـ: الكحول، الكلوروفورم، الإيثر ومذيبات عضوية أخرى.

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.

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.

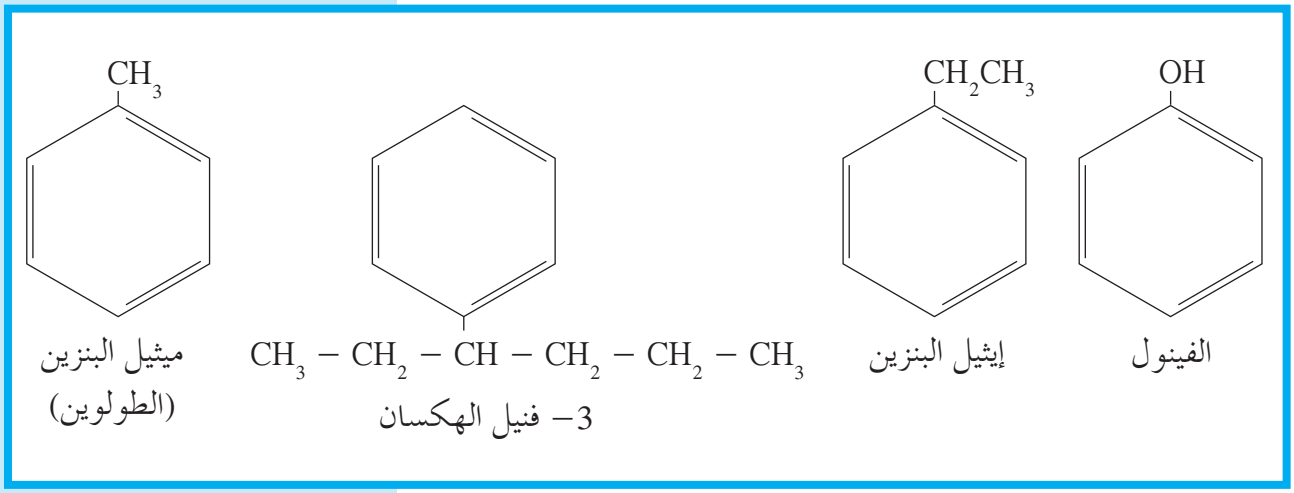


شكل (35)
نموذج التعبئة المجسّمة للبنزين

1.1 مجموعات بديلة متصلة بالمركَّبات العطرية

Substituents on Aromatic Rings

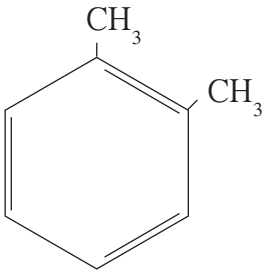
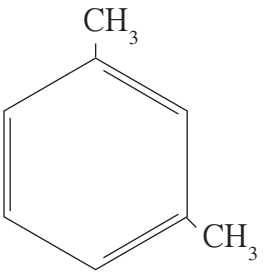
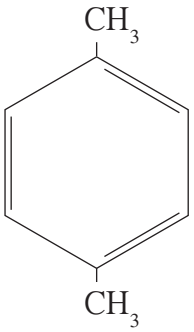
تُسمَّى المركَّبات التي تحتوي على مجموعات بديلة متصلة بحلقة بنزين مشتقّات البنزين. وفي بعض الأحيان تُعتبَر الحلقة البنزينية المجموعة البديلة، ويُعتبَر اسم السلسلة الكربونية الأطول الاسم الأساسي للمركَّب، يُطلَق في هذه الحالة على الشق (C_6H_5-) اسم مجموعة الفنيل (شكل 36).



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، تُستَعمل الأرقام 1، 2 و1، 3 و1، 4 والمصطلحات «أورثو» و «ميتا» و «بارا» لتحديد مواقع المجموعات البديلة في الأسماء العامّة لمشتقّات البنزين الثنائية.

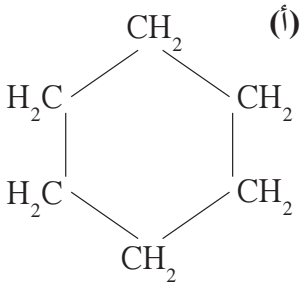
اسم المركَّب	الصيغة التركيبية	درجة الغليان (^oC)
1، 2– ثنائي ميثيل البنزين أو أورثو ثنائي ميثيل البنزين (o–Xylene)		144
1، 3– ثنائي ميثيل البنزين أو ميتا ثنائي ميثيل البنزين (m–Xylene)		139
1، 4– ثنائي ميثيل البنزين أو بارا ثنائي ميثيل البنزين (p–Xylene)		138

جدول (10)
أيزوميرات مركَّب ثنائي ميثيل البنزين المختلفة

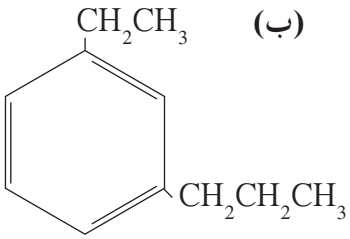
مراجعة الدرس 2-1

1. سمّ المركّبات التالية.

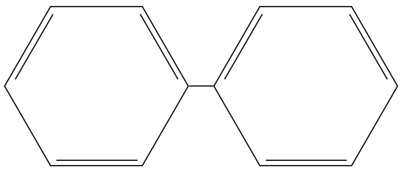
(أ)



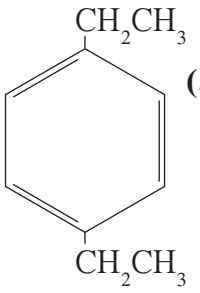
(ب)



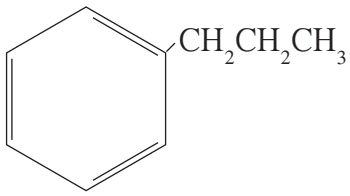
(جـ)



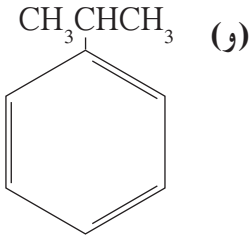
(د)



(هـ)



(و)



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 المركّبين.

الدرس 2-2

الهيدروكربونات 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؟

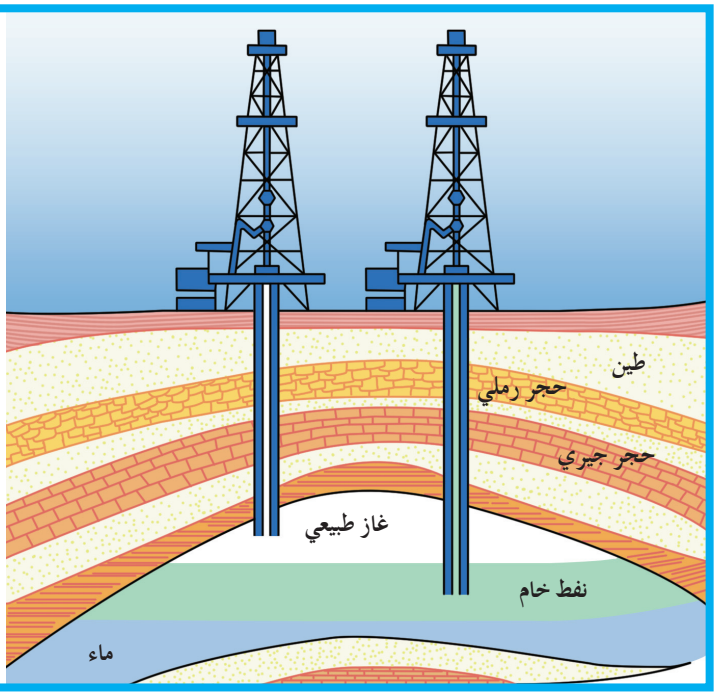
1. الغاز الطبيعي Natural Gas

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 مركّبات 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.

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.

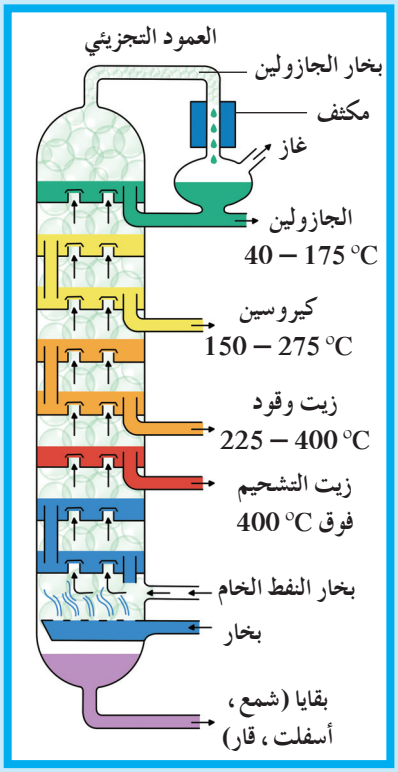
2. البترول Petroleum

المركّبات 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 مركّبات 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 متنوّعة.

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، تُعتَبر 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 المركّبات التي تمتلك أعلى درجات غليان بالقرب من القاع، بينما تتكثّف أجزاء المركّبات 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 المُستخلَصة من النفط الخام

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 منظّمة الدول المصدِّرة للبترول من حيث الإنتاج. يتركّز 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)

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
مركّب أليفاتي	Aliphatic compound	مركّب عضوي	Organic Compound
مركّب 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) مركّبات الكربون العضوية

- صُنّفت المركّبات العضوية إلى مركّبات مشبّعة ومركّبات غير مشبّعة بحسب أنواع الروابط بين ذرّات الكربون فيها.
- تُعبِّر الصيغة الأوّلية لمركّب ما عن عدد ذرّاته بأصغر عدد صحيح وتمثّل الصيغة الجزيئية مكوّنات جزيء هذا المركّب. يمكن الحصول على الصيغة الجزيئية بضرب الصيغة الأوّلية بمضاعف "n".

(2–1) الهيدروكربونات المشبّعة

- الهيدروكربونات هي مركّبات تحتوي فقط على ذرّات كربون وهيدروجين، وتحتوي الألكانات أو الهيدروكربونات المشبّعة 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 مركّبات هذه المجموعة وهو المقطع «ان».

(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.

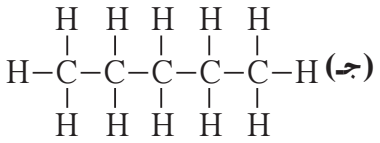
خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المفاهيم الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة تُنظّم الأفكار الرئيسية التي جاءت في الوحدة:

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)



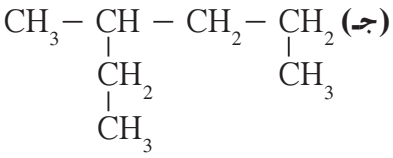
4. اكتب الصيغ التركيبية للمجموعات الألكيلية المشتقّة من الميثان والإيثان والبروبان.
5. لماذا تُعتبر الأسماء التالية غير صحيحة؟ وما الأسماء الصحيحة؟

(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)



7. لماذا تُعتبَر جزيئات الألكانات غير قطبية؟
8. اشرح لماذا لا يمكنك كتابة صيغة تركيبية للميثين.
9. اكتب الأسماء المركّبات التالية بحسب نظام IUPAC:

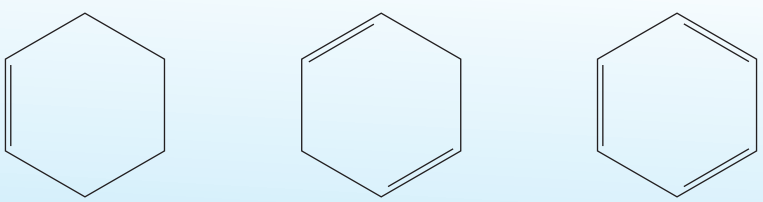
(أ) $CH_3CH=CH_2$ (ب) $CH_3CH(CH_3)CH_2CH=CH_2$

(جـ) $(CH_3)_2C=C(CH_2CH_3)_2$ (د) $CH_2=CHCH_2CH(CH_2CH_3)_2$

10. اكتب الصيغة التركيبية لكلّ مركّب ممّا يلي:

(أ) بارا – ثنائي إيثيل البنزين (ب) 2 – ميثيل – 3 – فنيل البنتان

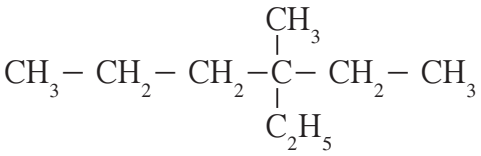
11. اكتب معادلة توضّح الاحتراق التام للأوكتان (C_8H_{18}).
12. اذكُر أسماء المركّبات الثلاثة التي تلي الإيثان من حيث عدد ذرّات الكربون.
13. قارن بين التراكيب الجزيئية التالية. ما الشكل الأكثر ثباتًا؟ ولماذا؟



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:



(أ) 3 – إيثيل – 3 – ميثيل الهكسان (ب) 3 – ميثيل – 3 – بروبيل البنتان

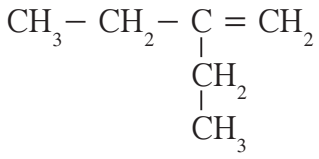
(جـ) 2، 2 – ثنائي إيثيل البنتان (د) 4 – إيثيل – 4 – ميثيل الهكسان

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:



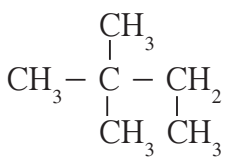
(أ) 2 – إيثيل – 1 – بيوتين (ب) 2 – إيثيل – 2 – بيوتين

(جـ) 1 – ميثيل – 1 – بنتين (د) 1 – ميثيل – 2 – بنتين

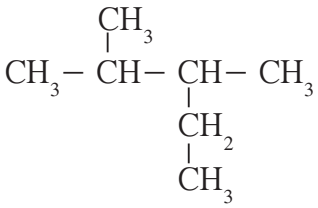
اختبر مهاراتك

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:

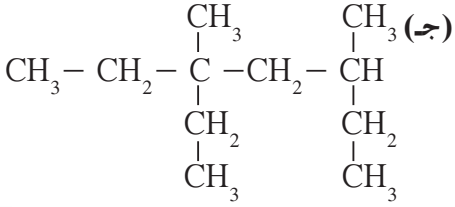
(أ)



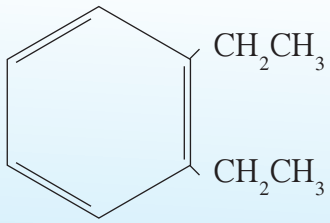
(ب)

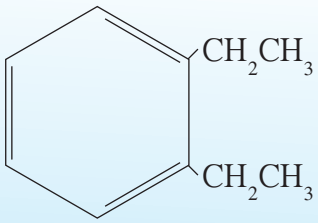


(جـ)



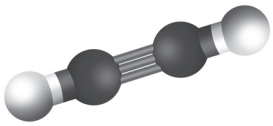
4. وضّح سبب اعتبار أنّ التركيبين التاليين يمثّلان المركّب 1، 2 – ثنائي إيثيل البنزين.



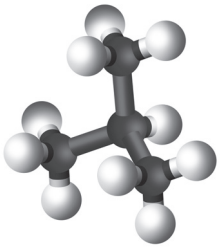


5. تعرّف على نوع الروابط واسم المركَّب لكلّ من الهيدروكربونات التالية:

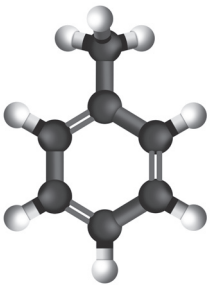
(أ)



(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.

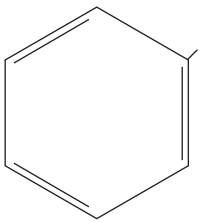
8. طابق المركَّبات العضوية التالية بالصيغة أو الصيغ المقابلة لها. يمكن أن يطابق كلّ مركَّب عضوي أكثر من صيغة واحدة.

(أ) ألكاين (ب) ألكين (جـ) مركَّب عطري (د) ألكان

(هـ) هيدروكربون مشبَّع (و) هيدروكربون غير مشبَّع

(1) $CH_3 - CH = CH_2$

(2)



(3) $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$

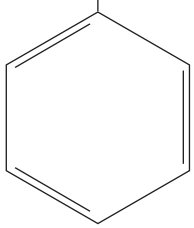
(4) $CH \equiv CH$

9. طابق المركَّبات 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) $CH_3 - CH - CH_2 - CH_3$



(2) $CH_3 - CH_2 - CH(CH_2 - CH_3) - CH(CH_2 - CH_3) - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$

(3) $CH_3 - CH = CH - CH_2 - CH_3$

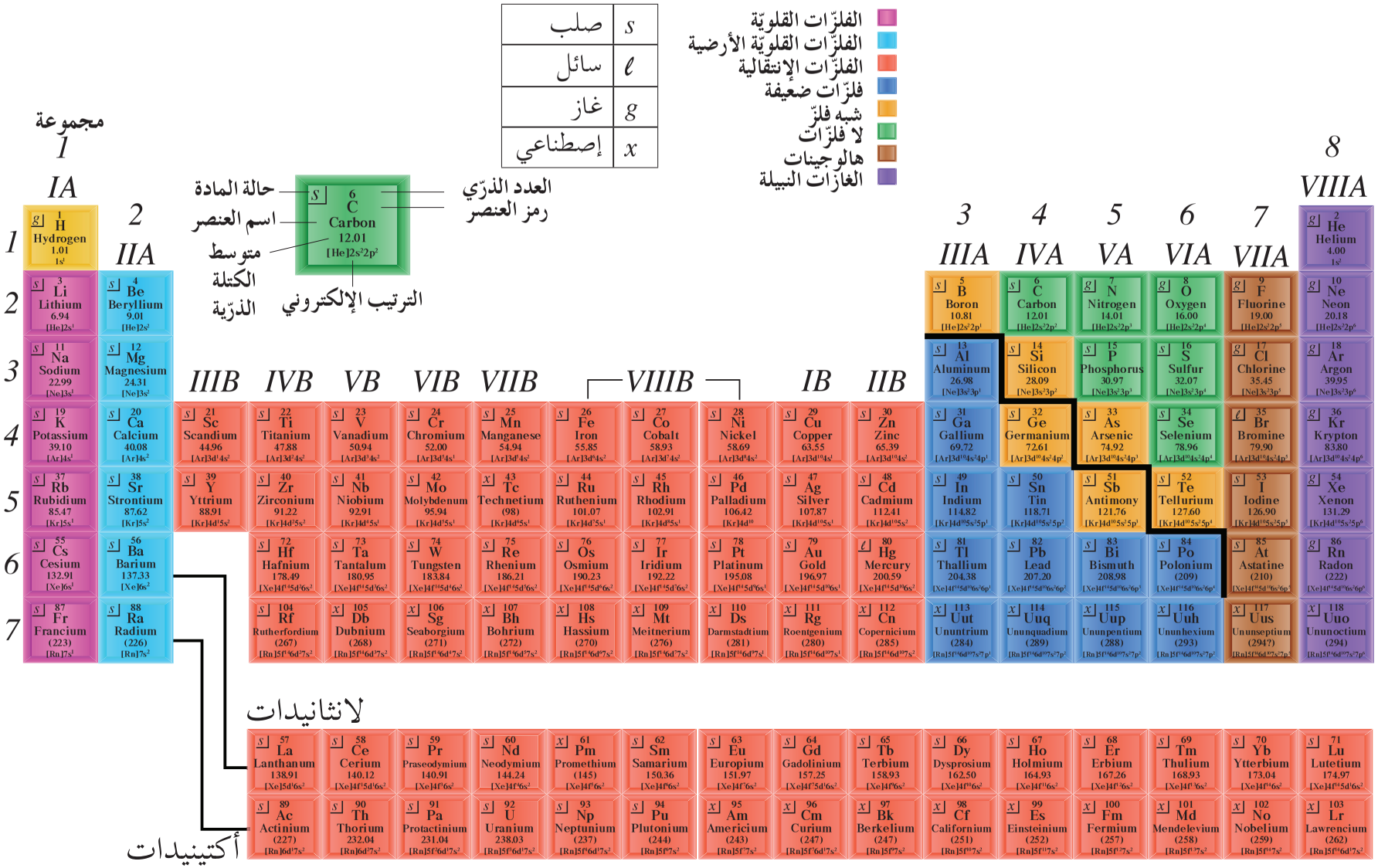
(4) $CH_3 - CH_2 - CH(CH_3) - CH = CH - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$

(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.

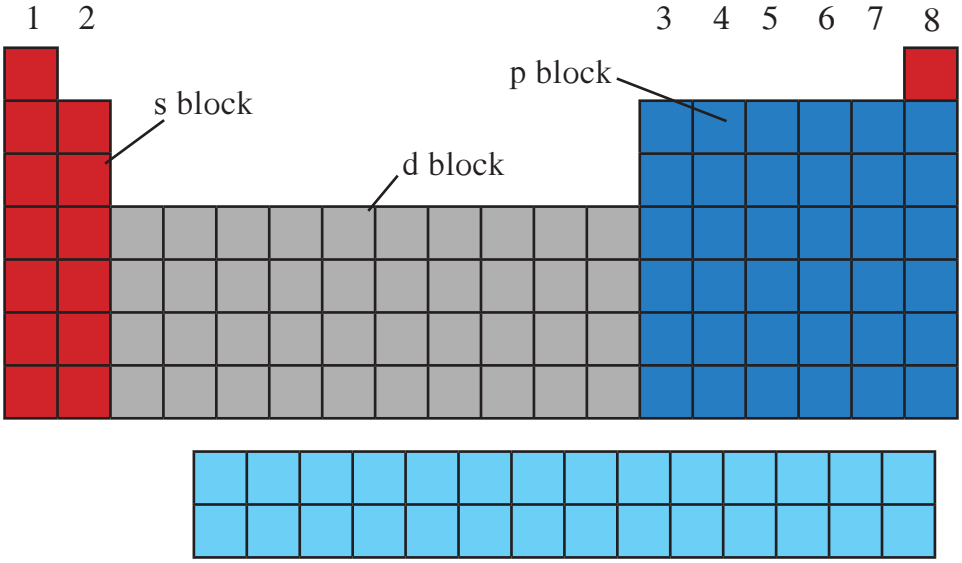
ملاحظات


مجموعة
1
IA
2
IIA
3
IIIA
4
IVA
5
VA
6
VIA
7
VIIA
8
VIIIA
3
IIIB
4
IVB
5
VB
6
VIB
7
VIIB
VIIIB
1
IB
2
IIB
1
2
3
4
5
6
7
حالة المادة
اسم العنصر
متوسط الكتلة الذرّية
العدد الذرّي
رمز العنصر
الترتيب الإلكتروني
6
C
Carbon
12.01
[He]2s²2p²
صلب s
سائل ℓ
غاز g
إصطناعي x
الفلزّات القلويّة
الفلزّات القلويّة الأرضية
الفلزّات الإنتقالية
فلزّات ضعيفة
شبه فلزّ
لا فلزّات
هالوجينات
الغازات النبيلة
لانثانيدات
أكتينيدات

جهود الاختزال القياسية عند الظروف القياسية

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
Cd^{2+}/Cd	$Cd^{2+} + 2e^- \rightarrow Cd$	−0.40
$PbSO_4/Pb$	$PbSO_4 + 2e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$	−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
Sn^{4+}/Sn^{2+}	$Sn^{4+} + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}$	+0.15
$AgCl/Ag$	$AgCl + e^- \rightarrow Ag + Cl^-$	+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
O_2/H_2O_2	$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	+0.70
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
$Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1.33
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
H_2O_2/H_2O	$H_2O_2 + H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.78
F_2/F^-	$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	+2.87

إلكترونات التكافؤ



ملاحظة:

تنتمي الغازات النبيلة إلى المجموعة 8. بالتالي، يكون عدد إلكترونات التكافؤ في هذه المجموعة 8، باستثناء عنصر الهيليوم بحيث يساوي عدد إلكترونات تكافئه 2 لأنّه يملك فلك s فحسب الذي يتّسع إلى إلكترونين فقط.

أعداد التأكسد

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 في 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 في الفلزّ (في هيدريدات الفلزّات)	−1
عدد تأكسد OH^-، NO_3^-	−1
عدد تأكسد NH_4^+	+1
عدد تأكسد SO_4^{2-}، CO_3^{2-}	−2
عدد تأكسد NH_3، H_2O (مركّبات متعادلة)	صفر

درجة الغليان والإنصهار لبعض الألكانات ، الألكينات و الألكاينات

الصيغة الجزيئية	الإسم	درجة الغليان (°C)	درجة الإنصهار (°C)
الألكانات			
CH_4	ميثان	−161	−183
C_2H_6	إيثان	−88.5	−172
C_3H_8	بروبان	−42	−187
C_4H_{10}	بيوتان	−0.5	−138
C_5H_{12}	بنتان	36	−130
C_6H_{14}	هكسان	68.7	−95
C_7H_{16}	هبتان	98.5	−91
C_8H_{18}	أوكتان	125.6	−57
C_9H_{20}	نونان	150.7	−54
$C_{10}H_{22}$	ديكان	174.1	−30
الألكينات			
C_2H_4	إيثين	−103.9	−169
C_3H_6	بروبين	−47	−185.2
C_4H_8	1−بيوتين	−6.3	−185.2
C_5H_{10}	1−بنتين	30	−165.2
C_6H_{12}	1−هكسين	63.5	−138
C_7H_{14}	1−هبتين	93	−119
C_8H_{16}	1−أوكتين	122.5	−104
C_9H_{18}	1−نونين	146	−81.4
$C_{10}H_{20}$	1−ديكين	171	−87
الألكاينات			
C_2H_2	إيثاين	−81.8	−80
C_3H_4	بروباين	−23.3	−101.5
C_4H_6	1−بيوتاين	8.6	−122
C_5H_8	1−بنتاين	40	−98
C_6H_{10}	1−هكساين	72	−124
C_7H_{12}	1−هبتاين	100	−80
C_8H_{14}	1−أوكتاين	126	−70
C_9H_{16}	1−نوناين	151	−65
$C_{10}H_{18}$	1−ديكاين	182	−36