



وزارة التربية

11

# الكيمياء

## الصف الحادي عشر

الجزء الثاني

كتاب الطالب

المرحلة الثانوية

الطبعة الثانية





وزارة التربية

# الكيمياء

11

الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الجزء الثاني

المرحلة الثانويّة

اللجنة الإشرافية لدراسة ومواءمة سلسلة كتب العلوم

أ. بّراك مهدي بّراك (رئيساً)

أ. مصطفى محمد مصطفى

أ. سعاد عبد العزيز الرشود

أ. تهاني زعار المطيري

أ. فتوح عبد الله طاهر الشمالي

الطبعة الثانية

1438 - 1439 هـ

2017 - 2018 م

فريق عمل دراسة ومواءمة كتب الكيمياء للصف الحادي عشر الثانوي

أ. محمد عبد اللطيف محمد

أ. سوسن أحمد عباس أصفهاني

أ. أشرف فؤاد نبيل إبراهيم

أ. آلاء محمد جعفر الكندري

أ. راوية علي محمد عريان

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

© جميع الحقوق محفوظة : لا يجوز نشر أيّ جزء من هذا الكتاب أو تصويره أو تخزينه أو تسجيله بأيّ وسيلة دون موافقة خطيّة من الناشر.

الطبعة الأولى 2014/2013 م

الطبعة الثانية 2016/2015 م

2018/2017 م



صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح  
أمير دولة الكويت





سَيِّدُ الشَّيْخِ نَافِلِ بْنِ إِبْرَاهِيمَ السَّبَّاحِ

وَيَّ عَهْدَ دَوْلَةِ الْكُوَيْتِ





# مقدمة

الحمد لله رب العالمين. والصلاة والسلام على سيد المرسلين، محمد بن عبد الله 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.

وما يجب التأكيد عليه، أن المنهج عبارة عن كم الخبرات التربوية والتعليمية التي تُقدم للمتعلم، وهذا يرتبط أيضاً بعمليات التخطيط 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 ومقياساً أو معياراً 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 قدماً 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 استعداداً لتطبيقها في البيئة التعليمية.



ولقد كانت مناهج العلوم والرياضيات من أول المناهج التي بدأنا بها عملية التطوير. إيماناً بأهميتها وانطلاقاً 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، مؤكداً 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 الصلة 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 الأول

---

الوحدة الأولى: الإلكترونات في الذرة

الوحدة الثانية: المحاليل

الوحدة الثالثة: الكيمياء الحرارية

## الجزء الثاني

---

الوحدة الرابعة: الكيمياء الكهربائية

الوحدة الخامسة: المركبات الهيدروكربونية

# محتويات الجزء الثاني

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

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

فصول الوحدة

الفصل الأول

تفاعلات الأكسدة والاختزال

الفصل الثاني

الخلايا الإلكترونية كيميائية:

أنصافها وجهودها

أهداف الوحدة

- يصف تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية وتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في ضوء تفاعلات الأكسدة والاختزال.
- يشرح تركيب الخلية الجافة والمواد التي تتأكسد والمواد التي تُختزل.
- يقسم معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال إلى نصفي تفاعل ثم يستخدم طريقة التغير في عدد التأكسد أو طريقة أنصاف التفاعلات لوزنها.
- يتعرف جهد الخلية القياسي وجهد الاختزال القياسي.
- يستخدم جهد الاختزال القياسي في حساب جهد الخلية القياسي.
- يميز بين الخلية الإلكترونية والخلية الفولتية ويتعرف الاستخدامات الممكنة للخلايا الإلكترونية.
- يتعرف نواتج التحليل الكهربائي للماء، لمحلول الملح ولمصهور كلوريد الصوديوم.

معالم الوحدة

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

تبقينا تفاعلات الأكسدة والاختزال على قيد الحياة وهي تحدث في جميع التحوّلات الهامة التي تستحوذ على الطاقة الشمسية. فالكائنات الحيّة بحاجة إلى الطاقة لكي تنمو وتتكاثر وتضمن



لاستمرارها وتحصل عليها من الطاقة الكيميائية المخترنة في الغذاء والتي مصدرها عملية البناء الضوئي التي تقوم بها الكائنات ذاتية التغذية. تُستخدم تفاعلات الأكسدة والاختزال، أيضاً، في كثير من الصناعات الكيميائية كاستخراج المعادن من خاماتها وتحويل النفط إلى مواد بتر وكيميائية ومستحضرات طبية. إلى ذلك، تُعتبر الكيمياء الكهربائية فرع من الكيمياء الفيزيائية وتهتم بدراسة التحوّلات الكيميائية التي تُنتج أو تمتصّ تياراً كهربائياً. ويوضّح استخدام البطاريات الكهربائية تفاعلات الأكسدة والاختزال لتوليد التيار الكهربائي الذي يمدّ بالطاقة أجهزة الراديو، آلات التسجيل، أجهزة الكمبيوتر المحمولة، الهواتف النقالة وغيرها. كيف تولّد هذه التفاعلات الطاقة الكهربائية؟ كيف يمكن زيادة فعالية هذه الطاقة؟ هل يمكن أن تكون صديقة للبيئة؟

اكتشف بنفسك

بطارية الليثيوم

- لإجراء هذا النشاط يجب توافر المواد التالية: حبة ليثيوم، شريحة نحاس (5 cm × 2 cm)، شريحة خارصين (5 cm × 2 cm)، أسلاك توصيل معدنية، جهاز فولتметр لقياس الجهد، مصباح كاشف كهربائي.
1. اغرس ما بين 2 cm و 3 cm من شريحة النحاس في حبة الليثيوم.
  2. اغرس ما بين 2 cm و 3 cm من شريحة الخارصين في حبة الليثيوم على بعد حوالي 3 cm من شريحة النحاس على ألا تتلامسان داخل الحبة.
  3. صل الشريحتين بالفولتметр بواسطة أسلاك توصيل معدنية. سجّل قيمة الجهد التي تظهر على الشاشة.
  4. صل مصباح كاشف كهربائي بالشريحتين بواسطة أسلاك معدنية. ماذا تلاحظ؟
  5. صل صمّام ثنائي مشعّ للضوء (LED). سجّل ملاحظتك.

## دروس الفصل

## الدرس الأول

- طبيعة الخلايا الإلكتروليتية

## الدرس الثاني

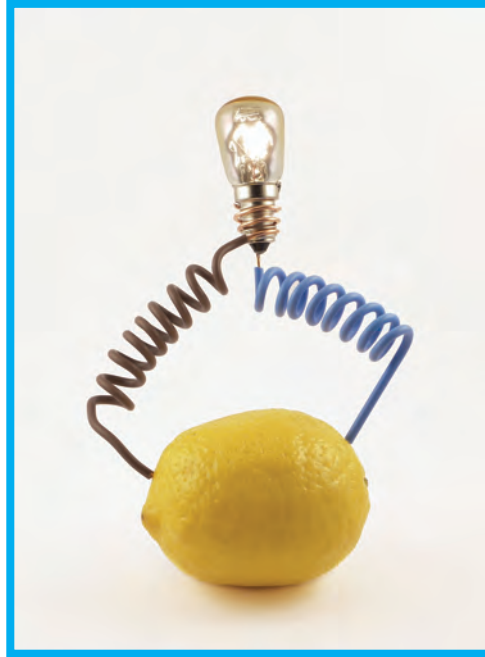
- وزن معادلات الأكسدة والاختزال

## الدرس الثالث

- الخلايا الإلكتروليتية

"تستطيع بعض التفاعلات الكيميائية أن تولّد تيارًا كهربائيًا كما يستطيع التيار الكهربائي أن ينتج تفاعلات كيميائية."

شغلت هذه العلاقة بين الطاقة الكهربائية والتفاعلات الكيميائية العلماء على مدى قرون ولكنهم لم يتوصلوا إلى فهمها إلا في خلال القرنين الماضيين. وكان ألساندرو فولتا أول من أثبت أنّ التيار الكهربائي ينتج من ربط جسمين معدنيين مختلفين بجسم موصل. واعتُبرت هذه التجربة أولى الخطوات باتجاه اختراع الخلايا الكهربائية. تستفيد الخلايا من التغيرات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث فيها لإنتاج الطاقة التي تتعدّد استعمالاتها. ويعتمد الإنسان في اختيار نوع الطاقة المستخدمة على كونها صديقة له وللبيئة وقليلة التكلفة.



الأهداف العامة

• يتعرّف تفاعلات الأكسدة والاختزال.



شكل (1)

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

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

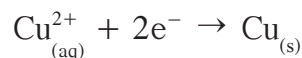
عند غمر شريحة خارصين في محلول مائي من كبريتات النحاس (II) أزرق اللون (شكل 2)، يمكن تسجيل الملاحظات التالية:  
• تتكوّن طبقة لونها بنيّ غامق على سطح شريحة الخارصين.



• يبهت لون المحلول الأزرق تدريجياً حتى يختفي كلياً بعد بضع ساعات .

• يتآكل سطح شريحة الخارصين .

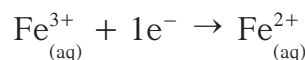
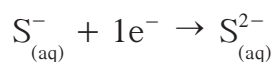
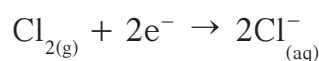
يدلّ تكوّن طبقة بنية اللون من ذرات النحاس Cu على تحوّل كاتيونات النحاس  $Cu^{2+}$  إلى ذرات نحاس Cu . يحدث هذا التحوّل عندما يكتسب كاتيون النحاس إلكترونين اثنين كما توضّح المعادلة الإلكترونية التالية:



يشير اكتساب كاتيون النحاس للإلكترونين إلى أنّه عامل مؤكسد

**Oxidizing Agent** . وتسمّى عملية اكتساب الإلكترونات بالاختزال **Reduction** .

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



شكل (2)

تفاعل الأكسدة والاختزال بين ذرات الخارصين وكاتيونات النحاس

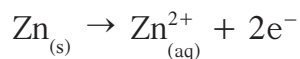
يتناقص تركيز كاتيونات النحاس  $Cu^{2+}$  في المحلول بفعل تحوّلها إلى ذرات نحاس Cu . نتيجة لذلك ، يبهت لون المحلول الأزرق إلى أن يختفي بسبب تفاعل كاتيونات النحاس كلّها .

من أين اكتسبت كاتيونات النحاس الإلكترونات؟

يدلّ تآكل سطح شريحة الخارصين على أنّ بعض ذرات 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 .

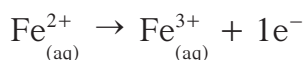
توضّح المعادلة الإلكترونية التالية كيفية تحوّل ذرّات الخارصين إلى كاتيونات الخارصين  $Zn^{2+}$ .



فقدت ذرّة الخارصين إلكترونين ما يدلّ على أنّ الخارصين عامل مختزل

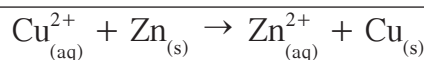
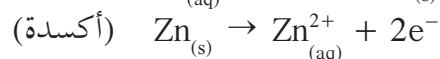
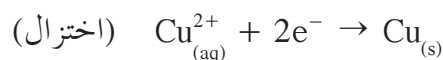
**Reducing Agent**. وتسمّى عملية فقد الإلكترونات الأكسدة **Oxidation**.

الأكسدة تتمّ لكلّ مادّة تفقد إلكترونات وتحدث لها زيادة في عدد التأكسد، كما توضّح المعادلات التالية:



استنتاج: يتبادل الخارصين وكاتيونات النحاس الإلكترونات في خلال هذا التفاعل الذي يُسمّى تفاعل أكسدة واختزال.

نحصل، بجمع معادلتَي الأكسدة والاختزال، على معادلة التفاعل الذي حدث بين الخارصين وكاتيونات النحاس.



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

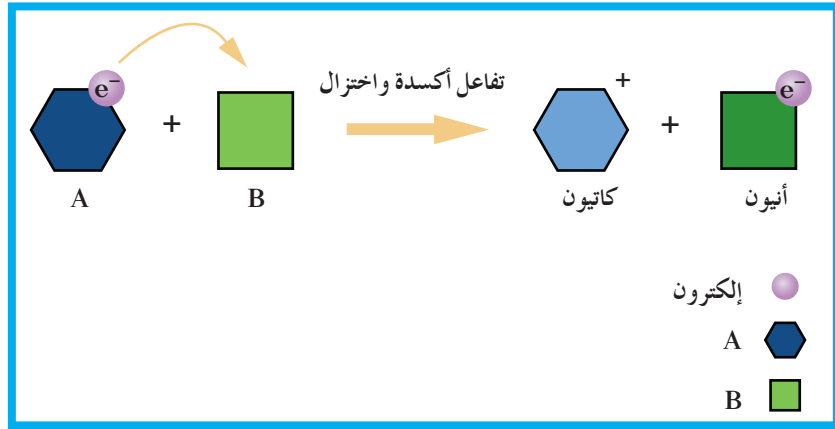
## مراجعة الدرس 1-1

1. إلامّ يشير اكتساب كاتيون الفلزّ إلكترونات؟ وماذا تُسمّى هذه العملية؟

2. نصادف الكثير من عمليات الأكسدة والاختزال في حياتنا اليومية. اذكر بعض هذه العمليات مبيّنًا أثرها الإيجابي أو السلبي.

الأهداف العامة

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



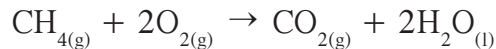
شكل (3)

مثال على تفاعلات الأكسدة والاختزال

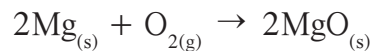
تعتبر عملية البناء الضوئي واحدة من أهم التفاعلات الكيميائية التي تحدث في محيطنا. تمتص النباتات، في خلالها، ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي وتحوله إلى مواد عضوية كما توضح المعادلة الكيميائية التالية:



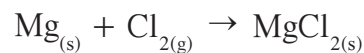
توازنها أهمية عملية احتراق الميثان، المركب الأساسي في الغاز الطبيعي، التي تتم بحسب المعادلة الكيميائية التالية:



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



وتفاعل المغنيسيوم والكلور:



والتفاعل الذي يحدث بين محلول حمض الهيدروكلوريك والخارصين:



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

قيمة عدد التأكسد	قواعد حساب عدد التأكسد
+1	عدد تأكسد العناصر القلوية في المركبات Na، Li، K
+2	عدد تأكسد العناصر القلوية الأرضية في المركبات Mg، Ca
+3	عدد تأكسد Al في المركبات
-2	عدد تأكسد S مع الفلزّات أو الهيدروجين
-1	عدد تأكسد Cl، Br، I في المركبات (ما عدا مع الأكسجين أو الفلور)
-1	عدد تأكسد F في جميع المركبات
-2	عدد تأكسد O في معظم المركبات
-1	عدد تأكسد O في فوق الأكاسيد
-1	عدد تأكسد H مع الفلزّ (في هيدريدات الفلزّات)
-1	عدد تأكسد NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ، OH <sup>-</sup>
+1	عدد تأكسد NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
-2	عدد تأكسد CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ، SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
صفر	عدد تأكسد H <sub>2</sub> O، NH <sub>3</sub> (مركبات متعادلة)

جدول (1)  
أعداد التأكسد

## 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 التحلل وتفاعلات الاحتراق.  
يمكن التمييز بين تفاعلات الأكسدة والاختزال وبين غيرها من التفاعلات من خلال تغيير عدد التأكسد للعنصر نفسه بين المواد المتفاعلة والمواد الناتجة باتباع الخطوات التالية:

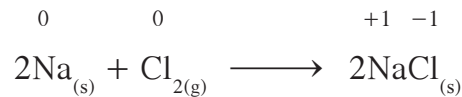
• تحديد عدد التأكسد لكلّ عنصر في المعادلة (جدول 1).

• ملاحظة أيّ تغيير في عدد التأكسد:

– إذا زاد عدد التأكسد يكون العنصر عاملاً مختزلاً تعرّض لأكسدة.

– إذا نُقص عدد التأكسد يكون العنصر عاملاً مؤكسداً تعرّض لاختزال.

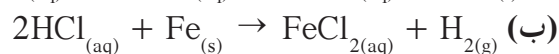
مثال على ذلك، تغيير عدد تأكسد الصوديوم والكلور في التفاعل الكيميائي التالي:



نلاحظ زيادة عدد تأكسد الصوديوم من (0) إلى (+1) أي أنّ الصوديوم تأكسد وتناقص عدد تأكسد الكلور من (0) إلى (-1) أي أنّ الكلور اختزل. وبالتالي يُعتبر هذا التفاعل تفاعل أكسدة واختزال.

## مثال (1)

وضّح ما إذا كان التفاعلات التاليان تفاعلي أكسدة واختزال:

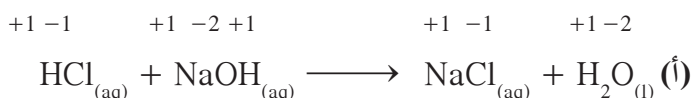


**طريقة التفكير في الحلّ**

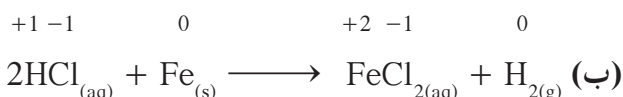
**1. حلّ:** صمّم خطة استراتيجية لحلّ السؤال .

يجب تحديد أعداد التأكسد لكلّ من عناصر المعادلة الكيميائية، وملاحظة ما إذا حدث أيّ تغيير .

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



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



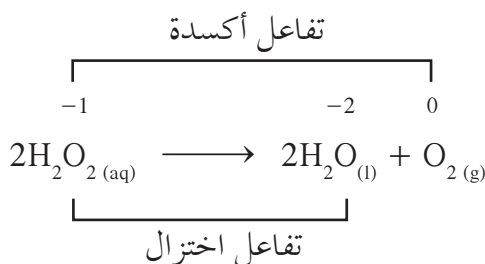
زاد عدد تأكسد عنصر الحديد أي أنّ الحديد تأكسد . في حين نقص عدد تأكسد الهيدروجين أي أنّ الهيدروجين قد اختزل . وبالتالي هذا التفاعل هو تفاعل أكسدة واختزال .

**3. قيم:** 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 عاملاً مؤكسداً وعاملاً مختزلاً أو أن تُختزل وتتأكسد . نذكر منها فوق أكسيد الهيدروجين ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) الذي يحتوي على أيون الأكسيد ( $\text{O}_2^-$ ) ويساوي عدد تأكسده (-1) . تُظهر دراسة عملية تفكّك هذا المركّب إلى أكسجين وماء، بملاحظة تغيّر عدد تأكسده، أنّه يؤدّي دور العامل المؤكسد والعامل المختزل في آن معاً .

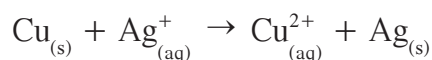


## 2. وزن معادلات الأكسدة والاختزال

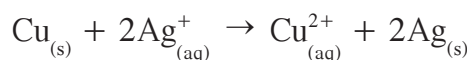
### Balancing Redox Equations

لا تختفي الإلكترونات ولا تتواجد من تلقاء نفسها. لذلك، عندما يتأكسد عنصر ما يجب، بالمقابل، أن يُختزل عنصر آخر مشارك بالفاعل. بالفعل، الإلكترونات التي تُفقد في خلال تفاعل الأكسدة يجب أن تُكتسب في خلال تفاعل الاختزال بما أن الشحنة الكلية للمواد المتفاعلة تساوي الشحنة الكلية للمواد الناتجة.

توضّح المعادلة التالية أكسدة عنصر النحاس Cu وتحوّله إلى كاتيون النحاس  $\text{Cu}^{2+}(\text{II})$  بواسطة كاتيون الفضة  $\text{Ag}^+$ .



للهولة الأولى، تبدو المعادلة موزونة لأن عدد ذرات كل عنصر متساو في جهتي المعادلة. إلا أن كل ذرة نحاس قد فقدت إلكترونين فيما اكتسبت ذرة الفضة إلكترونًا واحدًا. لوزن عدد الإلكترونات علينا وزن الشحنة بإضافة المعامل 2 أمام كاتيون الفضة  $\text{Ag}^+$  وكذلك أمام ذرة الفضة  $\text{Ag}$ .



بعض معادلات تفاعلات الأكسدة والاختزال بسيطة كالمعادلة السابقة والبعض الآخر معقد، كالمعادلات التي تتضمن أيونات فيها ذرات أكسجين، ويحتاج إلى طرق وزن خاصة.

ثمة طريقتان لوزن معادلات الأكسدة والاختزال:

• طريقة أعداد التأكسد Oxidation Number Method

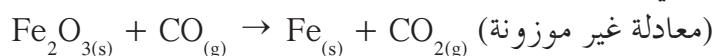
• طريقة أنصاف التفاعلات (أيون - إلكترون)

Half-Reactions Method (Ion - Electron Method)

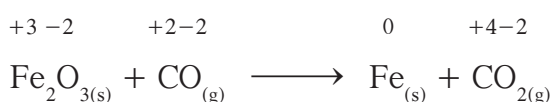
## 1.2 وزن المعادلات بطريقة أعداد التأكسد

### Balancing Equations Using Oxidation Numbers

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



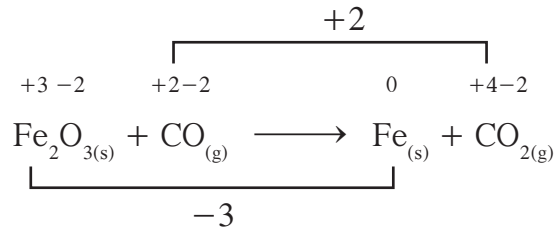
الخطوة الأولى: حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرات في المعادلة (كتابة الأعداد فوق الذرات):



وخذ في الاعتبار أن عدد التأكسد المذكور هو شحنة كل ذرة فبالرغم من أن الشحنة الموجبة الكلية للحديد Fe في المركب  $Fe_2O_3$  تساوي (+6)، يساوي عدد تأكسد كل ذرة Fe (+3).

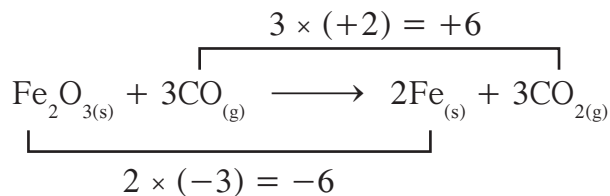
**الخطوة الثانية:** حدّد الذرات التي تأكسدت وتلك التي اختزلت. في هذا التفاعل، نقص عدد تأكسد الحديد من (+3) إلى صفر أي أن الحديد قد اختزل. في حين، زاد عدد تأكسد الكربون من (+2) إلى (+4) أي أن الكربون قد تأكسد، ونلاحظ أن عدد تأكسد الأكسجين لم يتغيّر.

**الخطوة الثالثة:** صلّ العنصر الذي تأكسد مع ناتج تأكسده بقوس خطّي كبير واكتب على القوس عدد الإلكترونات المفقودة. ثم صلّ العنصر الذي اختزل مع ناتج اختزاله بقوس خطّي كبير واكتب على القوس عدد الإلكترونات المكتسبة.

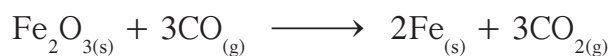


**الخطوة الرابعة:** حدّد المعاملين اللذين يجب ضرب فارقي عدد التأكسد بهما حتى يتساوى عدد الإلكترونات المكتسبة مع تلك المفقودة. اضرب، في المعادلة السابقة، زيادة عدد التأكسد بالمعامل 3 واضرب نقص عدد التأكسد بالمعامل 2 فتساوى الزيادة  $(+6) = (3 \times (+2))$  مع النقصان  $(-6) = (2 \times (-3))$ .

أي ضع المعامل 2 أمام الحديد في الجانب الأيمن من المعادلة لأنّ المركب  $Fe_2O_3$ ، في الجانب الأيسر، لا يحتاج إلى أيّ معامل نظرًا إلى أنّه يحتوي على ذرتي Fe. ثمّ ضع المعامل 3 أمام CO و  $CO_2$ :



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







## 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:

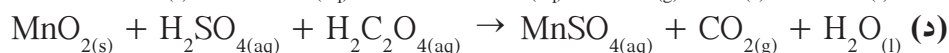
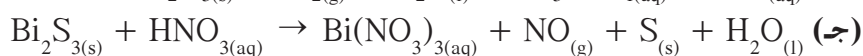
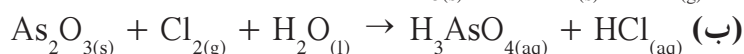


3. قيّم: هل النتيجة لها معنى؟

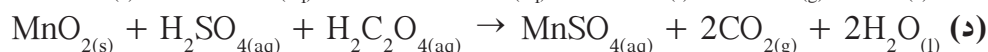
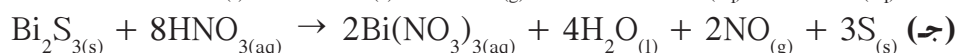
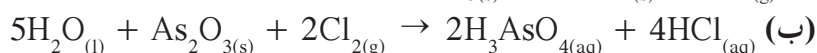
بفحص المعادلة يتبيّن أنّ المعادلة قد وُزنت بطريقة صحيحة.

## أسئلة تطبيقية وحلّها

استخدم طريقة أعداد التأكسد لوزن معادلات التأكسد والاختزال التالية:



الحلّ:

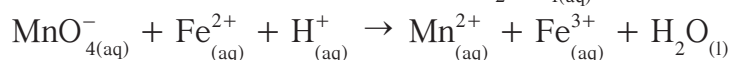


## 2.2 وزن المعادلات بطريقة أنصاف التفاعلات

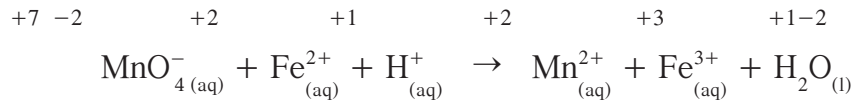
### Balancing Equations Using the Half-Reactions

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

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

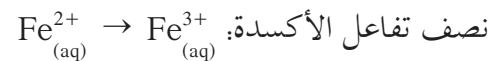
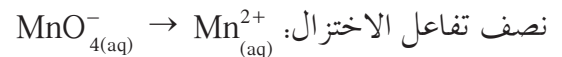


الخطوة الأولى: حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرّات في المعادلة .



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

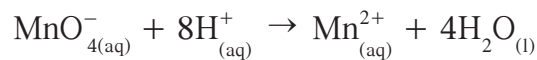
الخطوة الثالثة: اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال .



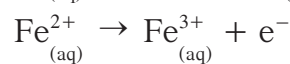
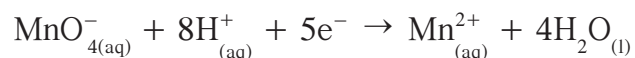
الخطوة الرابعة: زن الأكسجين بإضافة جزئي ماء عن كلّ ذرّة أكسجين ناقصة في طرف المعادلة حيث ينقص الأكسجين .



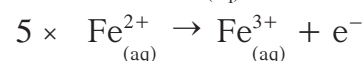
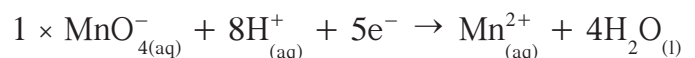
الخطوة الخامسة: زن الهيدروجين بإضافة أيون (H<sup>+</sup>) عن كلّ ذرّة هيدروجين ناقصة في طرف المعادلة حيث ينقص الهيدروجين .



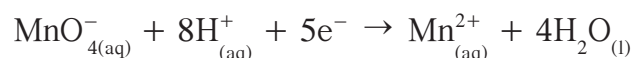
الخطوة السادسة: زن الشحنات بإضافة إلكترونات إلى كلّ نصف تفاعل على حدة .



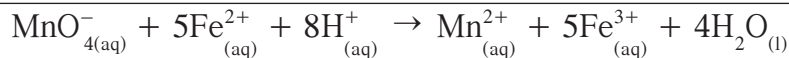
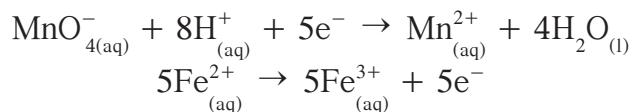
الخطوة السابعة: وحدّ عدد الإلكترونات بضرب نصفي التفاعل بالمعاملين المناسبين .



فتصبح المعادلتان:



الخطوة الثامنة: اجمع نصفي التفاعل .



في خلال وزن بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال بطريقة أنصاف التفاعلات، قد تجد بعض المركبات أو الأيونات المتكررة. يُحذف العنصر المتكرر من الطرفين للحصول على المعادلة النهائية.

### مثال (3)

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



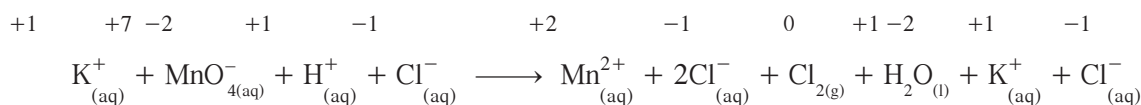
طريقة التفكير في الحل

1. حلّ: صمّم خطة استراتيجية لحلّ السؤال .

اتبع الخطوات الثماني لوزن المعادلة السابقة بطريقة أنصاف التفاعلات .

2. حلّ: طبق الخطة الاستراتيجية لحلّ السؤال .

الخطوة الأولى: اكتب المعادلة غير الموزونة في صورة أيونية وحدد أعداد تأكسد جميع ذرات المعادلة .

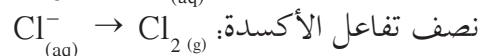
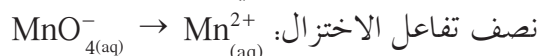


الخطوة الثانية: حدّد العنصر الذي اختزل والعنصر الذي تأكسد .

نقص عدد تأكسد المنجنيز من (+7) إلى (+2) أي أنّ المنجنيز اختزل .

زاد عدد تأكسد الكلور من (-1) إلى (0) أي أنّ الكلور تأكسد .

الخطوة الثالثة: اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال .



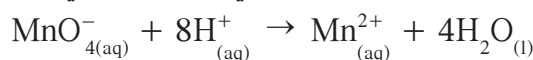
الخطوة الرابعة: زن الأكسجين بإضافة جزيء ماء، عن كل ذرة أكسجين ناقصة، إلى طرف

المعادلة حيث ينقص الأكسجين .

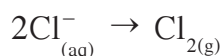


### مثال (3) (تابع)

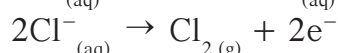
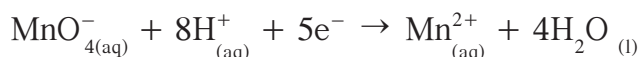
الخطوة الخامسة: زن الهيدروجين بإضافة أيون (H<sup>+</sup>)، عن كلّ ذرّة هيدروجين ناقصة، إلى طرف المعادلة حيث ينقص الهيدروجين (يحدث التفاعل في وسط حمضي).



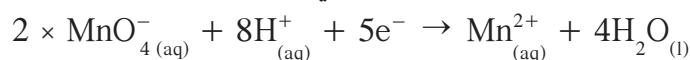
ملاحظة: زن ذرّات الكلور.



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



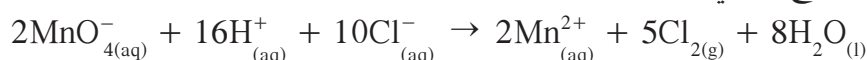
الخطوة السابعة: وحدّ عدد الإلكترونات بضرب نصفي التفاعل بالمعاملين المناسبين.



فتصبح المعادلتان:



الخطوة الثامنة: اجمع نصفي التفاعل



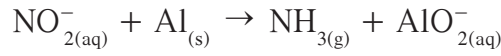
3. قيم: هل النتيجة لها معنى؟

المعادلة موزونة من حيث الذرّات والشحنات.

ملاحظة: في الوسط القاعدي بعد وزن الأوكسجين، يوزن النقص في ذرّات الهيدروجين بإضافة جزيء ماء (H<sub>2</sub>O) عن كلّ ذرّة هيدروجين ناقصة وفي طرف المعادلة الآخر يُضاف أيون هيدروكسيد (OH<sup>-</sup>) عن كلّ جزيء ماء تمّت إضافته.

## مثال (4)

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



### طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّ: صمّم خطة استراتيجية لحلّ السؤال.

اتبع الخطوات الثماني لوزن المعادلة السابقة بطريقة أنصاف التفاعلات.

2. حلّ: طبق الخطة الاستراتيجية لحلّ السؤال.

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

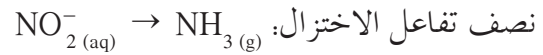
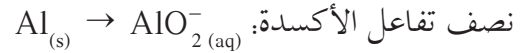


الخطوة الثانية: حدّد العنصر الذي اختزل والعنصر الذي تأكسد.

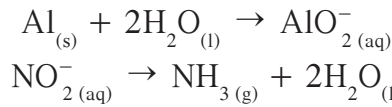
نقص عدد تأكسد النيتروجين من (+3) إلى (-3) أي أنّ النيتروجين اختزل.

زاد عدد تأكسد الألمنيوم من (0) إلى (+3) أي أنّ الألمنيوم تأكسد.

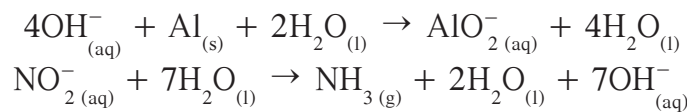
الخطوة الثالثة: اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال.



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

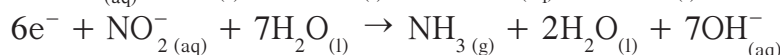
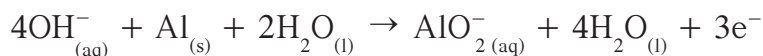


الخطوة الخامسة: زن الهيدروجين بإضافة جزيء ماء، عن كلّ ذرّة هيدروجين ناقصة، إلى طرف المعادلة حيث ينقص الهيدروجين وإضافة أيون  $\text{OH}^-$  إلى الطرف الآخر.

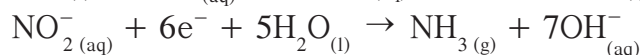


## مثال (4) (تابع)

الخطوة السادسة: زن الشحنات بإضافة الإلكترونات حيث يلزم.



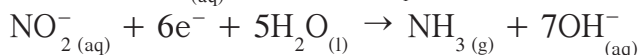
تصبح هذه التفاعلات بعد حذف جزيئات الماء من طرفي المعادلة الواحدة على الشكل التالي:



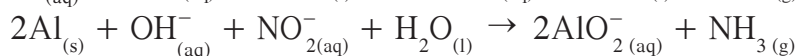
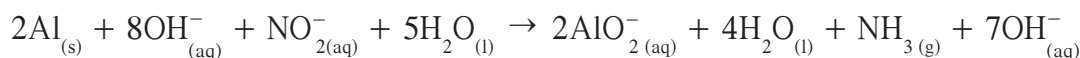
الخطوة السابعة: وخذ عدد الإلكترونات بضرب نصفي التفاعل بالمعاملين المناسبين.



فتصبح المعادلتان:



الخطوة الثامنة: اجمع نصفي التفاعل.

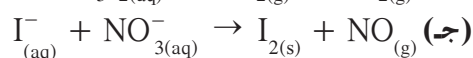
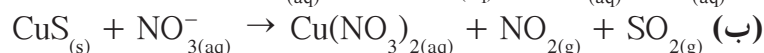
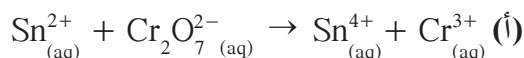


3. قيم: هل النتيجة لها معنى؟

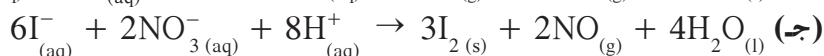
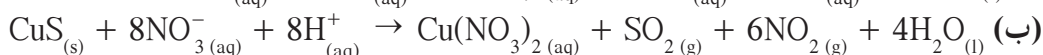
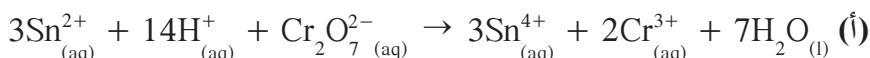
المعادلة موزونة من حيث الذرات والشحنات.

## أسئلة تطبيقية وحلها

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



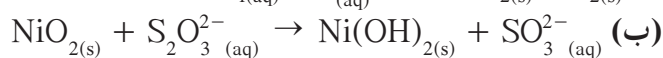
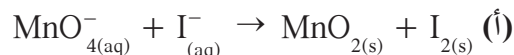
الحل:



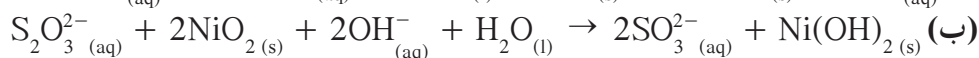
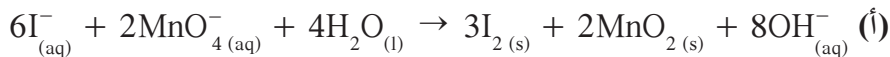


## أسئلة تطبيقية وحلها (تابع)

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

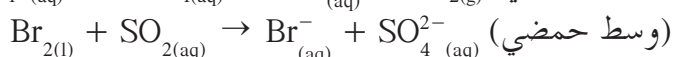
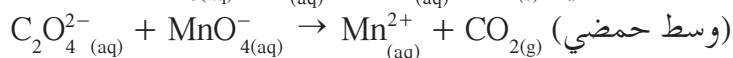
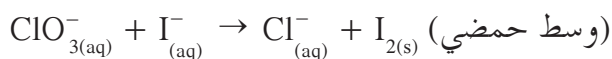


الحل:



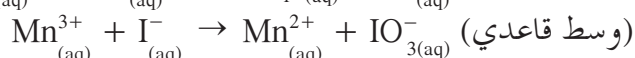
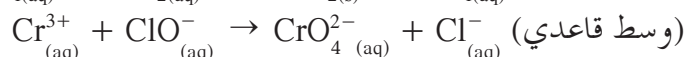
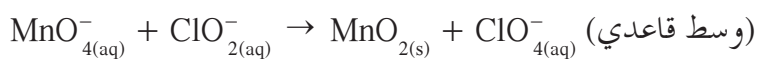
## مراجعة الدرس 1-2

1. زن المعادلات التالية بطريقة أعداد التأكسد:



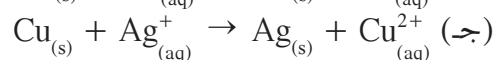
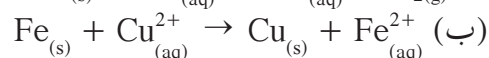
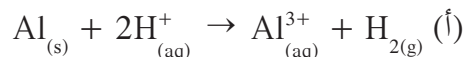
2. باستخدام طريقة أنصاف التفاعلات ، اكتب المعادلة الأيونية

الموزونة للتفاعلات التالية:



3. اكتب نصفي تفاعل الأوكسدة والاختزال لكل من التفاعلات التالية

وزن التفاعل إن دعت الحاجة .



### الأهداف العامة

- يشرح تركيب الخلية الجافة والمواد التي تتأكسد والمواد التي تُختزل.
- يصف تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية وتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في ضوء تفاعلات الأكسدة والاختزال.



شكل (4)

تزود الطاقة الكهربائية الناتجة من المرحم الرصاصي السيارة بالطاقة.

لا تزال الخلايا الفولتية مثل الخلية الجافة تزود الكاشفات الكهربائية، أجهزة الراديو، الحاسبات الإلكترونية، آلات التصوير، ألعاب الأطفال، الهواتف النقالة وأجهزة الكمبيوتر بالطاقة اللازمة لتشغيلها. وتستخدم بطارية التخزين الرصاصية أو المرحم الرصاصي المعتادة في مجالات كثيرة خصوصاً في السيارات (شكل 4). وقد ابتكرت حديثاً، خلية تُعدّ الأهمّ حالياً، هي خلية الوقود التي تستعمل في مجالات عديدة وخصوصاً لتزويد الآليات الفضائية بالطاقة.

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

## 1. الخلايا الإلكتروليتية Electrochemical Cells

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

- خلايا تنتج طاقة كهربائية من خلال التفاعلات الكيميائية (الأكسدة والاختزال) وتسمى بالخلايا الجلفانية أو الخلايا الفولتية Galvanic Cell or Voltaic Cell ومنها الخلية الجافة والمرحم الرصاصي و خلية الوقود.



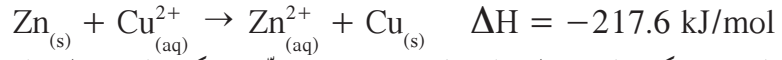
شكل (5)

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

• خلايا تحتاج إلى طاقة كهربائية وينتج منها تفاعل كيميائي من نوع الأكسدة والاختزال وتُعرف هذه الخلايا باسم الخلية الإلكتروليتية Electrolytic Cell وستتم مناقشتها لاحقاً.

كيف يمكن أن تنتج طاقة كهربائية من تفاعل أكسدة واختزال يحدث بشكل تلقائي ومستمر؟

يتم التفاعل بين الخارصين ومحلول كبريتات النحاس (II) بشكل تلقائي ومستمر ويصحبه طرد طاقة حرارية قدرها 217.6 kJ/mol. تظهر هذه الحرارة بوضوح عند استبدال شريحة الخارصين بمسحوق الخارصين إذ يزيد ذلك مساحة سطح المماس (شكل 5). ويمكن قياس الحرارة التي يطردها التفاعل بواسطة ميزان الحرارة. ويجري، في هذا التفاعل، تبادل الإلكترونات مباشرة بين سطح فلز الخارصين  $Zn_{(s)}$  وبين كاتيونات النحاس  $Cu^{2+}_{(II)}$  المتلامسين في المحلول بحسب التفاعل التالي:



وبالتالي لا يمكن الحصول على طاقة كهربائية وإنما يمكن الحصول على طاقة حرارية ويرجع ذلك إلى عدم وجود موصل فلزي لحركة الإلكترونات (دائرة مفتوحة).

ونستنتج من ذلك أن:

• المادة التي تأكسدت هي فلز الخارصين والمادة التي اختزلت هي كاتيونات النحاس (II).

• الخارصين أكثر نشاطاً من النحاس ويحل محلّه في مركباته تتأكسد ذراته بينما تُختزل كاتيونات النحاس (II).

لمعرفة النشاط الكيميائي للفلزات يمكن أن نضع الفلز في محلول يحتوي على أيونات الهيدروجين لمقارنة شدة التفاعل في حال حدوثه. مثال على ذلك يتأكسد فلز الخارصين وفلز الحديد في محلول مائي لحمض الهيدروكلوريك، بينما لا يحدث أي تفاعل عند غمر برادة من النحاس في المحلول نفسه. اكتب المعادلات الدالة على التفاعلات السابقة.

تبعاً للتجارب المخبرية نرى أن تفاعل فلز الخارصين مع حمض

الهيدروكلوريك أكثر شدة من تفاعل فلز الحديد مع حمض

الهيدروكلوريك. وبالتالي يمكن ترتيب هذه الفلزات تبعاً لنشاطها

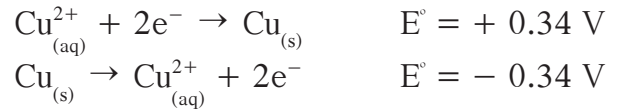
الكيميائي، الخارصين يليه الحديد يليه النحاس.

بِمَ تفسّر ذلك؟

كاتيونات الخارصين هي الأقلّ ميلاً إلى اكتساب الإلكترونات بينما كاتيونات النحاس (II) هي الأكثر ميلاً إلى اكتساب الإلكترونات . نستنتج من ذلك أن جهد الاختزال Reduction Potential هو الطاقة المصاحبة لاكتساب المادة 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 :

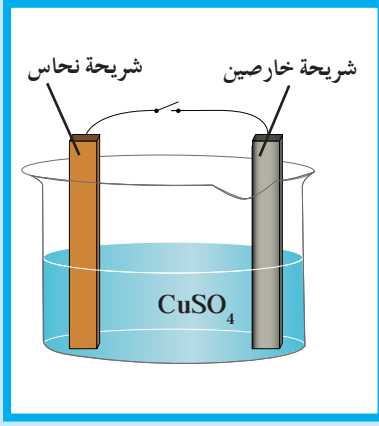


نستنتج من المثال السابق أنّ جهد الاختزال يساوي جهد الأكسدة مع اختلاف الإشارة . وقد تمّ اعتماد أنّ جهد الاختزال القياسي للهيدروجين يساوي صفرًا بحسب نظام الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية . IUPAC

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 فلزيّ يمكن استخدام هذا التفاعل كمصدر للطاقة الكهربائية . تُسمّى الخلايا المنتجة للطاقة الكهربائية عندئذ خلايا جلفانية وهي أنظمة تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية عن طريق تفاعل أكسدة واختزال يحدث بشكل تلقائي ومستمرّ . ماذا نعني بشكل تلقائي ومستمرّ؟ نعني بذلك استيفاء شروط توليد تيار كهربائي وهي كالتالي:

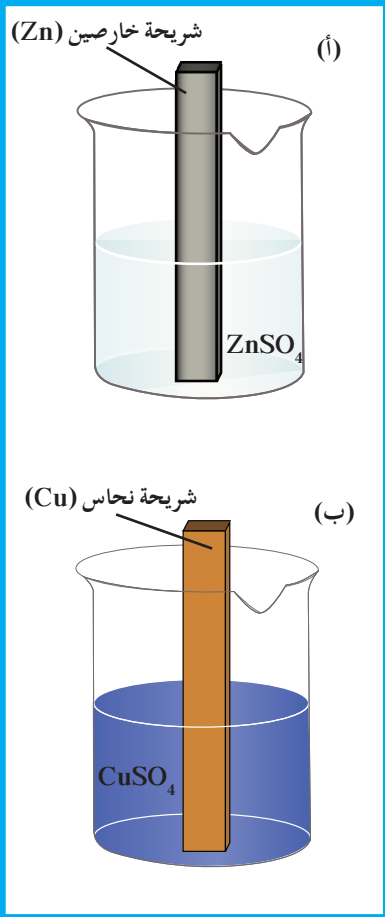
• وجود فرق جهد ناتج من الاختلاف في النشاط الكيميائي ومن تفاعلات الأكسدة والاختزال .

• وجود حاملات الشحنات (موصلات): موصل فلزيّ أو إلكتروني لحركة الإلكترونات في الدائرة الكهربائية الخارجية وموصل إلكتروني أو أيوني لحركة الأيونات (الموجبة أو السالبة) في الخلية .



شكل (6)

ينتج من تأكسد كل ذرة خارصين  $2e^-$  ينتقلان عبر السلك الفلزي إلى قطب النحاس حيث تختزل أيون  $Cu^{2+}$ .



شكل (7)

مثال على نصف خلية الخارصين القياسية (أ) ونصف خلية النحاس القياسية (ب) ويعبر عنه الرمز الاصطلاحي لتصنيف خلية كالمثال التالي:  $X^{n+} (1 M) / X_{(s)}$  وهي تعبر عن عملية الاختزال للنوع الموجود لنصف الخلية.

مثال على ذلك الخلية الإلكتر وكيميائية الموضحة في الشكل (6)

تتكون من وعاء يحتوي على شريحة خارصين وشريحة نحاس، تسميان أقطابًا، كل منهما مغمورتان جزئيًا في محلول إلكتروليتي وليكن كبريتات النحاس (II) والدائرة الخارجية تتكون من سلك من النحاس ومفتاح وفولتметр لقياس فرق الجهد. عند غلق الدائرة الكهربية تحدث عملية أكسدة لذرات الخارصين واختزال لكاتيونات النحاس على سطح شريحة الخارصين الذي تميل ذراته إلى فقدان إلكترونات ويسمى أنودًا **Anode**. يحدث تفاعل اختزال لكاتيونات النحاس، عند شريحة النحاس، وتسمى كاثودًا **Cathode**. للتحكم في استمرارية التفاعل أعد نصف الخلية في مكانين منفصلين فيزيائيًا (الخلية الجلفانية).

## Half – Cells

### 1.1 أنصاف الخلايا

يتكون نصف الخلية **Half – Cell** من وعاء يحتوي على شريحة مغمورة جزئيًا في محلول إلكتروليتي لأحد مركبات مادة الشريحة. وعندما تكون الظروف قياسية أي عند درجة حرارة  $25\text{ }^\circ\text{C}$  وضغط يعادل  $101\text{ kPa}$  وتركيز محلول  $1\text{ M}$  يُسمى نصف الخلية نصف الخلية القياسي **Standard Half – Cell** (شكل 7). وتوجد أنواع أخرى من أنصاف الخلايا تكون فيها مادة الشريحة مختلفة عن الأيونات الموجودة في المحلول.

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

نصف خلية الخارصين القياسية التي تتكون من وعاء يحتوي على شريحة خارصين مغمورة جزئيًا في محلول مائي تركيزه  $1\text{ M}$  من كاتيونات الخارصين ( $Zn^{2+}$ ) عند درجة حرارة  $25\text{ }^\circ\text{C}$  وضغط يعادل  $101\text{ kPa}$ . وتحدث حالة اتزان بين ذرات شريحة الخارصين وكاتيوناته.

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

• يبقى تركيز الكاتيونات في المحلول ثابتًا.

• تبقى كتلة الشريحة ثابتة.

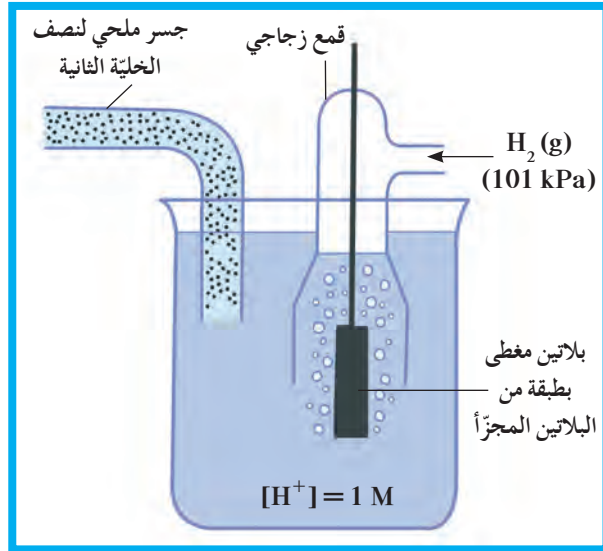
• يُعتبر نصف الخلية المفرد دائرة مفتوحة.

### 2.1 نصف خلية الهيدروجين القياسية

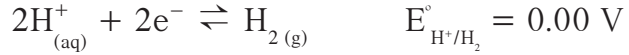
## Standard Hydrogen Half–Cell

يتكون نصف خلية الهيدروجين القياسية **Standard Hydrogen Half – Cell** كما هو موضح في الشكل (8) من قطب بلاتين مغمور في محلول حمضي يحتوي على كاتيون الهيدروجين عند ظروف قياسية. والقطب نفسه عبارة عن شريحة رقيقة مربعة وصغيرة من البلاتين مغطاة بطبقة سوداء من البلاتين المجزأ تجزيئًا دقيقًا الذي يعمل كمادة محفزة. حيث يوضع القطب داخل غلاف زجاجي يمر فيه غاز الهيدروجين بضغط  $101\text{ kPa}$ .

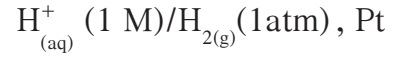
شكل (8)  
قطب هيدروجين قياسي اصطلاح اعتبار أن قيمة  
جهد اختزاله تساوي صفر فولت



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



يمثل الرمز  $E^\circ_{\text{H}^+/\text{H}_2}$  جهد الاختزال القياسي، ويُعرف بأنه ميل كاتيونات الهيدروجين إلى أن تكتسب إلكترونات وتُختزل إلى غاز الهيدروجين  $\text{H}_2$ . الرمز الاصطلاحي لنصف خلية الهيدروجين القياسية هو:



## Galvanic Cell

## 2. الخلية الجلفانية

الخلية الجلفانية هي خلية تنتج طاقة كهربائية من خلال التفاعلات الكيميائية وهي تتكوّن من نصف خلية خارصين، ونصف خلية نحاس، وموصل فلزي وجسر ملحي.

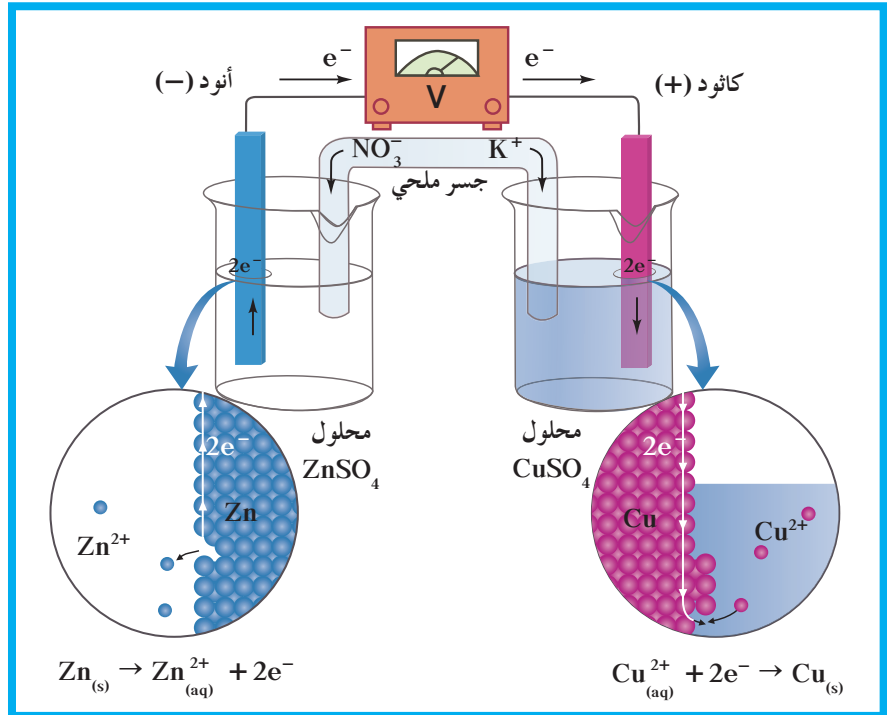
### 1.2 تركيب الخلية الجلفانية

## Galvanic Cell Composition

تتألف الخلية الجلفانية (خلية خارصين - نحاس) Zn - Cu من العناصر التالية:

- موصل فلزي في الدائرة الخارجية ومفتاح وفولتметр لقياس فرق الجهد.
- جسر ملحي، وهو أنبوب على شكل حرف U يحتوي على محلول إلكتروليتي من مثل نترات البوتاسيوم ( $\text{KNO}_3$ ) المذاب في جيلاتين لربط نصفي الخلية.

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



شكل (9)

في هذه الخلية الجلفانية تتولد الإلكترونات من أكسدة Zn إلى كاتيونات  $Zn^{2+}$  وتصعد إلى أعلى شريحة الخارصين ثم تمرّ عبر السلك الكهربائي حتى تصل إلى شريحة النحاس وتختزل هذه الإلكترونات كاتيونات  $Cu^{2+}$  المحيطة بشريحة النحاس إلى Cu.

## 2.2 كيف تعمل الخلية الجلفانية؟

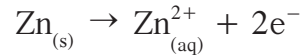
### How does the Galvanic Cell Work?

عند ربط قطبي الخلية لتشكيل الدائرة الخارجية، ينحرف مؤشر الفولتметр ما يدلّ على مرور تيار إلكتروني. يمرّ التيار الكهربائي في الدائرة الخارجية من قطب الخارصين إلى قطب النحاس ما يعني أنه يمرّ في الاتجاه المعاكس في الدائرة الداخلية للخلية المؤلفة من المحاليل والجسر الملحي.

التفاعلات والتغيرات التي تحدث في خلال عمل الخلية 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:

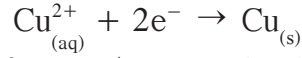


يزداد تركيز كاتيونات الخارصين  $Zn^{2+}$  في المحلول وتتناقص كتلة قطب الخارصين الذي يسمّى الأنود ويوصف بأنه سالب بسبب تولّد الإلكترونات عنده.



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

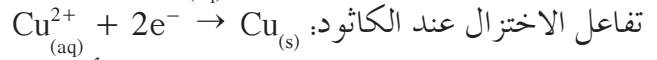
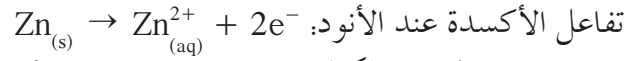
تختزل الإلكترونات التي تصل إلى هذا القطب كاتيونات النحاس (II)  $\text{Cu}^{2+}$  الموجودة في محلول كبريتات النحاس (II) فتتحول إلى ذرات نحاس تترسب على شريحة النحاس .



ينتج من التفاعل نقص تركيز كاتيونات النحاس  $\text{Cu}^{2+}$  وزيادة كتلة شريحة النحاس الذي يسمّى الكاثود ويوصف بأنه موجب لأنه يكتسب الإلكترونات الآتية من الأنود .

## 3.2 الجسر الملحي Salt Bridge

يستمرّ التفاعلان التاليان في خلال عمل الخلية:



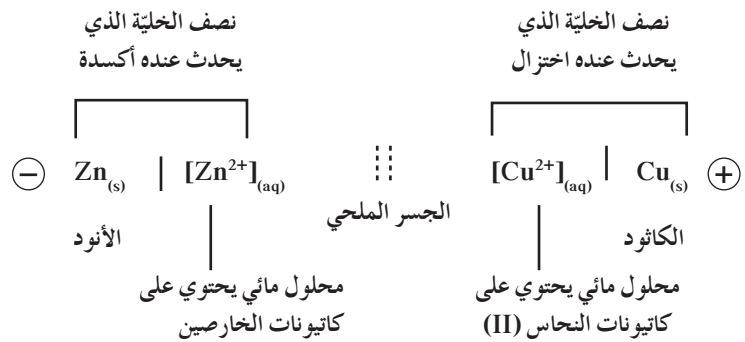
يتزايد تركيز كاتيونات الخارصين  $\text{Zn}^{2+}$  عند الأنود ما يؤدي إلى تزايد الشحنات الموجبة في المحلول . في حين يتناقص تركيز كاتيونات النحاس  $\text{Cu}^{2+}$  عند الكاثود وبالتالي تزيد الشحنات السالبة في المحلول نتيجة اختزال كاتيونات النحاس .

لإعادة التوازن الكهربائي للمحلول في نصفي الخلية، تهاجر أيونات الجسر الملحي إلى المحلول في كلا الكأسين . تهاجر كاتيونات إلكتروليت الجسر الملحي إلى نصف خلية النحاس في منطقة الكاثود (التي تحتوي على عدد أكبر من الأنيونات) في حين تهاجر أنيونات إلكتروليت الجسر الملحي إلى نصف خلية الخارصين في منطقة الأنود (التي تحتوي على عدد أكبر من الكاتيونات) .

## 4.2 الرمز الاصطلاحي للخلية الجلفانية

### Galvanic Cell Representation

يُعبّر الرمز الاصطلاحي بإيجاز عن الخلية إذ يدلّ على تركيبها والتفاعلات التي تحدث في خلال عملها . يُعبّر عن الخلية الجلفانية Zn - Cu بالتالي:





### 3. تطبيقات على الخلايا الجلفانية

#### Galvanic Cell Applications

تُصنّف الخلايا التجارية إلى نوعين هما خلايا أولية وخلايا ثانوية. تحوّل الخلايا الأولية Primary Cells الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة حدوث تفاعلات أكسدة واختزال بشكل تلقائي وهي غير قابلة لإعادة الشحن مثال عليها الخلية الجافة (خلية لوكلانشيه Leclanche Cell) أي خلية خارصين - كربون. في حين تحوّل الخلايا الثانوية Secondary Cells الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة حدوث تفاعلات أكسدة واختزال بشكل تلقائي ولكنها قابلة لإعادة الشحن بتوصيلها بمصدر خارجي للتيار الكهربائي يعمل على عكس التفاعلات التي حدثت في الخلية. مثال على هذه الخلايا المرحم الرصاصي (بطارية السيارة) الشائع الاستخدام.

اخترع المهندس الفرنسي جورج لوكلانشيه Georges Leclanche الخلية الجافة Dry Cell في العام 1866م وأصبحت تُعرف باسمه أي خلية لوكلانشيه Leclanche Cell وهي تُعتبر مصدرًا رئيسيًا للطاقة الكهربائية في ألعاب الأطفال والكاشفات الكهربائية وغيرها.

#### 1.3 الخلية الجافة (خارصين - كربون)

##### Dry Cell (Zinc - Carbon)

تتألف الخلية الجافة من:

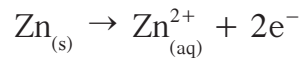
• الأنود، وهو عبارة عن جدار من الخارصين، يفصل بينه وبين المواد الكيميائية الأخرى ورق مسامي يشبه الجسر الملحي من حيث الوظيفة.

• الكاثود، وهو عبارة عن قضيب من الجرافيت (كربون)، يمرّ بمركز الخلية الجافة وهو غير نشط كيميائيًا. يملأ الفراغ بين القطبين معجون رطب مكوّن من كلوريد الخارصين  $ZnCl_2$ ، وكلوريد الأمونيوم  $NH_4Cl$  وثاني أكسيد المنجنيز  $MnO_2$  (شكل 10).

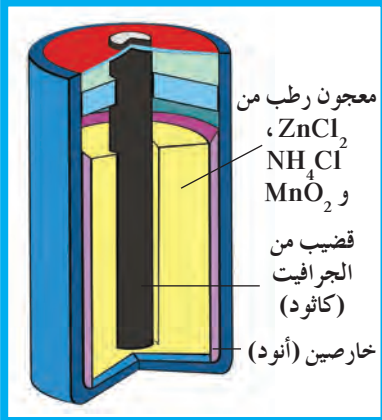
##### Reactions in Dry Cell

##### التفاعلات في الخلية الجافة

يبدأ تفريغ الخلية عند إغلاق الدائرة ويبدأ تدفق الإلكترونات من الخلية. عند الأنود، يتأكسد الخارصين Zn ويتحوّل إلى كاتيونات الخارصين  $Zn^{2+}$  التي تنتشر في المعجون الرطب:

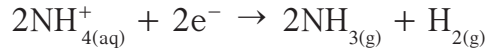


تنتقل الإلكترونات في خلال هذا التفاعل من الخارصين إلى قضيب الجرافيت عبر الدائرة الخارجية.

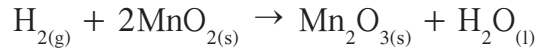


شكل (10)  
تركيب الخلية الجافة

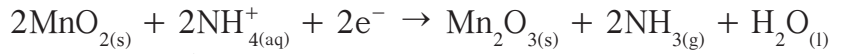
عند الكاثود، تُختزل كاتيونات الأمونيوم:



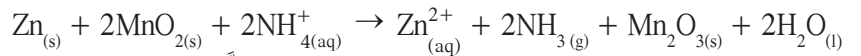
يؤكسد ثاني أكسيد المنجنيز  $\text{MnO}_2$  غاز الهيدروجين الذي تكوّن في خلال اختزال الأمونيوم ويمنعه من التراكم.



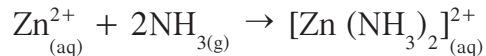
تسمح المعادلتان السابقتان بكتابة تفاعل الاختزال الذي يحدث عند الكاثود.



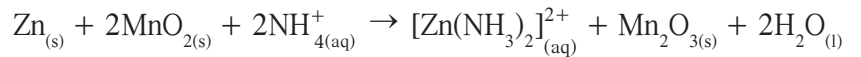
عند جمع معادلتي تفاعل الأكسدة والاختزال جمعاً جبرياً يمكن الحصول على التفاعل النهائي للخلية الذي ينتج جهداً قدره 1.5 V.



يتفاعل الأمونيا  $\text{NH}_3$  مع أيونات الخارصين لإنتاج مركب خارصين - أمونيا معقد (Zinc - Ammonia Complex) يمنع، عند تكوّنه، انبعاث وتراكم غاز الأمونيا.



وتصبح المعادلة النهائية:



وهذا يؤدي إلى عدم إمكانية إعادة الشحن.

### 2.3 المركم الرصاصي (بطارية السيارة)

#### Lead Storage Batteries

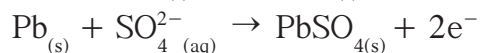
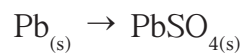
المركم الرصاصي Lead Storage Batteries هو بطارية مكوّنة من خلايا

فولتية متصلة بعضها البعض. يشيع استخدامه كبطارية للسيارات إذ يولّد فرقاً في الجهد قدره 12 V. يتكوّن المركم الرصاصي من ألواح رصاصية شبكية كما هو موضّح في الشكل (11).

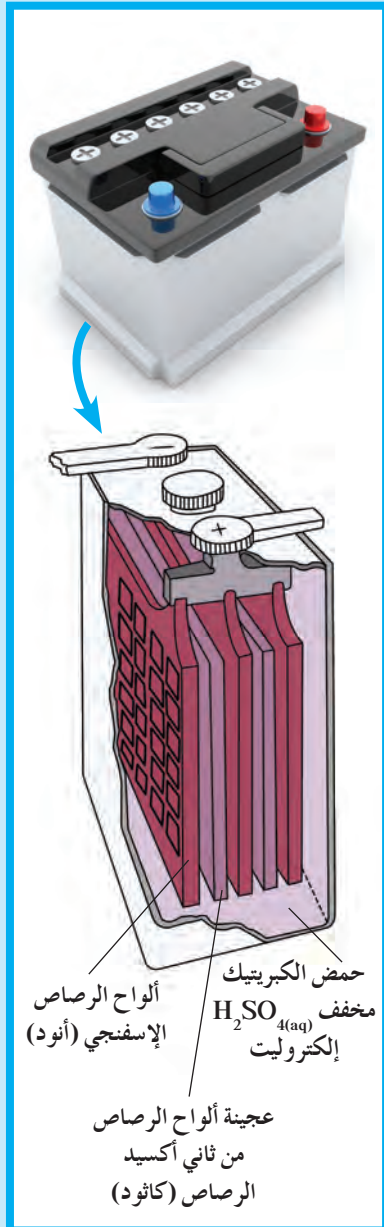
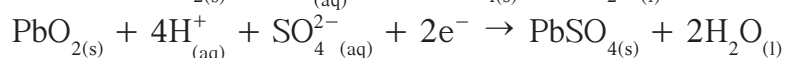
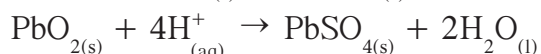
وتملاً هذه الألواح تبادلياً أحدها بالرصاص الإسفنجي (Pb) ويمثّل الأنود والآخر بعجينة من ثاني أكسيد الرصاص ( $\text{PbO}_2$ ) ويمثّل الكاثود. ويغمر هذه الألواح محلول حمض كبريتيك مخفّف يعمل كسائل موصل للتيار الكهربائي (إلكتروليت).

تُكتب أنصاف التفاعلات كالتالي:

الأكسدة:



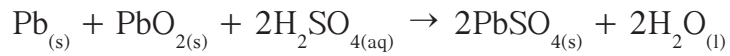
الاختزال:



شكل (11)

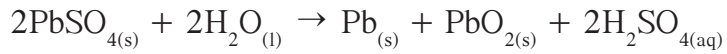
يتكوّن المركم الرصاصي من ست خلايا، متصلة على التوالي، تبلغ القوة الدافعة الكهربائية لكل منها 2 V.

عند جمع معادلتي تفاعل الأكسدة والاختزال جمعاً جبرياً نحصل على التفاعل النهائي للخلية:

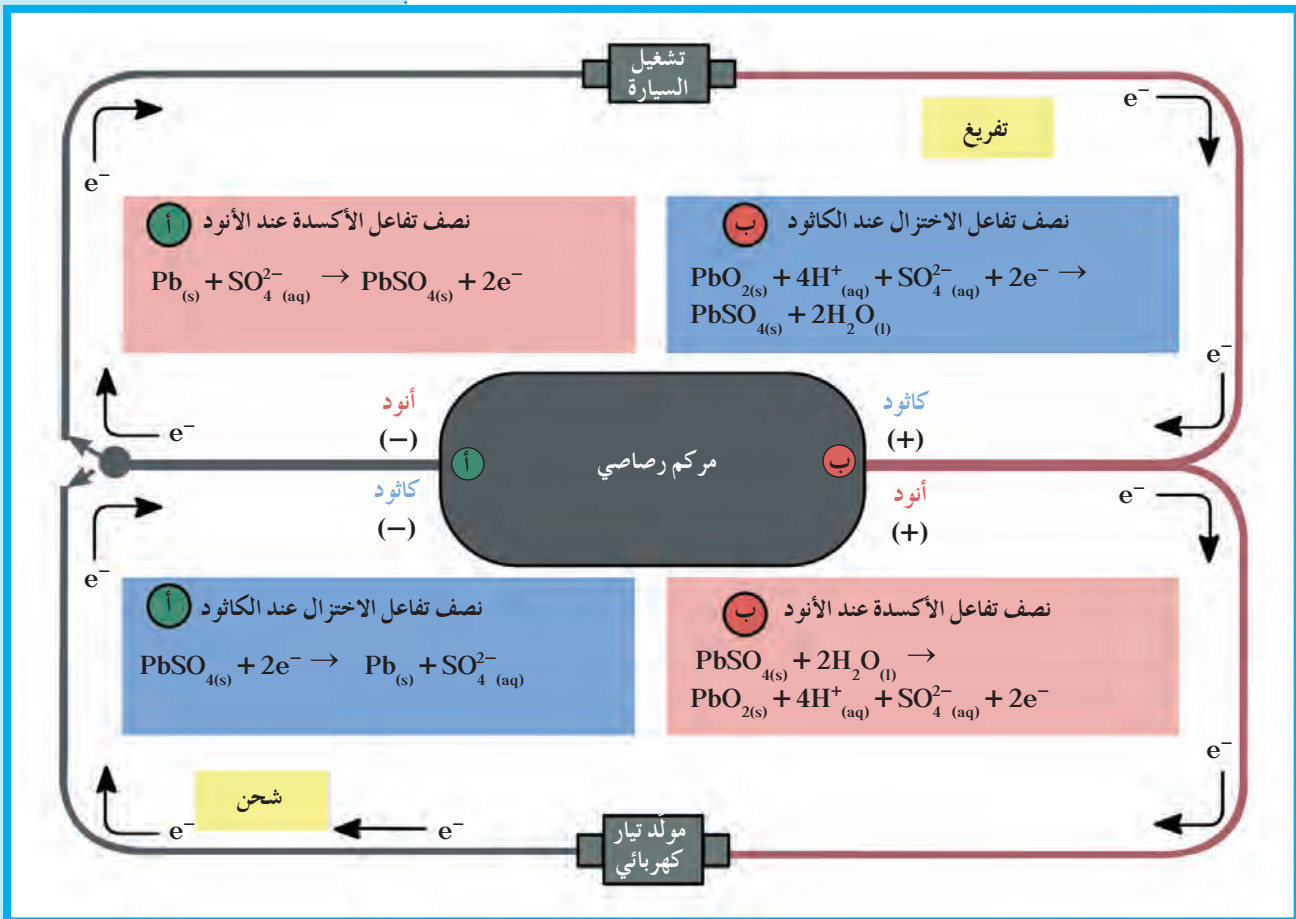


توضّح هذه المعادلة أنّ كبريتات الرصاص تتكوّن عند إغلاق الدائرة الخارجية للخلية وتتراكم على الألواح ببطء فيقلّ تركيز حمض الكبريتيك وهذا ما يُسمّى عملية التفريغ.

يحدث التفاعل العكسي عند إعادة شحن المركم الرصاصي عن طريق دوران مولّد التيار الكهربائي الموجود في السيارة.



هذا التفاعل غير تلقائي ويتطلّب مرور تيار كهربائي مستمرّ عبر خلايا المركم في عكس اتجاه التيار 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.



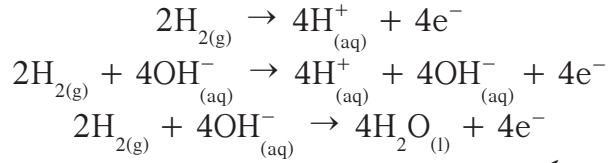
شكل (12)

تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تحدث عند تفريغ المركم الرصاصي وإعادة شحنه

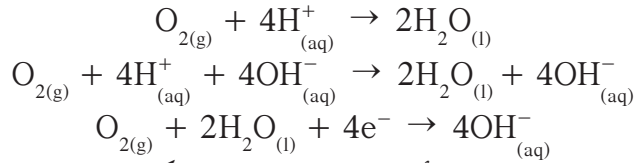
### Fuel Cells

### 3.3 خلايا الوقود

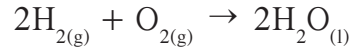
لأن بطاريات المرحم الرصاصي تكف عن التجدد بعد فترة من الاستعمال، تمّ حديثاً إنتاج أقطاب قابلة للتجدد، من دون عامل خارجي كتيار كهربائي، تدخل في صنع خلايا يُطلق عليها اسم خلايا الوقود Fuel Cells وهي خلايا فولتية تحتوي على مادة وقود تتأكسد لتعطي طاقة كهربائية مستمرة ولا تحتاج إلى إعادة شحن. تُصمّم هذه الخلايا بحيث لا ينطلق منها أيّ ملوثات للبيئة وتعمل من دون أن تسبّب ضوضاء. وأبسط أنواع خلايا الوقود هي خلية الوقود هيدروجين - أكسجين (خلية الوقود  $H_2/O_2$ ) الموضحة في الشكل (13). الأوكسدة عند الأنود (وسط قاعدي):



الاختزال عند الكاثود (وسط قاعدي):

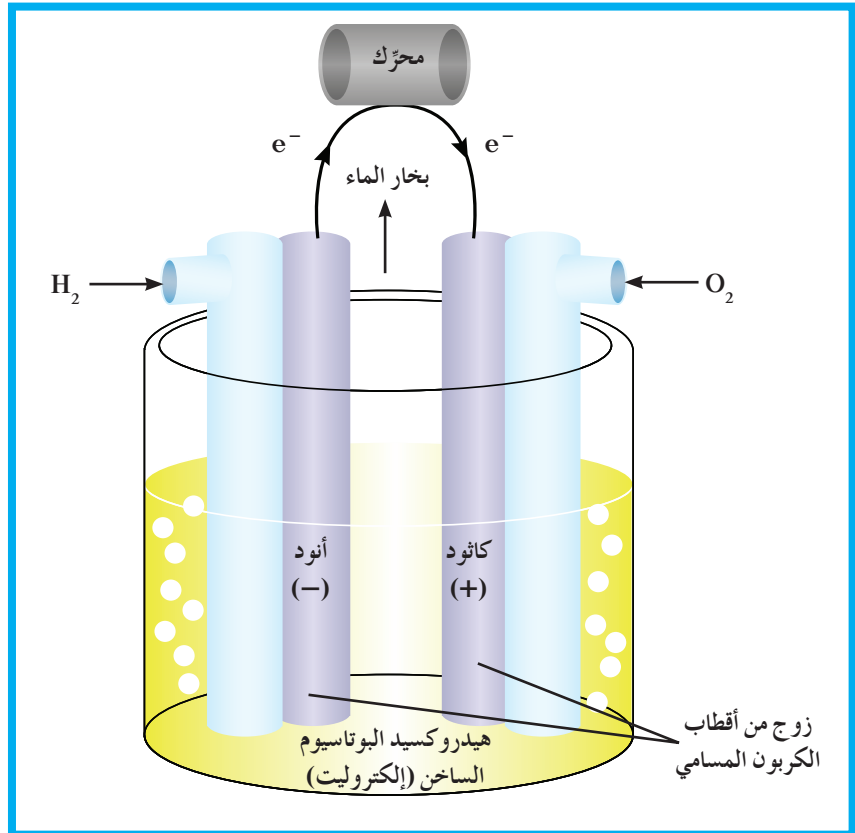


والنفاعل النهائي للخلية هو أكسدة الهيدروجين لتكوين الماء:



شكل (13)

خلية الوقود هيدروجين - أكسجين ( $H_2/O_2$ ) هي مصدر نظيف للطاقة الكهربائية، وتستخدم مثل هذه الخلايا في الآليات الفضائية. ما هي الفضلات أو النواتج المهمة، إذا وجدت، 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 ( $O_3$ ). تُنتج حالياً، 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 الخلية الجلفانية؟
2. ما هو مصدر الطاقة الناتجة من الخلية الجلفانية؟
3. في حال سحب كمية كبيرة من التيار من الخلية الجافة، 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 الملاحظ أنّ البطارية الجافة تبدو وكأنّها قد فرغت بعد استخدامها لإضاءة كاشف كهربائي لمدة ساعة. هل يمكن أن تولّد، مجدداً، تياراً كهربائياً إن لم تُستعمل لبعض الوقت؟
5. عدد أهمّ استخدامات البطارية الجافة؟
6. اشرح كيفية تركيب الخلية الجافة موضّحاً المادة المؤكسدة والمادة المختزلة في هذا النوع من الخلايا وادعم شرحك برسم توضيحي.

## الخلايا الإلكتروليتية: أنصافها وجهودها Electrochemical Cells: Half - Cells and Cell Potentials

### دروس الفصل

#### الدرس الأوّل

• أنصاف الخلايا وجهود الخلايا

#### الدرس الثاني

• الخلايا الإلكتروليتية

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

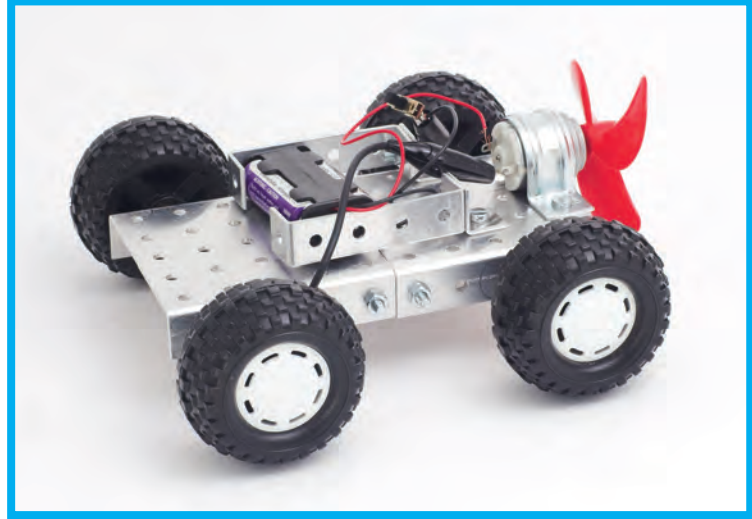
مع تقدّم الزمن والتكنولوجيا ، أصبحت هذه الخلايا المحرّك الأساسي الذي يولّد الطاقة الكهربائية لتشغيل كثير من الأدوات التي نعتمد عليها في حياتنا اليومية كأجهزة الكمبيوتر ، الساعات الرقمية ، الهواتف النقالة ، إلخ . ولكن شيء واحد لم يتغيّر وهو اعتمادها كلّها على تفاعلات إلكتروكيميائية بين موادّ ذات جهود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





الأهداف العامة

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



شكل (14)  
استخدام الخلايا الجافة في الألعاب

تُعدّ بطارية السيارة، أو المرحم الرصاصي، البطارية الأكثر استخدامًا ويبلغ فرق الجهد بين الأنود والكاثود فيها 12 V. يشيع كذلك استخدام بطاريات من نوع آخر هي تلك التي تشغّل الكاشفات الكهربائية، أجهزة التحكم عن بعد، أجهزة الراديو، أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة (CD) إلخ. يبلغ فرق الجهد بين قطبي هذه البطاريات 1.5 V أيًا كانت مقاساتها AA, AAA, C, D (شكل 14).

## 1. الجهد الكهربائي Electrical Potential

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

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

هل تعلم؟

$V = 1 \text{ J/C}$  ( $V = \text{Volt}$ ;  
 $J = \text{Joule}$ ;  $C = \text{Coulomb}$ )

جهد الخلية = جهد الاختزال لنصف الخلية - جهد الاختزال لنصف الخلية  
الذي يحدث عنده الاختزال - الذي يحدث عنده الأكسدة

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

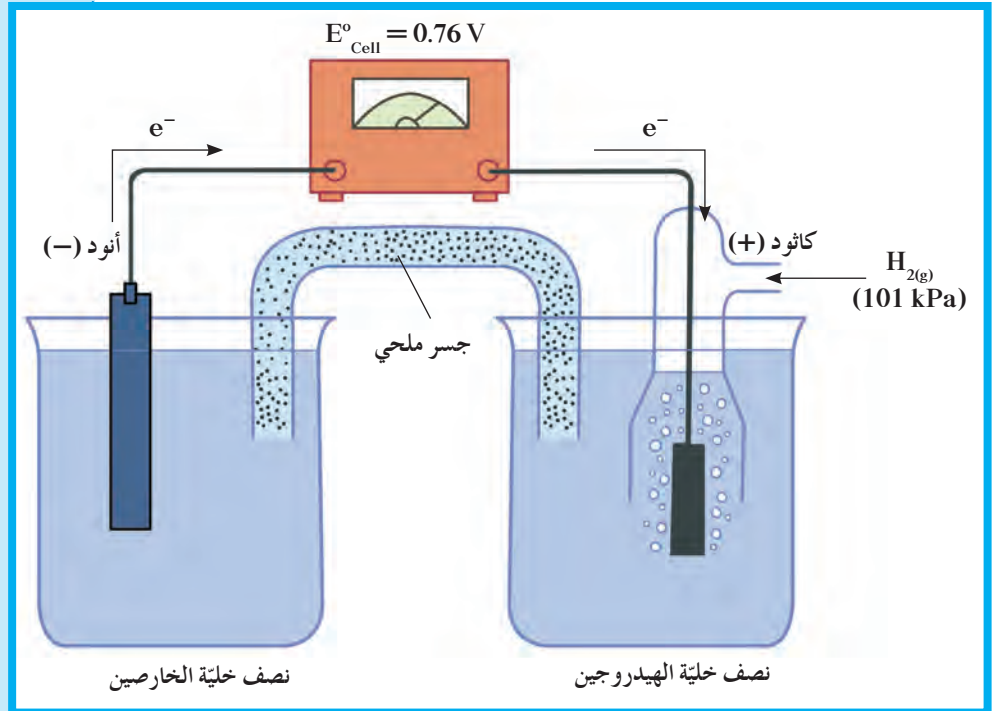
أو

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

## 2. جهود الاختزال القياسية لأنصاف الخلايا

### Standard Reaction Potentials for Half-Cells

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



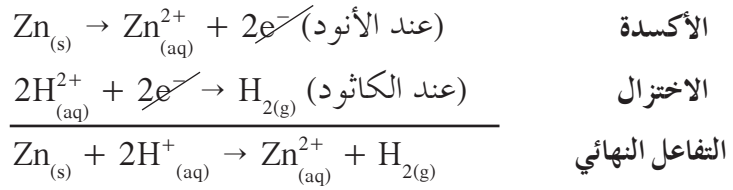
شكل (15)

تتكوّن هذه الخلية الفولتية من نصف خلية  
خارصين ونصف خلية هيدروجين. أين يحدث  
الاختزال؟ وما هو الأيون الذي يُختزل في هذه  
الخلية؟

يحدث اختزال في جميع الخلايا الإلكتروليتية عند الكاثود في  
حين تحدث الأكسدة عند الأنود. ويعطي الفولتمتر قراءة تساوي  
 $+0.76 \text{ V}$ . عندما يوصل قطب الخارصين بالطرف السالب ويوصل  
قطب الهيدروجين بالطرف الموجب، يتأكسد الخارصين، أي أنه الأنود.  
في حين تُختزل كاتيونات الهيدروجين أي أن قطب الهيدروجين هو  
الكاثود.



يمكن الآن كتابة أنصاف التفاعلات والتفاعل النهائي للخلية .



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

$$E_{\text{cell}}^{\circ} = E_{\text{reduction}}^{\circ} - E_{\text{oxidation}}^{\circ}$$

ولهذه الخلية  $E_{\text{cell}}^{\circ} = E_{\text{H}^+/\text{H}_2}^{\circ} - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^{\circ}$  ويساوي جهد الاختزال القياسي لنصف خلية الهيدروجين صفر فولت دائماً (أي  $E_{\text{H}^+/\text{H}_2}^{\circ} = 0 \text{ V}$ ) وبالتعويض عن هذه القيم في المعادلة السابقة يمكن الحصول على جهد الاختزال القياسي لنصف خلية الخارصين .

$$\begin{aligned} E_{\text{cell}}^{\circ} &= E_{\text{cathode}}^{\circ} - E_{\text{anode}}^{\circ} \\ E_{\text{cell}}^{\circ} &= 0 - E_{\text{anode}}^{\circ} = + 0.76 \text{ V} \\ E_{\text{anode}}^{\circ} &= - 0.76 \text{ V} \end{aligned}$$

يساوي جهد الاختزال القياسي لنصف خلية الخارصين  $E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^{\circ} = -0.76 \text{ V}$  ولقيمته إشارة سالبة لأن ميل كاتيونات الخارصين للاختزال إلى فلز الخارصين (أي إلى كسب إلكترونات) في هذه الخلية أقل من ميل كاتيونات الهيدروجين إلى الاختزال إلى غاز الهيدروجين وبالتالي لا تُختزل كاتيونات الخارصين وإنما يتأكسد فلز الخارصين إلى كاتيونات الخارصين  $\text{Zn}^{2+}$ . لذلك تشير الإشارة السالبة إلى أن الإلكترونات تنتقل من قطب الخارصين باتجاه قطب غاز الهيدروجين .

يمكن وصل أنصاف خلايا مختلفة بنصف خلية الهيدروجين بطريقة مماثلة . وباستخدام هذه الطريقة ، يمكن تحديد قيمة جهد الاختزال القياسي لأي نصف خلية . على سبيل المثال ، تساوي القيمة المقاسة لجهد خلية هيدروجين - نحاس قياسية  $0.34 \text{ V}$  . يعمل النحاس ، في هذه الحالة ، ككاثود وتُختزل كاتيوناته إلى فلز النحاس . وعندما تُركب الخلية وتُشغّل ، يؤدي نصف خلية الهيدروجين دور الأنود فيتأكسد غاز الهيدروجين إلى كاتيونات هيدروجين .

يمكن حساب جهد الاختزال القياسي للنحاس كما يلي:

$$\begin{aligned} E_{\text{cell}}^{\circ} &= E_{\text{cathode}}^{\circ} - E_{\text{anode}}^{\circ} \\ E_{\text{cell}}^{\circ} &= E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{H}^{+}/\text{H}_2}^{\circ} \\ E_{\text{cell}}^{\circ} &= E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} - 0 = + 0.34 \text{ V} \\ E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} &= + 0.34 \text{ V} \end{aligned}$$

توضّح هذه الحسابات أنّ جهد الاختزال القياسي للنحاس يساوي +0.34 V ولقيّمته 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. توضّح المعادلة التالية تفاعل عنصر X مع ملح العنصر Y.



نلاحظ ما يلي:

• حدثت عملية أكسدة للعنصر X وبالتالي يسلك سلوك الأنود ويُعتبر عامل مختزل.

• اختزلت كاتيونات العنصر Y وبالتالي يسلك سلوك الكاثود ويُعتبر عامل مؤكسد ولذلك العنصر X أكثر نشاطاً من العنصر Y ولديه أقلّ جهد اختزال.

ومن ثمّ يمكن ترتيب العناصر في سلسلة تنازلية بحسب النشاط الكيميائي وتصاعدياً بحسب جهد الاختزال.

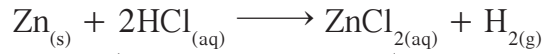
وباستخدام نصف خلية الهيدروجين القياسية (جهد اختزاله = صفر) وتكوين خلايا جلفانية كما هو موضّح في الرسم (شكل 15) يمكن حساب جهود الاختزال القياسية لأنصاف الخلايا وترتيبها ترتيباً تصاعدياً في ما يُعرّف بالسلسلة الإلكتروكيميائية.

رُتبت أنصاف خلايا مختلفة ترتيباً تصاعدياً تبعاً لجهود اختزالها القياسية مقارنة بنصف خلية الهيدروجين القياسية. ويُعرّف هذا الترتيب باسم سلسلة جهود الاختزال القياسية، (جدول 2). وهو يتفق مع القدرة المختلفة على اكتساب أو فقد الإلكترونات وبالتالي يتفق مع النشاط الكيميائي.

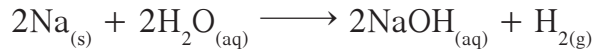
من مزايا ترتيب أنصاف الخلايا في السلسلة ما يلي:

• تمتلك قيم جهود الاختزال لأنصاف الخلايا التي تسبق الهيدروجين إشارة سالبة، ويدل ذلك على أن أي نصف خلية منها يعمل كأنود عند توصيله بنصف خلية الهيدروجين، وبالتالي فهو أكثر ميلاً إلى الأكسدة من الهيدروجين، وكاتيوناته أقل ميلاً إلى الاختزال ففي خلية الخارصين - الهيدروجين القياسية مثلاً، يتأكسد الخارصين، بينما تختزل كاتيونات الهيدروجين.

• تمتلك بعض العناصر الفلزية القدرة على أن تحل محل الهيدروجين في مركباته كالماء والأحماض إذا توفرت الظروف المناسبة، فالخارصين مثلاً يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك ويتصاعد غاز الهيدروجين الذي يشتعل بفرقة، بحسب المعادلة التالية:



كذلك يتفاعل الصوديوم بشدة مع الماء ويتصاعد أيضاً غاز الهيدروجين بحسب المعادلة التالية:

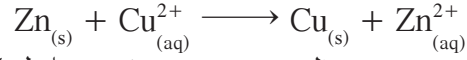


كما أن هذه العناصر الفلزية لا توجد في الطبيعة في الحالة العنصرية، وإنما توجد على شكل مركبات من مثل الكلوريدات أو الكبريتات، علل ذلك على ضوء ما سبق، فسّر لماذا يُحفظ الصوديوم تحت سطح الكيروسين، ولماذا يصدأ الحديد عند تركه معرضاً للهواء الرطب.

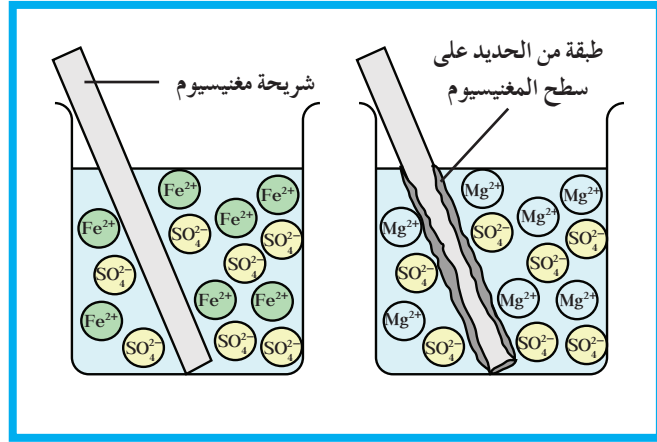
• تمتلك جهود الاختزال لأنصاف الخلايا التي تلي الهيدروجين إشارة موجبة، ويدل ذلك على أن أي نصف خلية منها يعمل كاثوداً عند توصيله بنصف خلية الهيدروجين، وبالتالي فهو أقل ميلاً إلى الأكسدة من الهيدروجين، وكاتيوناته أكثر ميلاً إلى الاختزال، فخلية النحاس - الهيدروجين القياسية مثلاً، يتأكسد الهيدروجين، بينما تُختزل كاتيونات النحاس (II).

العناصر الفلزية التي تلي الهيدروجين ليس لها القدرة على أن تحل محل الهيدروجين في مركباته كالماء والأحماض في الظروف العادية، فالنحاس والبلاتين مثلاً لا يتفاعلا مع الماء أو حمض الهيدروكلوريك في الظروف العادية. كما أنها يمكن أن توجد في الطبيعة في الحالة العنصرية، بجانب وجودها على شكل مركبات مثل الكلوريدات أو الكبريتات، علل ذلك على ضوء ما سبق، فسّر لماذا يتم استخدام الفضة والذهب والبلاتين في صناعة الحلبي؟

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:



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



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:



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



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) تُختزل ولذا تُعتبر 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 يُعتبر عنصر الفلور  $\text{F}_2$  أقوى العوامل المؤكسدة ، بينما يُعتبر كاتيون الليثيوم  $\text{Li}^+$  أضعف العوامل المؤكسدة .

وبالمثل جميع الأنواع التي تقع على يمين "/" تتأكسد ، ولذا تُعتبر عوامل مختزلة ، وبما أنّ جهود الاختزال تقلّ كلّما اتجهنا إلى أعلى في هذا الترتيب (السلسلة) ، فإنّ 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  $\text{Li}$  أقوى العوامل المختزلة ، بينما يُعتبر أنيون الفلور  $\text{F}^-$  أضعف العوامل المختزلة بالنسبة إلى التفاعلات السابقة في السلسلة .

القطب	نصف تفاعل	الجهد القياسي (V)
Li <sup>+</sup> /Li	Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Li	-3.05
K <sup>+</sup> /K	K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → K	-2.93
Ba <sup>2+</sup> /Ba	Ba <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ba	-2.90
Na <sup>+</sup> /Na	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Na	-2.71
Mg <sup>2+</sup> /Mg	Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mg	-2.37
Al <sup>3+</sup> /Al	Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Al	-1.66
H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub>	2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> + 2OH <sup>-</sup>	-0.83
Zn <sup>2+</sup> /Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Zn	-0.76
Cr <sup>3+</sup> /Cr	Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Cr	-0.74
Fe <sup>2+</sup> /Fe	Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Fe	-0.44
H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> (pH = 7)	2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> + 2OH <sup>-</sup>	-0.42
PbSO <sub>4</sub> /Pb	PbSO <sub>4</sub> + 2e <sup>-</sup> → Pb + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.36
Co <sup>2+</sup> /Co	Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Co	-0.28
Ni <sup>2+</sup> /Ni	Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ni	-0.25
Sn <sup>2+</sup> /Sn	Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Sn	-0.14
Pb <sup>2+</sup> /Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Pb	-0.13
Fe <sup>3+</sup> /Fe	Fe <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Fe	-0.036
H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub>	0.000
S/H <sub>2</sub> S	S + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> S	+0.14
AgCl/Ag	AgCl + e <sup>-</sup> → Ag + Cl <sup>-</sup>	+0.22
Cu <sup>2+</sup> /Cu	Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cu	+0.34
O <sub>2</sub> /OH <sup>-</sup>	O <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4e <sup>-</sup> → 4OH <sup>-</sup>	+0.40
Cu <sup>+</sup> /Cu	Cu <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Cu	+0.52
I <sub>2</sub> /I <sup>-</sup>	I <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → 2I <sup>-</sup>	+0.54
Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup> → Fe <sup>2+</sup>	+0.77
Ag <sup>+</sup> /Ag	Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Ag	+0.80
Hg <sup>2+</sup> /Hg	Hg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Hg	+0.85
Br <sub>2</sub> /Br <sup>-</sup>	Br <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → 2Br <sup>-</sup>	+1.07
O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → 2H <sub>2</sub> O	+1.23
MnO <sub>2</sub> /Mn <sup>2+</sup>	MnO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mn <sup>2+</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+1.28
Cl <sub>2</sub> /Cl <sup>-</sup>	Cl <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → 2Cl <sup>-</sup>	+1.36
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /Mn <sup>2+</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 8H <sup>+</sup> + 5e <sup>-</sup> → Mn <sup>2+</sup> + 4H <sub>2</sub> O	+1.51
PbO <sub>2</sub> /PbSO <sub>4</sub>	PbO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 2e <sup>-</sup> → PbSO <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O	+1.69
F <sub>2</sub> /F <sup>-</sup>	F <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → 2F <sup>-</sup>	+2.87

جدول (2)  
جهود الاختزال القياسية عند الظروف القياسية

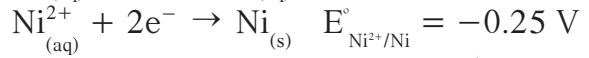
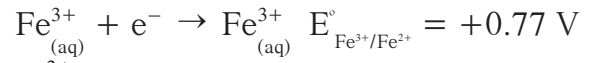
### 3. أهمية حساب جهود الخلايا القياسية

#### Importance of Calculating Standard Cell Potentials

تتكوّن أيّ خلية جلفانية من نصفي خلية. 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 الخلية وحساب جهود كلّ الخلايا من دون تجميعها فعلياً. ويمكن، بسهولة، استخدام جهود الاختزال القياسية المعروفة لأصناف الخلايا المختلفة من الجدول (2) لتوقع نصف الخلية الذي يحدث عنده الاختزال أو الأكسدة. ويمكن، بعدئذٍ استخدام هذه المعلومات لحساب قيمة الجهد القياسي للخلية الناتجة ( $E_{\text{cell}}^{\circ}$ ). يمكن استعمال الجهد القياسي للخلية لتوقع ما إذا كان التفاعل تلقائياً أم لا. فإذا كان جهد خلية تفاعل أكسدة واختزال موجب يكون التفاعل تلقائياً أمّا إذا كان سالباً فيكون التفاعل غير تلقائي. ويكون التفاعل الأخير تلقائياً في الاتجاه المعاكس، ويمتلك جهده القيمة العددية نفسها ولكنّها موجبة.

#### مثال (1)

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



طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

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

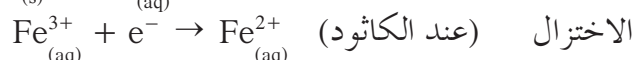
يحدث تفاعل الاختزال عند نصف الخلية الذي يمتلك أكبر جهد اختزال (الكاثود) وبالتالي يحدث تفاعل الأكسدة عند نصف الخلية الذي يمتلك جهد اختزال أصغر (الأنود). اجمع نصفي التفاعل بعد التأكد من تساوي عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة ثمّ احسب جهد الخلية القياسي باستخدام المعادلة التالية:

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

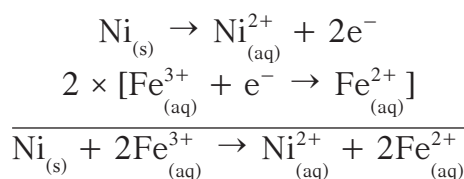
## مثال (1) (تابع)

2. احسب: حل غير المعطى.

في هذه الخلية، يُختزل  $Fe^{3+}$  ويتأكسد Ni ولأن الاختزال يحدث في نصف خلية  $Fe^{3+}$ ، ويُعتبر هذا النصف الكاثود. يُكتب تفاعلا نصفي الخلية في الاتجاه الذي يحدثان فيه فعلاً كالتالي:



قبل جمع نصفي التفاعل، تأكد من حذف الإلكترونات المفقودة والمكتسبة بعد جعل عددها متساو 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.



يمكن الآن حساب جهد الخلية القياسي.

$$E_{\text{cell}}^{\circ} = E_{\text{reduction}}^{\circ} - E_{\text{oxidation}}^{\circ}$$

$$E_{\text{cell}}^{\circ} = E_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^{\circ} - E_{Ni^{2+}/Ni}^{\circ}$$

$$= 0.77 - (-0.25) = 1.02 \text{ V}$$

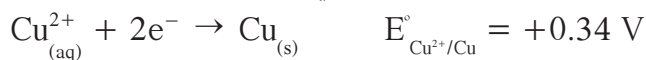
لاحظ أن  $E^{\circ}$  لنصف خلية ما لا يُضرب بأي معامل حتى ولو ضرب إحدى أو كلا معادلتى نصفي الخلية بمعاملات عديدة ليتسنى شطب الإلكترونات في طرفي معادلة الخلية النهائية.

3. قيم: هل النتيجة لها معنى؟

لقد نُظمت المعادلات بطريقة صحيحة وجمعت من دون أخطاء حسابية. إذا كان جهد الاختزال لعملية الاختزال موجبًا وجهد الاختزال للأوكسدة سالبًا يكون جهد الخلية  $E^{\circ}$  موجبًا دائمًا.

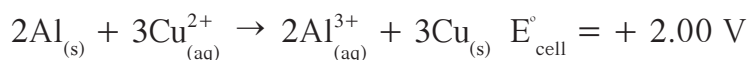
## أسئلة تطبيقية وحلها

1. خلية فولتية مكونة من نصفي الخلايا التالية:

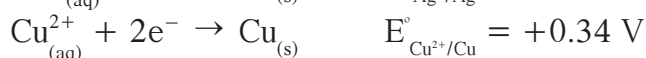


اكتب معادلة الخلية النهائية واحسب جهدها القياسي.

الحل:



2. خلية فولتية مكونة من نصفي الخلايا التالية:



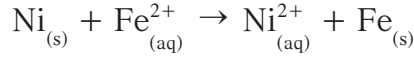
اكتب معادلة الخلية النهائية واحسب جهدها القياسي.





## مثال (2)

احسب جهد الخلية  $E^\circ_{\text{cell}}$  لتحديد ما إذا كان تفاعل الأكسدة والاختزال التالي تلقائياً أم لا .



طريقة التفكير في الحل

1. حلل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم: (جدول 1) غير المعلوم:

$$E^\circ_{\text{cell}} = ? \quad E^\circ_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -0.25 \text{ V}$$

$$\text{هل التفاعل تلقائي؟} \quad E^\circ_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = -0.44 \text{ V}$$

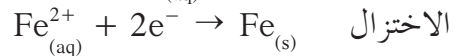
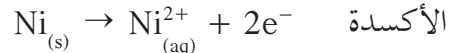
يكون تفاعل الأكسدة والاختزال تلقائياً إذا كان جهد الخلية القياسي موجباً .

اكتب كل نصف تفاعل مع جهد اختزاله القياسي . احسب جهد الخلية القياسي باستخدام:

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

2. احسب: حل غير المعلوم .

معادلتا نصفي التفاعل في المعادلة المعطاة:



عوض قيم جهدي الاختزال القياسيين لنصفي الخلية المنقولين عن الجدول (2) حيث كتبنا على هيئة معادلتنا اختزال:



نصف خلية النيكل هو نصف خلية الأكسدة ونصف خلية الحديد هو نصف خلية الاختزال وبالتالي جهد الخلية القياسي هو الفرق بين جهد نصف خلية الحديد وجهد نصف خلية النيكل .

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

$$E^\circ_{\text{cell}} = -0.44 - (-0.25) = -0.19 \text{ V}$$

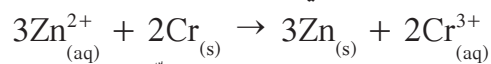
ونظراً لأن جهد الخلية القياسي المحسوب عدد سالب ، يكون تفاعل الأكسدة والاختزال غير تلقائي . وعلى ذلك يلزم تزويد التفاعل بقدر من الطاقة ليتم وإلا وحده التفاعل العكسي سوف يحدث .

3. قيم: هل النتيجة لها معنى؟

نظراً لأن الحديد يسبق النيكل في سلسلة نشاط الفلزّات فمن المنطقي أنّ أيونات الحديد لم تُختزل بواسطة ذرات النيكل بل حصل العكس أي أنّ الحديد تأكسد في وجود أيونات النيكل واختزل الأخير إلى فلزّ النيكل .

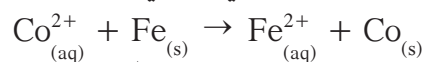
## أسئلة تطبيقية وحلها

1. احسب جهد الخلية القياسي لتحديد ما إذا كان تفاعل الأكسدة والاختزال التالي سوف يحدث تلقائياً .



**الحل:** التفاعل غير تلقائي لأن  $E_{\text{cell}}^{\circ} = -0.02 \text{ V}$

2. هل التفاعل التالي تلقائي كما هو مكتوب؟



**الحل:** التفاعل تلقائي لأن  $E_{\text{cell}}^{\circ} = +0.16 \text{ V}$

## مراجعة الدرس 1-2

1. ما هو الفرق بين جهد الخلية القياسي وجهد الاختزال القياسي؟

2. كيف يمكن استخدام جهود الاختزال القياسية لحساب جهود الخلايا القياسية؟

3. ما هو جهد الخلية القياسي لخلية Zn - Cu الفولتية؟ اكتب الرمز الاصطلاحي لهذه الخلية .

4. فسّر استخدام قطب الهيدروجين القياسي كقطب قياسي .

5. جهد الاختزال القياسي لنصف خلية الكادميوم يساوي  $-0.40 \text{ V}$  . ماذا تعني العبارة السابقة؟

الأهداف العامة

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



شكل (17)  
أقراص فيديو رقمية (DVD)

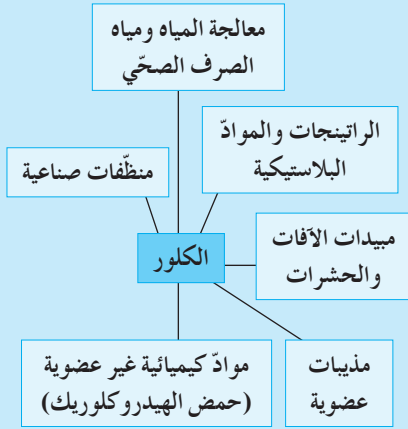
تُستخدم أقراص الفيديو الرقمية لتخزين كل أنواع البيانات بدءاً من برامج الوسائط المتعدّدة في أجهزة الكمبيوتر وصولاً إلى أحدث الأفلام الشهيرة (شكل 17). بفضلها أصبح من الممكن تخزين كمية كبيرة من البيانات في حيزٍ صغير جداً. لتصنيع هذه الأقراص، يستخدم الليزر لنقل كلّ البيانات المطلوبة إلى قرص رئيس ثمّ يرسّب على هذا الأخير نوع من الفلزّ باستعمال الكهرباء. يُستخدم القرص الفلزيّ بعد نزعه عن القرص الرئيس لطباعة النسخ المكرّرة التي تُباع للمستهلك. كيف يمكن ترسيب قرص فلزيّ على جسم ما باستعمال الكهرباء؟ هذا مثال على التفاعلات الإلكتروليتية المحفّزة بواسطة تيار كهربائي لتصبح تلقائية التي تدخل أيضاً في عملية تنقية معادن كثيرة من خاماتها.

## 1. الخلايا الإلكتروليتية Electrolytic Cells

تُسمّى العمليات التي تُستخدم فيها الطاقة الكهربائية لإحداث تغيّر كيميائي 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.

## فقرة إثرائية

أهم استخدامات الكلور



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

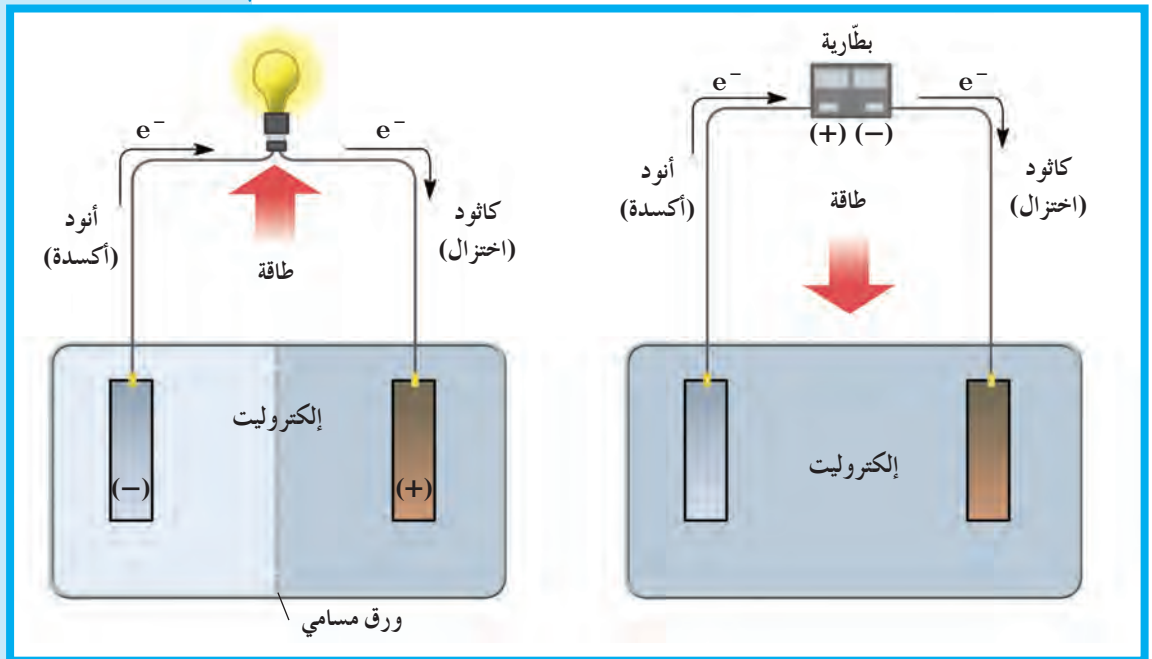
يُطلق على الجهاز الذي تجري فيه عملية التحليل الكهربائي اسم الخلية الإلكتروليتية Electrolytic Cell وهي خلية إلكتروكيميائية تُستخدم لإحداث تغيير كيميائي باستخدام طاقة كهربائية .

تُستخدم الطاقة الكهربائية (تيار مستمرّ)، في الخلية الإلكتروليتية، لإتمام حدوث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي وتُستخدم سلسلة من الخلايا الإلكتروليتية للإنتاج التجاري للكلور، وهيدروكسيد الصوديوم من المحلول المائي المركز لكلوريد الصوديوم .

## 2. الفرق بين الخلية الفولتية والخلية الإلكتروليتية

### Difference Between Voltaic Cell and Electrolytic Cell

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



شكل (18)

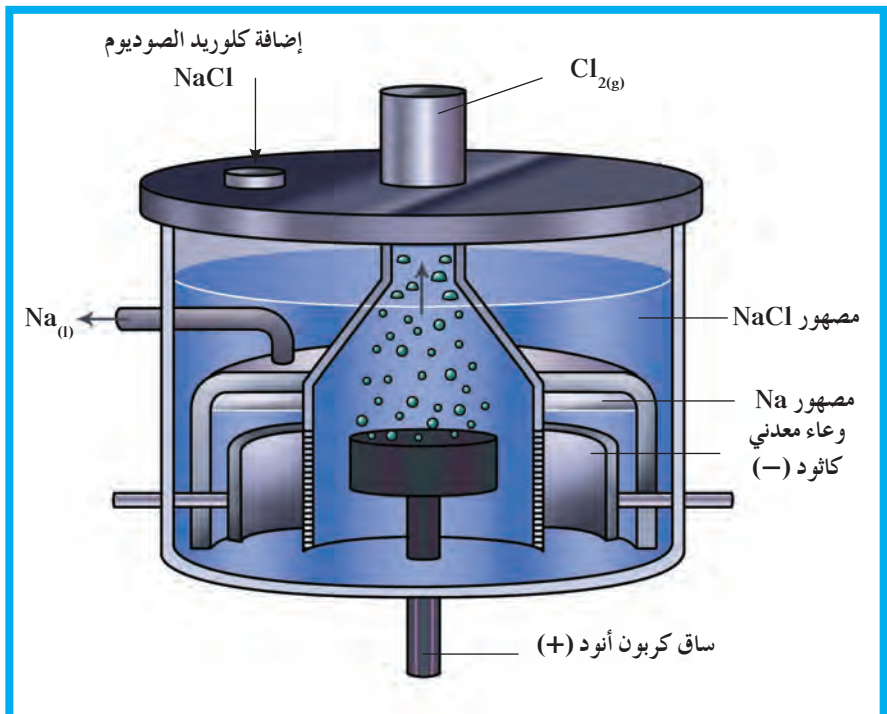
تتشارك الخلايا الفولتية والإلكتروليتية في بعض الصفات العامة ففي كلتا الخليتين يحدث الاختزال عند الكاثود وتحدث الأكسدة عند الأنود وتسير الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود في الدائرة الخارجية. ولكنهما تختلفان من حيث نوع الشحنات على الأنود والكاثود وفي كون تفاعل الأكسدة والاختزال غير تلقائي في الخلية الإلكتروليتية وتلقائي في الخلية الفولتية. ما الذي يؤدي إلى إتمام تفاعل الأكسدة والاختزال غير التلقائي؟

على عكس الخلية الإلكتروليتية حيث تتحرك الإلكترونات بفعل طاقة تمتصها الخلية من مصدر خارجي (بطارية) ليحدث التفاعل. كما تختلفان من حيث إشارة الأقطاب ففي الخلية الفولتية تسيل الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود وبالتالي تصبح إشارة الأنود سالبة وإشارة الكاثود موجبة. في حين يُعتبر الكاثود في الخلية الإلكتروليتية القطب السالب لأنه يتصل بالقطب السالب للبطارية (مصدر الطاقة الخارجي) ويُعتبر الأنود القطب الموجب لأنه يتصل بالقطب الموجب للبطارية. ومن المهم تذكّر اختلاف تسميات الأقطاب بين نوعي الخلايا.

### 3. التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم

#### Electrolysis of Molten Sodium Chloride

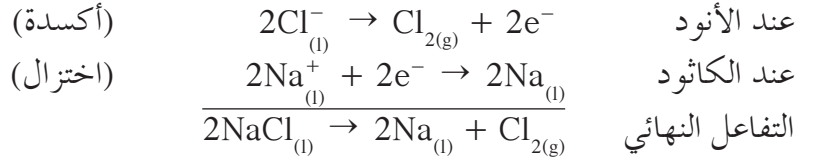
يُعتبر الصوديوم والكلور من المواد الهامة تجاريًا حيث يستخدم الصوديوم في مصايح بخار الصوديوم وكمبرد في بعض المفاعلات النووية بينما يُستخدم غاز الكلور، ذو اللون الأخضر المصفر، لتعقيم مياه الشرب إلى جانب كونه مادة هامة في تصنيع بوليمرات من مثل بولي كلوريد الفينيل والمبيدات الحشرية المختلفة. ينتج هذان العنصران من التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم النقي وليس لمحلول كلوريد الصوديوم. يتصاعد، نتيجة للتحليل، غاز الكلور ويطفو الصوديوم السائل (ذو درجة الانصهار  $97.8^{\circ}\text{C}$ ) فوق مصهور كلوريد الصوديوم الأكثر كثافة. تُسمى الخلية الإلكتروليتية، التي تجري فيها عملية التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم التجارية، خلية داون Down's Cell وهي موضحة في الشكل (19).



شكل (19)

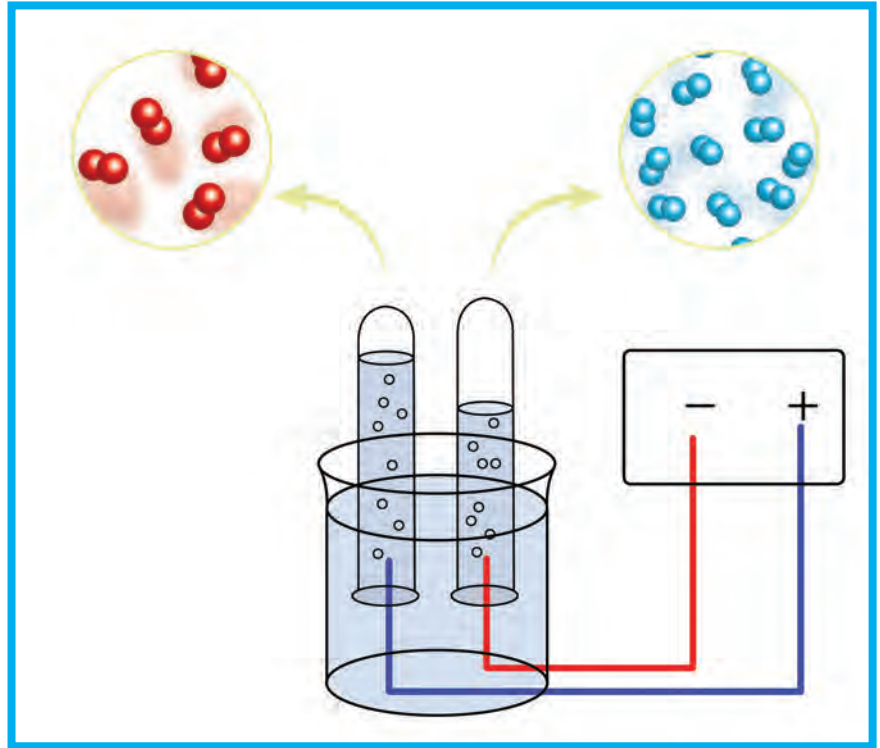
تنتج خلية داون فلز الصوديوم وغاز الكلور من خلال التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم وتعمل الخلية عند درجة حرارة  $301^{\circ}\text{C}$  حتى يُصهر الملح.

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



#### 4. التحليل الكهربائي للماء Electrolysis of Water

عندما يوصل تيار كهربائي بقطبين مغمورين في ماء نقي لا يحدث شيء ولا يمرّ تيار كهربائي ولا يحدث تحليل كهربائي. ولكن عند إضافة قطرات من حمض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ، بتركيزات منخفضة إلى الماء النقي، يصبح المحلول موصلًا للتيار الكهربائي فيحدث التحليل الكهربائي وهذه العملية موضّحة في الشكل (20).



شكل (20)

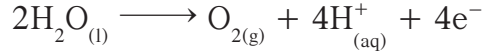
يتحلل الماء عند مرور تيار كهربائي فيه إلى غاز الأكسجين وغاز الهيدروجين. عند أي قطب يتكوّن غاز الهيدروجين؟ وأي غاز ينتج من عملية الأكسدة؟

## فقرة إثرائية

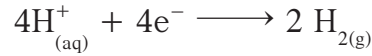
### معلومات إضافية

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

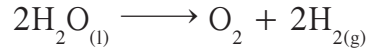
وتحدث التفاعلات الكيميائية التالية نتيجة التحليل الكهربائي كما يلي:  
• عند الأنود، القطب الموجب، العناصر المتوفرة هي أيون الكبريتات  $SO_4^{2-}$  والماء  $H_2O$  وجهود اختزالها على التوالي هي (2 V و 1.23 V) وكما وضحنا سابقاً، يتأكسد العنصر الذي يمتلك أقلّ جهد اختزال وبالتالي يتأكسد الماء طبقاً للتفاعل التالي:



• عند الكاثود، القطب السالب، العناصر المتوفرة هي كاتيونات الهيدروجين  $H^+$  من الوسط الحمضي والماء  $H_2O$  وجهود اختزالها على التوالي هي (0 V و -0.42 V) وكما وضحنا سابقاً، وبالتالي تُختزل كاتيونات الهيدروجين بحسب المعادلة التالية:



والتفاعل النهائي تمثله المعادلة التالية:



نستنتج التالي:

- يتأكسد الماء عند الأنود ويتصاعد غاز الأكسجين.
- تُختزل كاتيونات الهيدروجين من الوسط الحمضي ويتمّ التعويض عنها من عملية أكسدة الماء ويتصاعد غاز الهيدروجين.
- يظلّ عدد مولات حمض الكبريتيك ثابتاً وبالتالي يُعتبر حمض الكبريتيك مادة محفزة.
- يساوي حجم غاز الهيدروجين الناتج ضعف حجم غاز الأكسجين لأنّ عدد مولات الإلكترونات الناتجة من أكسدة الماء تنتج 1 mol من غاز الأكسجين بينما تُختزل 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 المركز (شكل 21) تتجه أيونات الكلور إلى الأنود (القطب الموجب) حيث يوجد الماء. في هذه الحالة، يتأكسد الماء لأنه يمتلك جهد الاختزال الأقلّ (جهد اختزال الماء في عملية الأكسدة يساوي 1.23 V في حين يساوي جهد اختزال الكلور 1.36 V).

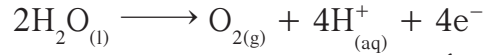


## فقرة إثرائية

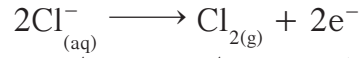
### هل تعلم؟

في حال رفع العازل، تتفاعل نواتج التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المركز لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم الذي يُعتبر الخطوة الأولى في تحضير المنظفات المستعملة لتبييض الملابس.

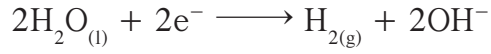
عند بدء عملية التحليل الكهربائي يتأكسد الماء بحسب المعادلة التالية:



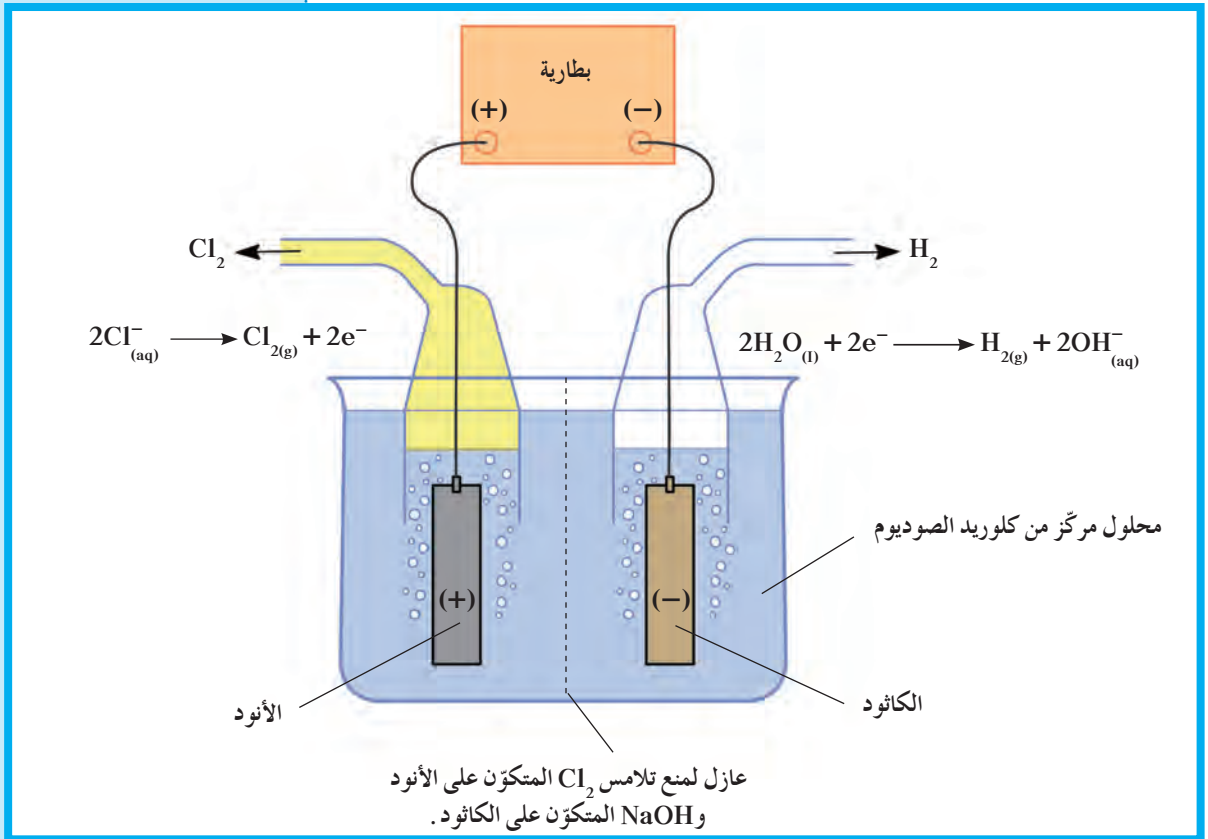
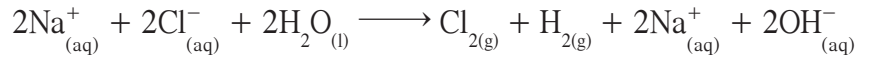
ولكن تراكم غاز الأكسجين على القطب يرفع جهد اختزال الماء ليفوق الكلور فيتأكسد أيون الكلور:



أما عند الكاثود فتتوفر كاتيونات الصوديوم والماء وحيث أنّ جهد اختزال الماء يفوق جهد اختزال الصوديوم يُختزل الماء بحسب المعادلة التالية:



والمعادلة النهائية تكون كالتالي:



شكل (21)

ما هي المواد التي تنتج من تفاعلات الأكسدة والاختزال في خلال التحليل الكهربائي لمحلول مركز من كلوريد الصوديوم؟

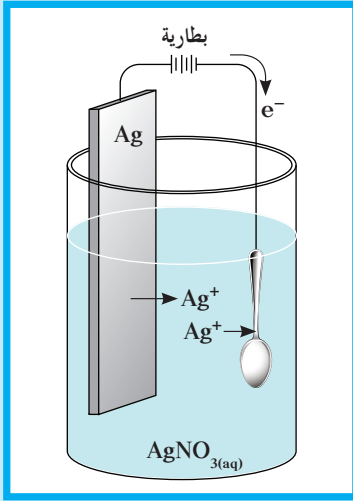
ونستنتج من ذلك:

- 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.



## 6. الطلاء بالكهرباء والعمليات المتعلقة به

### Electroplating and Related Processes



شكل (22)  
عملية الطلاء بالكهرباء



شكل (23)  
الطلاء بالكهرباء هو تغطية الجسم المراد طلاؤه بطبقة رقيقة من الفلز في خلية إلكتروليزية.

### فقرة إثرائية

#### ارتباط الكيمياء بالصناعة

##### المعالجة بالطريقة الأنودية

المعالجة بالطريقة الأنودية هي عملية إلكتروليزية لتكوين طبقة من الأكسيد مقاومة للتآكل تغطي الألمنيوم وفضلات أخرى. فعندما يمر تيار كهربائي في خلية إلكتروليزية تحتوي على أنود من الألمنيوم، تتكون طبقة رقيقة من أكسيد الألمنيوم على سطح الألمنيوم ثم يُغمر بماء نقي مغلي فيلتصق هذا الغشاء بالفلز بصورة دائمة ويحميه من التآكل. يمكن أن ينتج في صناعة الألمنيوم المعالج بالطريقة الأنودية ألوان فلزية إذ تسمح المسامية العالية لطبقة الأكسيد بامتصاص الصبغات والشحوم.

الطلاء بالكهرباء Electroplating هو ترسيب طبقة رقيقة من فلز على جسم معدني في خلية إلكتروليزية. ولهذه العملية تطبيقات كثيرة هامة هدفها، عادة، حماية سطح الفلز المراد طلاؤه من التآكل وتجميله. وتكون طبقة الفلز المترسبة رقيقة للغاية وتتراوح سماكتها، عادة، بين  $5 \times 10^{-5}$  cm إلى  $1 \times 10^{-3}$  cm. نذكر من بين الفلزات التي تُستخدم عادة في هذه العملية الذهب، الفضة، النحاس، النيكل والكروم. لطلاء جسم معدني بالفضة يوضع الجسم ككاثود في خلية تحليل كهربائي يكون الأنود فيها عبارة عن فلز الفضة الذي سوف يترسب عليه (شكل 22). ويُستخدم كإلكتروليت محلول أحد أملاح الفضة من مثل سيانيد الفضة (AgCN). عندما يمر تيار كهربائي مستمر في الخلية، تتحرك كاتيونات الفضة من الأنود باتجاه الجسم المعدني المراد طلاؤه.

وتكون النتيجة النهائية انتقال فلز الفضة من قطب الفضة إلى الجسم المراد طلاؤه من مثل الأواني الموضحة في الشكل (23). ما الذي يحدث لكاتيونات الفضة عند الكاثود؟ يُعتبر التحكم في هذا التفاعل عملاً فنياً راقياً وثمة عوامل كثيرة تؤثر في جودة الطبقة المعدنية المترسبة. يجب إجادة التحكم في تركيز الكاتيونات التي سوف تُختزل في محلول الطلاء كما يجب أن يحتوي محلول الطلاء على مركبات تتحكم في حمضية وسط التفاعل وتزيد التوصيل الكهربائي. وهناك عمليات تحليل كهربائي أخرى وأهمها التلميع أو عمليات الصقل الكهربائي يوضع الجسم المعدني فيها عند الأنود فيذوب سطحه الخارجي ويصبح مصقولاً.

## مراجعة الدرس 2-2

1. صف الفرق بين الخلية الإلكتروليتية والخلية الفولتية واذكر عدة استخدامات للخلية الإلكتروليتية.
2. ما هي نواتج التحليل الكهربائي للمواد التالية:  
(أ) محلول كلوريد الصوديوم المركز.  
(ب) مصهور كلوريد الصوديوم.  
(ج) الماء.
3. ما هي العملية التي تحدث عند الأنود في الخلية الإلكتروليتية؟ وما هي العملية التي تحدث عند الكاثود؟

## مراجعة الوحدة الرابعة

### المفاهيم

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

### الأفكار الرئيسية للوحدة

#### (1-1) طبيعة الخلايا الإلكتروليتية

• يُمثّل تفاعل الأكسدة والاختزال بنصفي تفاعل، أحدهما تفاعل أكسدة والآخر تفاعل اختزال، يبيّنان عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة.

#### (2-1) وزن معادلات الأكسدة والاختزال

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

#### (3-1) الخلايا الإلكتروليتية

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

- تتكوّن الدائرة الخارجية في الخلية الجلفانية من موصل معدني يربط الأقطاب ويتصل بجهاز فولتметр .
- في خلية خارصين - نحاس، يُختزل كاتيون النحاس وترسب على قطب النحاس ويتأكسد فلزّ الخارصين لإنتاج كاتيونات الخارصين وإلكترونات .
- يدلّ الرمز الاصطلاحي للخلية الجلفانية على تركيبها والتفاعلات التي تحدث في خلال عملها .
- في الخلية الجافة، أو خلية لوكلانشييه، 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 بعضاً، يتكوّن الأنود فيها من رصاص إسفنجي ويتكوّن الكاثود من عجينة من أكسيد الرصاص .
- خلايا الوقود هي خلايا فولتية ذات أقطاب قابلة للتجديد ونواتج غير ملوثة للطبيعة .

## (1-2) أنصاف الخلايا وجهود الخلايا

- الجهد الكهربائي للخلية الفولتية هو مقياس قدرة الخلية على إنتاج تيار كهربائي وجهد الخلية القياسي هو جهد الخلية 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 الخلية، لتفاعل أكسدة واختزال ما، موجبة يكون التفاعل تلقائياً . أما إذا كانت سالبة فيكون التفاعل غير تلقائي .
- كلما زادت قيمة جهد الاختزال القياسي، زاد ميل التفاعل إلى الحدوث في اتجاه الاختزال .

## (2-2) الخلايا الإلكتروليتية

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

## خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المفاهيم الموضحة في الشكل التالي لرسم خريطة تُنظّم الأفكار الرئيسة التي جاءت في الوحدة:



## تحققا 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 تتوقع أن يحدث عند وضع شريحة من الرصاص في محلول نترات 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	(ج) Pb, Zn
(د) Ca, Al	(هـ) Sn, Ag	(و) Cu, Al
4. عند أيّ قطب يحدث الاختزال دائماً في الخلية الفولتية؟
5. اشرح عمل الجسر الملحي في الخلية.
6. ما هي الموادّ المستخدمة في كلّ من الأنود والكاثود في بطاريات الكاشفات الكهربائية؟
7. وضح 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 خلية الوقود بمقارنتها بالمركم الرصاصي.
10. ممّ يتألّف نصف خلية الهيدروجين القياسية؟
11. ما هو الجهد الكهربائي لخلية ما؟
12. اشرح كيف يمكن تعيين جهد الاختزال القياسي لنصف خلية الألمنيوم.
13. حدّد ما إذا كانت تفاعلات الأكسدة والاختزال التالية تحدث تلقائياً، واحسب جهد الخلية القياسي في كلّ حالة:
 
$$\text{Cu}_{(s)} + 2\text{H}^{+}_{(aq)} \rightarrow \text{Cu}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)} \quad (\text{أ})$$

$$2\text{Ag}_{(s)} + \text{Fe}^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2\text{Ag}^{+}_{(aq)} + \text{Fe}_{(s)} \quad (\text{ب})$$
14. اذكر بعض الأنواع العامة للتفاعلات التي تنطبق عليها صفات تفاعلات الأكسدة والاختزال.
15. اشرح باختصار كيفية طلاء ملعقة شاي بالفضة.
16. فرّق بين الخلية الفولتية والخلية 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) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	(ب) $\text{KIO}_3$	(ج) $\text{MnO}_4^-$	(د) $\text{FeCl}_3$
---------------------------------------	--------------------	----------------------	---------------------
19. لقد تعلّمت أنّ الأكسدة هي فقد إلكترونات والاختزال هو اكتساب إلكترونات، قدّم تعريفاً آخر للأكسدة والاختزال.

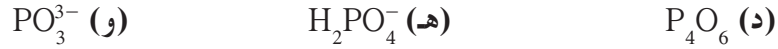
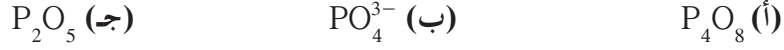
اختبر مهارتك

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

1. احسب جهود الخلايا القياسية للخلايا الفولتية التالية:

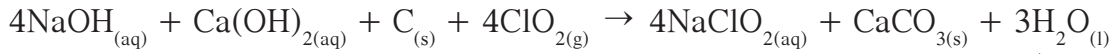


2. عيّن عدد تأكسد الفسفور في كلّ من الموادّ التالية:



3. كلوريت الصوديوم هو مبيّض قوي يُستخدم في صناعة الورق والنسيج ويُحضّر بحسب التفاعل

التالي:

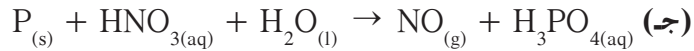
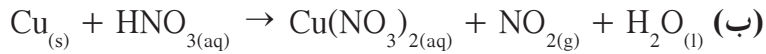


(أ) حدّد العنصر الذي تأكسد في هذا التفاعل.

(ب) حدّد العامل المؤكسد في هذا التفاعل.

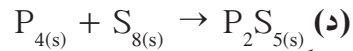
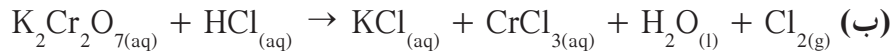
4. حدّد العنصر الذي تأكسد والعنصر الذي اختزل والعامل المؤكسد والعامل المُختزل في كلّ من

تفاعلات الأكسدة والاختزال غير الموزونة التالية:



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

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



7. توقّع ما سيحدث عند غمر مسمار حديد في محلول كبريتات النحاس. اكتب نصفي تفاعل

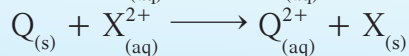
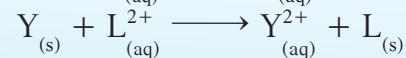
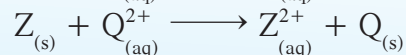
الأكسدة والاختزال لهذه العملية وزن معادلة التفاعل النهائي للخلية.

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 مركّبات بعضها البعض وكانت النتائج كما هي ممثّلة في

المعادلات التالية:



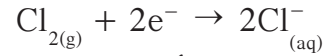
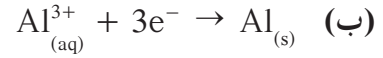
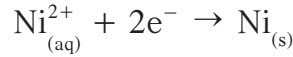
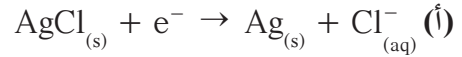
- (أ) رتّب الأقطاب السابقة بالنسبة إلى بعضها البعض تنازلياً بحسب الميل إلى فقدان الإلكترونات؟  
 (ب) رتّب الأقطاب السابقة بالنسبة إلى بعضها البعض بحسب جهود اختزالها القياسية؟  
 (ج) ما المقصود بسلسلة جهود الاختزال القياسية؟  
 (د) أكمل الجمل التالية بالعبارة المناسبة:

- يستطيع العنصر (X) أن يختزل مركّبات العناصر .....
- أقلّ كاتيون ميلاً إلى الاختزال هو ..... بينما الأكثر ميلاً إلى الاختزال هو كاتيون .....
- العناصر التي تحلّ محلّ هيدروجين في الأحماض المخففة هي ..... أمّا العناصر التي لا تحلّ محلّه فهي ..... (علماً بأن جهد الاختزال القياسي للهيدروجين يساوي صفراً).
- يُعتبر كاتيون الهيدروجين ( $H^+$ ) أقل ميلاً إلى الاختزال من كاتيونات العناصر .....
- وأكثر ميلاً إلى الاختزال من كاتيونات العناصر .....
- العناصر التي يمكن وجودها في الطبيعة في الحالة العنصرية هي .....

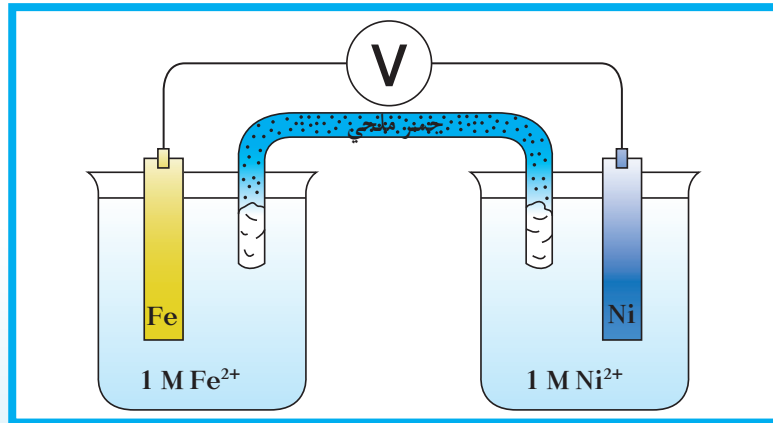
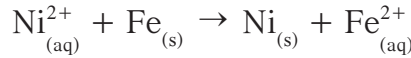
9. احسب  $E^{\circ}_{cell}$  واكتب التفاعل النهائي للخلايا التالية:



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



11. يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي التالي في الخلية الفولتية الموضّحة في الشكل التالي:



(أ) حدّد الأنود والكاثود.

(ب) حدّد الشحنات على الأقطاب.

(ج) اكتب نصفي التفاعل.

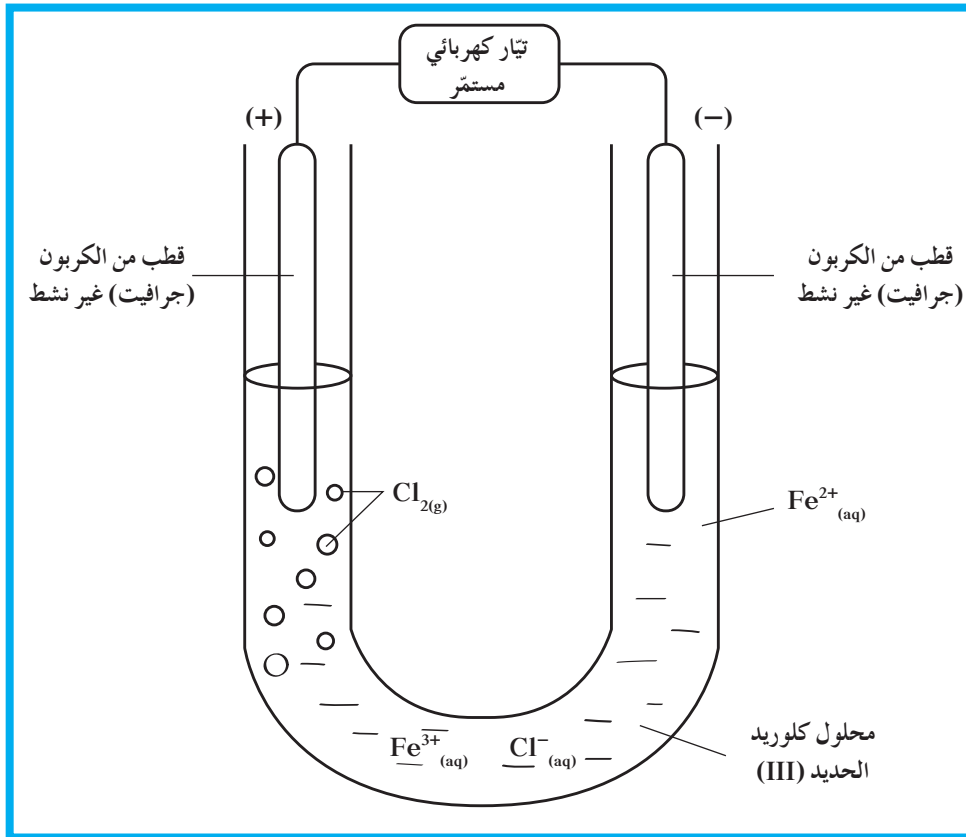
(د) احسب جهد الخلية القياسي.



12. ما هو أقصى جهد يمكن أن تبذله الخلية الإلكتروليتية؟ صمّم مثل هذه الخلية محدّدًا شكلها ومعدّدًا المواد المطلوبة لتصميمها.

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

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



يساوي تركيز محلول كلوريد الحديد (III) المُستخدم في العملية المبيّنة أعلاه  $2 \times 10^{-2} M$ . 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  $I = 420 \text{ mA}$ .  
 (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.

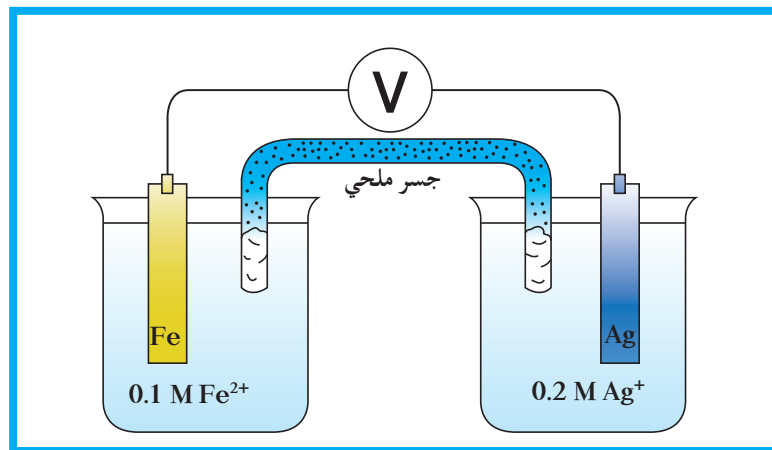
15. بعد دقائق عدّة على إجراء تجربة عملية باتباع الخطوات التالية:

- 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 (A) و (B)
- يُلاحظ ما يلي:

- حدوث تفاعل في الأنبوب (A) نتج منه غاز الهيدروجين وكاتيونات الرصاص
- عدم حدوث تفاعل في الأنبوب (B).

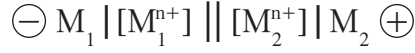


- (أ) اكتب معادلة كيميائية توضح التفاعل الذي حدث بين حمض الهيدروكلوريك والفلزات محدداً العامل المؤكسد والعامل المختزل .
- (ب) فسّر كل من الملاحظات السابقة
- (ج) استنتج ترتيب الأنواع التالية  $H^+/H_2$  و  $Pb^{2+}/Pb$  و  $Cu^{2+}/Cu$  ترتيباً تصاعدياً بحسب جهود الاختزال القياسية .
- (د) فسّر سبب تفاعل حمض الهيدروكلوريك مع الحديد Fe والخاصين Zn .
- (هـ) اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث بين كاتيون  $H^+$  وكل من الحديد والخاصين موضّحاً تفاعلات الأكسدة وتفاعلات الاختزال في كل حالة .
- (و) هل تتوقع أن يتفاعل حمض الكبريتيك ( $H_2SO_4$ ) المخفف مع هذه الفلزات كما تفاعل حمض الهيدروكلوريك (HCl)؟ علّل .
16. يوضح الشكل التالي خلية جلفانية



- تتألف هذه الخلية من نصفين:
- نصف خلية فضة: يحتوي الوعاء على 50 mL من محلول نترات الفضة  $AgNO_3$  بتركيز 0.2 M وعلى شريحة فضة .
  - نصف خلية حديد: يحتوي الوعاء على 50 mL من محلول نترات الحديد (II)  $Fe(NO_3)_2$  بتركيز 0.1 M وعلى شريحة حديد .
- أما الجسر الملحي فيحتوي على محلول مشبع من نترات البوتاسيوم  $KNO_3$  معطى:  $E^\circ_{Ag^+/Ag} = +0.80 V$  و  $E^\circ_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44 V$
- (أ) اكتب الرمز الاصطلاحي لهذه الخلية .
- (ب) اكتب معادلات التفاعلات التي تحدث على القطبين واستنتج التفاعل النهائي لهذه الخلية .
- (ج) حدّد اتجاه الإلكترونات عندما تعمل الخلية .
- (د) ما هي وظيفة الجسر الملحي؟
- (هـ) كيف يتغيّر تركيز كاتيونات الفضة عندما تعمل الخلية؟ ما هو التغيّر الذي يحدث لقطب الحديد؟

17. يتكوّن قطبا خلية 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 الخلية (G):

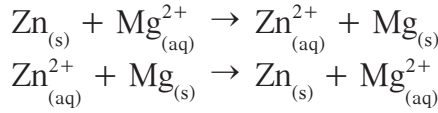


(أ) حدّد كل من الكاثود والأنود في خلية خارصين - نحاس ( $G_1$ )  
واكتب رمزها الاصطلاحي.

(ب) اختر من أنصاف التفاعلات التالية، التفاعلين اللذين يحدثان عند  
الأنود وعند الكاثود في الخلية الجلفانية ( $G_2$ ) مغنيسيوم - نحاس. ثم  
استنتج التفاعل النهائي لهذه الخلية.

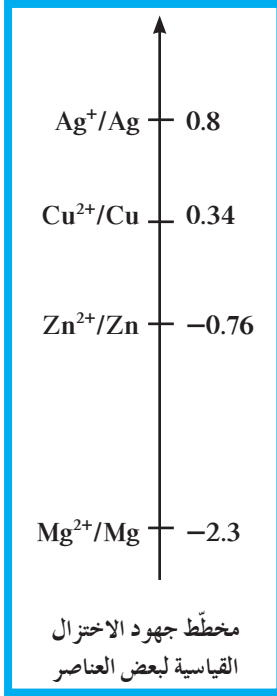
• (ج) لبناء الخلية الجلفانية ( $G_3$ ) استُخدم فلزّ النحاس Cu و فلزّ  
الفضة Ag مع المحاليل المناسبة. حدّد أيّ من الفلزّين سيؤدّي دور  
الأنود في هذه الخلية. علّل إجابتك.

(د) أيّ من التفاعلات التالية يمكن ربطه بالخلية الجلفانية ( $G_4$ ) التي تمّ  
بناؤها من فلزّي المغنيسيوم والخارصين؟



#### مشاريع الوحدة

1. الكتابة في الكيمياء: اكتب مقالاً حول التكاليف التقريبية لخلايا الوقود، حجمها وشدة التيار الكهربائي الناتج منها معدّداً 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  $\text{AgCl}$  و  $\text{CuCl}_2$ . جد تفسيراً لتغيير لون العدسة.
3. أصبحت البطاريات ضرورة في حياتنا اليومية كمصدر أساسي للطاقة يشغّل أدوات شائعة الاستعمال كالراديو، الهواتف النقّالة، أجهزة الكمبيوتر، كاشفات كهربائية والساعات ويستمرّ سعيها نحو ابتكار بطارية تستطيع إمدادنا بطاقة أكبر ولمدّة أطول. اجر بحثاً حول أنواع بطاريات مستحدثة ذات مدّة خدمة أطول وقوّة أكبر واكتب معادلات التفاعل الكيميائي الذي يحصل فيها.



فصول الوحدة

الفصل الأول

الهيدروكربونات الأليفاتية

الفصل الثاني

الهيدروكربونات الحلقية، الغاز الطبيعي والنفط

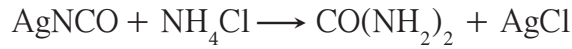
أهداف الوحدة

- يحدّد الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية للمركبات العضوية.
- يصف الترابط في الهيدروكربونات.
- يميّز بين الألكانات مستقيمة السلسلة والألكانات متفرّعة السلسلة.
- يشرح الفرق بين الهيدروكربونات المشبّعة والهيدروكربونات غير المشبّعة.
- يميّز بين الصيغ التركيبية للألكينات والألكينات.
- يتعرّف التراكيب المقفلة الحلقية الشائعة لسلاسل ذرات 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 والبترو.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك: ماذا يذوب ماذا؟  
علاقة الكيمياء بعلم البيئة: انسكاب النفط

لقد اعتقد العلماء أنّ المصدر الوحيد للمركبات العضوية هو الكائنات الحيّة التي تنتجها واستندت إلى ذلك نظرية «القوة الحيوية». ولكن دحضت هذه النظرية عام 1828 عندما حضّر فريدريك فولر Friedrich Wohler مادة اليوريا  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ، من موادّ غير عضويّة.



تُعتبر الموادّ العضوية مادة الحياة على الأرض فهي المكوّن الأساسي للبروتينات والدهون والفيتامينات والكربوهيدرات والمضادّات الحيوية والإنزيمات والنفط ومشتقاته. في الحقيقة، إذا سئل كثيرون عن هذه الموادّ أو موادّ أخرى من مثل الكحول، بولي كلوريد الفينيل، النيلون والأصباغ فسيجيبوا بأنّها صنّعت من موادّ كيميائية فقط ولكنها في الواقع موادّ عضوية أو مزيج مركّبات إحداها عضوي.

في علم الكيمياء، تهتمّ الكيمياء العضوية بدراسة المركّبات التي تحتوي على عنصر الكربون. وقد كانت أهميّة هذا العنصر في عملية البناء الضوئي السبب وراء تسمية الكربون «عنصر الحضارة» أو العنصر الأساسي للحياة على الأرض.

اكتشف بنفسك

ماذا يذوب ماذا؟

لإجراء هذا النشاط يجب توافر الموادّ التالية: زيت نباتي، زيت نفط، هلام بترولي، أربع أطباق وماء.

1. رقمّ 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، عدّ إلى استنتاجاتك للتأكد من صحّتها.

دروس الفصل

الدرس الأول

المركبات العضوية

الدرس الثاني

الهيدروكربونات المشبعة

الدرس الثالث

الهيدروكربونات غير المشبعة

«بروبان، إيزوبيوتان، إيثانول، إيزوبروبيل ميريستات، فارنيسول، عطر»  
تعتبر هذه المواد بعض مكونات أحد العطور المزيلة للرائحة.

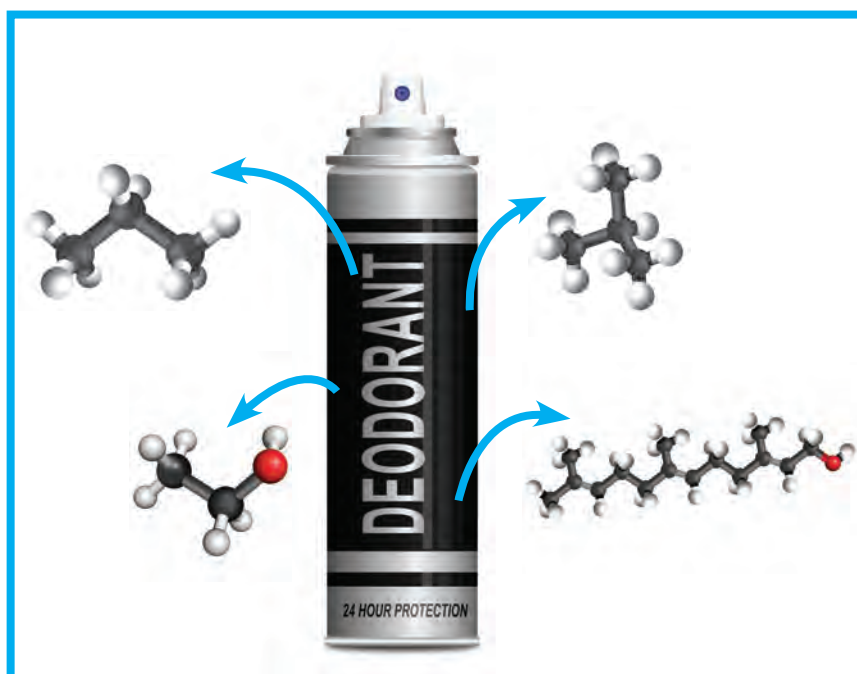
هل تبدو أسماؤها مألوفاً؟

قد تجد صعوبة في لفظ بعضها وقد لا تتمكن من معرفة بنية بعضها. ما  
نوع هذه المركبات وما يجمع بينها؟

جميع هذه المواد عضوية تمتلك قاسماً مشتركاً هو الاحتواء على عنصر  
الكربون.

تجاوز عدد المركبات العضوية العشرة ملايين حتى الآن. ويفوق عدد  
تلك التي تُكتشف وتُحضّر بالتصنيع الكيميائي عشرة آلاف مركب سنوياً.  
ويُعتبر النفط والفحم الحجري المصدرين الرئيسيين للمواد العضوية حيث  
تُستخرج منهما المركبات العضوية البسيطة كي تُستخدم في تصنيع  
الجزئيات الأكبر والأكثر تعقيداً.

نظراً لكثرة المركبات العضوية وتسهيلاً لتسميتها ودراسة خواصها  
الفيزيائية والكيميائية، صُنّفت المركبات العضوية إلى فئات تجمعها  
قواسم مشتركة. وقد اعتمدت عملية التصنيف اعتماداً كبيراً على البناء  
الجزئي للمركبات وعلى المجموعات الوظيفية التي تشكل جزءاً من  
المركب العضوي.



الأهداف العامة

- يُعدّد العناصر الأساسية لمركبات الكربون العضوية .
- يُحدّد الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية للمركبات العضوية .



شكل (24)

أحد استخدامات المركبات العضوية وهي صناعة أنابيب بولي كلوريد الفينيل .

تعرفت حتى الآن أصل مصطلح الكيمياء العضوية وسبب تسميتها كيمياء الكربون ولكن ثمة سؤال يطرح نفسه ، هل هنالك مبرر لاهتمامنا بهذا الفرع من الكيمياء؟

لم يستحوذ الاهتمام بالمركبات العضوية ودراستها على انتباه العلماء حديثاً فقد انكبوا 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 ، أيضاً دور بعض المركبات العضوية المتوفرة في الخضار والفواكه في تحديد الكثير من خواصها الفيزيائية ، الكيميائية والغذائية ودورها في النفط الخام ، الغاز والفحم المتمثل في إنتاج الطاقة التي تعتبر المحرك الأساسي لحياتنا العصرية . وقد كان لتمييز المركبات العضوية واختلاف أحجامها وتعقيدات تركيباتها الأثر الأهم في تنوع استعمالاتها .



## Hydrocarbon Derivatives

(ب) المشتقات الهيدروكربونية

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

### 2.1 المركبات العطرية الأروماتية

## Aromatic Compounds

يرجع المصطلح العطري إلى البنزين  $C_6H_6$  والمركبات المشابهة لحلقة البنزين في الصيغة التركيبية والسلوك الكيميائي (راجع تهجين البنزين  $sp^2$  في الجزء الأول).

### 2. تحديد الصيغ الكيميائية

## Determination of Chemical Formulas

تعلمنا في المرحلة السابقة، أننا نستطيع حساب النسب المئوية لعناصر جزيء معين من خلال معرفة الصيغة الكيميائية للمركب وكتلة كل من عناصره. تذكر أن الصيغة الكيميائية لجزيء ما تمثل ذرات المركب وعددها. لذلك كي نحصل على التركيبة الكيميائية لمركب ما، يمكن استعمال كتل العناصر المكونة له لمعرفة صيغته وتحديد نسب كل الذرات من ثم عددها الذي يتمثل بـ  $x, y, z, w, \dots$  تحت رمز عنصر  $(C_x H_y O_z N_w)$ .

الصيغ الكيميائية في الكيمياء العضوية أربعة أنواع:

• الصيغة الأولية

• الصيغة الجزيئية

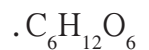
• الصيغة التركيبية

• الصيغة التركيبية المكثفة

والفرق بين الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية هو أن الصيغة الأولية Empirical Formula هي الصيغة التي تعبر عن عدد ذرات المركب بأصغر رقم صحيح في حين أن الصيغة الجزيئية Molecular Formula هي الصيغة الواقعية أو الحقيقية للمركب التي تمثل مكونات جزيء المركب.

أما الصيغتان التركيبية والتركيبية المكثفة فتعبران عن ترتيب وارتباط ذرات العناصر الداخلة في تركيب المركب الكيميائي. سوف نناقشان في الدروس اللاحقة.

الصيغة الأولية للجلكوز مثلاً هي  $CH_2O$ ، أما صيغته الجزيئية هي





الصيغة الجزيئية	مضاعف	الصيغة الأولية
$C_6H_6$ (بنزين)	6	CH
$C_6H_{12}O_6$ (جلوكوز)	6	$CH_2O$
$C_3H_6$ (بروبين)	3	$CH_2$
$C_4H_8$ (بيوتين)	4	$CH_2$

جدول (3)

الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية لبعض المركبات العضوية

فستطيع من خلال الجدول (3) استبيان أن الصيغة الجزيئية تساوي الصيغة الأولية ضرب مضاعف .

$$\text{الصيغة الجزيئية} = \text{الصيغة الأولية} \times \text{مضاعف}$$

## 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 أولية وأيها صيغ جزيئية؟  
(أ)  $C_6H_6$  (ب)  $CH_2O$  (ج)  $C_3H_8$  (د)  $C_6H_{12}O_6$



الأهداف العامة

- يصف الترابط في الهيدروكربونات المشبعة.
- يُميّز بين الألكانات مستقيمة السلسلة والألكانات متفرعة السلسلة.



شكل (25)

يحتوي الوقود المستخدم في السيارات على خليط من الهيدروكربونات.

يستخدم الناس الوقود مثل الجازولين والديزل في السيارات (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. يُعتبر الميثان، البروبان والبيوتان من أكثر الغازات الطبيعية وفرة التي تُستعمل كمصدر للطاقة لإنتاج عدد من المركّبات العضوية. ما هي الهيدروكربونات المشبعة وبماذا تميّز مركّباتها؟

## 1. الهيدروكربونات Hydrocarbons

تدرس الكيمياء العضوية في العصر الحاضر جميع مركّبات الكربون بغضّ النظر عن مصادرها. وهناك حاليًا 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 ليكون سلاسل طويلة وحلقات)، وسوف تبدأ دراستك للكيمياء العضوية بدراسة أبسط المركبات العضوية وهي الهيدروكربونات .

يشترك اسم الهيدروكربونات Hydrocarbons من قسمين هيدرو- ويعني الهيدروجين (Hydro : Hydrogen) وكربون (carbon -) ويعني عنصر الكربون وتحتوي هذه المركبات على عنصري الكربون والهيدروجين فقط . تقسم الهيدروكربونات إلى هيدروكربونات أليفاتية وهيدروكربونات أروماتية .

## 2. الهيدروكربونات المشبعة: الألكانات

### Saturated Hydrocarbons: Alkanes

الهيدروكربونات المشبعة Saturated Hydrocarbons، تسمى أيضًا الألكانات Alkanes، هي أبسط أنواع الهيدروكربونات وتحتوي على روابط تساهمية أحادية فقط بين ذرات الكربون وأبسط مثال على الألكانات هو غاز الميثان  $CH_4$ ، ويلاحظ أنّ عدد ذرات الهيدروجين يساوي ضعف ذرات الكربون مضاف إليها 2 ومنها الصيغة الجزيئية العامة للألكانات هي  $C_nH_{2n+2}$  حيث يمثل حرف n عدد ذرات 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 السلسلة Straight-Chain Alkanes، باستثناء الميثان، على سلاسل من ذرات الكربون متصلة ببعضها بعضًا بواسطة روابط تساهمية أحادية . تشكل جميع ذرات الكربون فيها سلسلة واحدة ممتدة . لرسم الصيغة التركيبية للألكان مستقيم السلسلة، نكتب رمز الكربون عددًا من المرات يتوافق مع الطول المناسب للسلسلة، ثم نكمل الصيغة التركيبية بذرات هيدروجين . تمثل الخطوط في الصيغة التركيبية الروابط التساهمية الأحادية لكلّ ذرة كربون، علمًا أنّها تكون دائمًا أربع روابط تساهمية أحادية .

كما ترى في الجدول (4)، تمّ ترتيب المركبات العشرة الأوائل من مجموعة الألكانات مستقيمة السلسلة ترتيبًا تصاعديًا بحسب عدد ذرات الكربون في السلسلة .

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

### معلومات إثرائية



أبسط مركبات الألكانات هو الميثان المكوّن الرئيسي للغاز الطبيعي، الذي يُسمى في بعض الأحيان غاز المستنقعات لأنّه يتكوّن بفعل البكتيريا الموجودة على النباتات المتحللة في البرك والمستنقعات .

درجة الغليان (°C)	الصيغة التركيبية المكثفة	الصيغة الجزيئية
-161	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>
-88.5	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
-42	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
-0.5	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
36	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
68.7	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
98.5	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>
125.6	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
150.7	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>
174.1	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>

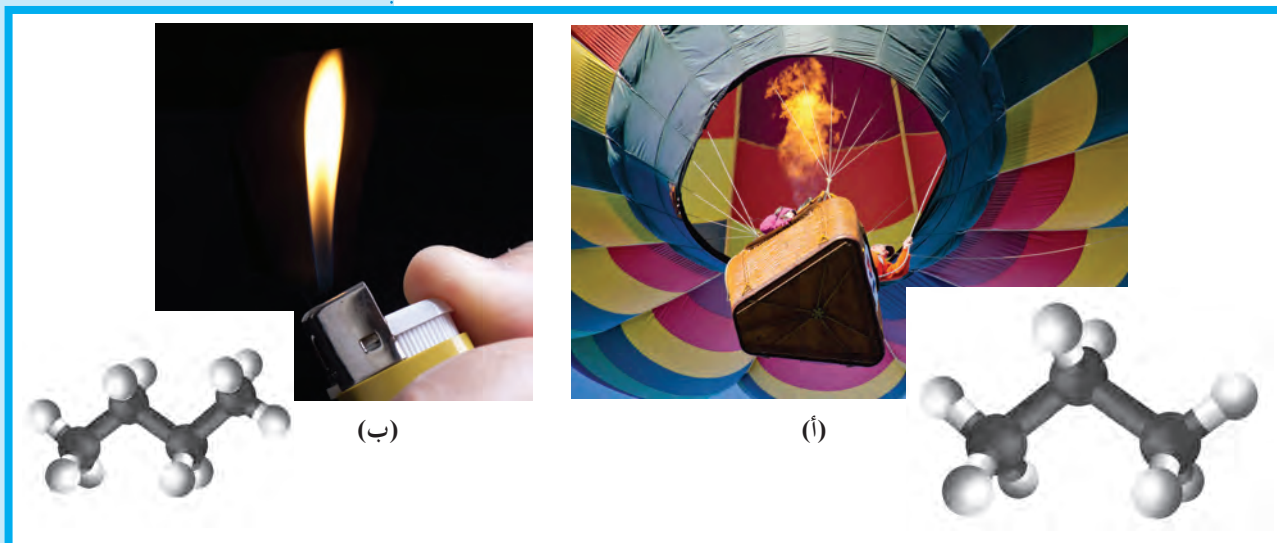
#### جدول (4)

المركبات العشرة الأوائل من مجموعة الألكانات مستقيمة السلسلة

يوضح الشكل (26) بعض الاستخدامات الشائعة لكل من البروبان والبيوتان. نلاحظ من الجدول (4) أن درجة غليان الألكانات مستقيمة السلسلة ترتفع كلما زاد عدد ذرات الكربون فيها.

#### شكل (26)

(أ) يُستعمل البروبان الذي يمكن تمييعه تحت ضغوط مرتفعة كوقود لمنطاد الهواء الساخن ويحفظ عادة في أسطوانات.  
(ب) يُستخدم البيوتان في الكثير من الولاعات.



توضّح الصيغ التركيبية الكاملة جميع الذرات 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 ضمناً. على سبيل المثال، يمكننا أن نكتفّ بصيغة البيوتان كما هو موضّح في الجدول (5).

الصيغة الجزيئية	$C_4H_{10}$
الصيغة التركيبية الكاملة	$  \begin{array}{cccc}  H & H & H & H \\    &   &   &   \\  H-C & -C & -C & -C-H \\    &   &   &   \\  H & H & H & H  \end{array}  $
صيغة تركيبية 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: <ul style="list-style-type: none"> <li>• توضّح الأقواس تكرار وحدة <math>CH_2</math> المسماة الميثيلين.</li> <li>• يوضّح العدد المكتوب أسفل القوس الأيمن عدد وحدات الميثيلين المتكررة.</li> </ul>	$  \begin{array}{c}  CH_3(CH_2)_2CH_3 \\  \begin{array}{cc}    & / \\  \text{وحدات} & \text{رقم أسفل} \\  \text{ميثيلين} & \text{القوس}  \end{array}  \end{array}  $

جدول (5)  
الصيغ التركيبية لمركّب البيوتان

## مثال (1)

ارسم الصيغ التركيبية الكاملة للألكانات مستقيمة السلسلة التي تحتوي على ثلاث وأربع ذرات كربون.

### طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّ: صمّم خطة استراتيجية لحلّ السؤال.

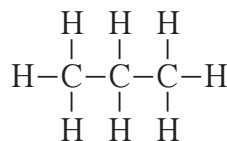
طبّق قواعد الترابط كربون - هيدروجين (C - H) وكربون - كربون (C - C). بما أنّهما ألكانات مستقيمة السلسلة تشكّل ذرات الكربون خطاً مستقيماً، ثمّ تصل رابطة تساهمية أحادية ما بين كلّ ذرة كربون وأخرى ثمّ تُستكمل السلسلة بذرات الهيدروجين بحيث تكوّن كلّ ذرة كربون أربع روابط تساهمية أحادية.

2. حلّ: طبّق الخطة الاستراتيجية لحلّ السؤال.

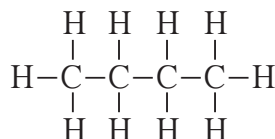
تتصل ذرات الكربون في الألكان مستقيم السلسلة الذي يحتوي على ثلاث ذرات كربون في خطّ مستقيم، وبالتالي صيغته التركيبية مؤلّفة من ذرة كربون مركزية في الوسط تتصل بذرتي

## تابع مثال (1)

كربون بواسطة رابطتين تساهميتين أحاديتين. بذلك تحتاج الذرة المركزية إلى أن ترتبط بذرتي هيدروجين لتكتمل روابطها التساهمية الأربعة. وتحتاج كل ذرة من ذرتي الكربون الطرفيتين إلى ثلاث ذرات هيدروجين لتكتمل روابطها التساهمية الأربعة.



تتصل ذرات الكربون في الألكان مستقيم السلسلة الذي يحتوي على أربع ذرات كربون في خطّ مستقيم. وتحتاج ذرتا الكربون المركزيّتان في الوسط إلى ذرتي هيدروجين وتحتاج كل ذرة من ذرتي الكربون الطرفيتين إلى ثلاث ذرات هيدروجين بحيث تصبح لكل ذرة كربون أربع روابط تساهمية أحادية.



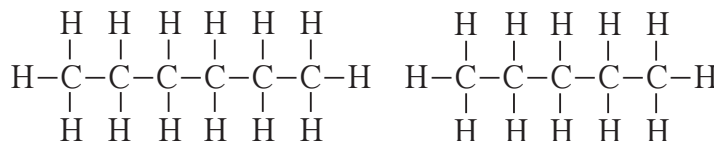
### 3. قيم: هل النتيجة لها معنى؟

تحتوي سلسلتا الكربون على ثلاث وأربع ذرات كربون، وتكوّن كل ذرة كربون عددًا إجماليًا قدره أربع روابط تساهمية أحادية مع ذرات الكربون والهيدروجين.

## أسئلة تطبيقية وحلّها

1. اكتب الصيغة التركيبية الكاملة للألكانات مستقيمة السلسلة التي تحتوي على خمس وست ذرات كربون.

الحل:



2. ما عدد الروابط التساهمية الأحادية في جزيء البروبان؟

الحل: 10

## 2.2 تسمية الألكانات مستقيمة السلسلة

### Straight – Chain Alkanes Nomenclature

اعتمدت في تسمية الألكانات مستقيمة السلسلة المذكورة في الجدول (6) قواعد الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية IUPAC. تتألف أسماء الألكانات من قسمين يدلّ الأوّل منها أي «ميث» و«إيث» و«بروب» إلخ. على عدد ذرات الكربون المتواجدة في السلسلة. أمّا القسم الثاني، وهو

القسم الثابت لكافة أعضاء المجموعة، فهو المقطع «ان» الذي تم اشتقاقه من اسم المجموعة أي الألكان، ويُضاف إلى نهاية القسم الأول من الاسم.

الصيغة الجزيئية	عدد ذرات الكربون	الاسم
CH <sub>4</sub>	1	ميثان
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2	إيثان
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3	بروبان
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	4	بيوتان
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	5	بنتان
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	6	هكسان
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	7	هبتان
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	8	أوكتان
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	9	نونان
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	10	ديكان

جدول (6)

أسماء الألكانات مستقيمة السلسلة

وبذلك يكون الميثان المركب المحتوي على ذرة كربون واحدة، والإيثان ذلك المحتوي على ذرتي كربون والبروبان ذلك المحتوي على ثلاث ذرات كربون إلخ.

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

نظراً لأهمية المركبات العشرة الأوائل وبما أن أسماءها تُستخدم كقاعدة في تسمية الكثير من المركبات العضوية المتبقية، عليك أن تتعرفها جيداً وأن تحفظ أسماءها عن ظهر قلب.

### 3. الألكانات متفرعة السلسلة

#### Branched-Chain Alkanes

ليست ذرات الهيدروجين الذرات الوحيدة التي يمكن أن ترتبط بذرات الكربون في الهيدروكربونات. إذ يمكن أن يحل محل ذرة الهيدروجين هالوجينات ومجموعة من الذرات تشمل الكربون، الهيدروجين، الأكسجين، النيتروجين، الكبريت والفوسفور. تُسمى الذرة أو المجموعة التي يمكن أن تحل محل ذرة الهيدروجين في جزئي الهيدروكربون الأساسي بالذرة البديلة أو المجموعة البديلة **Substituent**.

يمكن أن تكون المجموعة البديلة مجموعة الألكيل تحتوي على ذرة كربون واحدة أو سلسلة من عدة ذرات كربون. هناك ثلاث مجموعات



## هل تعلم؟

الكلورفلوروكربونات  
Chlorofluorocarbons (CFC)  
هي مركّبات عضوية تتكوّن  
من الكربون، والفلور، الكلور  
والهيدروجين تُصنّع تحت اسم  
فريون Freon. وقد طُوّرت  
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  
الحّد من استعمالها وإلى إصدار  
التشريعات التي تحذّر منها.



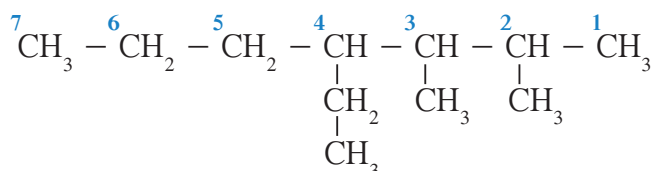
ألكيلية شائعة وهي مجموعة الميثيل ( $\text{CH}_3-$ ) ومجموعة الإيثيل  
( $\text{CH}_3\text{CH}_2-$ ) ومجموعة البروبيل ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-$ ).

كما تلاحظ، تتألّف مجموعة الألكيل من الألكان المقابل بعد نزع ذرّة  
الهيدروجين. ونلاحظ أيضاً أنّه عند تسمية المجموعات الألكيلية، نحذف  
المقطع «ان» من اسم الهيدروكربون الأساسي (الألكان) ونضيف المقطع  
«يل». ما اسم مجموعة الألكيل ذات الصيغة  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$ ؟  
تتكوّن الألكانات متفرّعة السلسلة Branched-Chain Alkanes عند إضافة  
مجموعة الألكيل البديلة إلى الألكانات مستقيمة السلسلة.

### 1.3 تسمية الألكانات متفرّعة السلسلة

#### Branched-Chain Alkanes Nomenclature

وضع IUPAC القواعد المنظّمة لتسمية المركّبات العضوية. تجدها في ما  
يلي ونأخذ المركّب التالي كمثال تُطبّق عليه هذه القواعد.



الخطوة الأولى: حدّد سلسلة ذرّات الكربون الأطول في الجزيء كأساس  
لتسمية أي مركّب هيدروكربوني أو أحد مشتقاته. 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  
بدءاً 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 حياذ عن القاعدة.

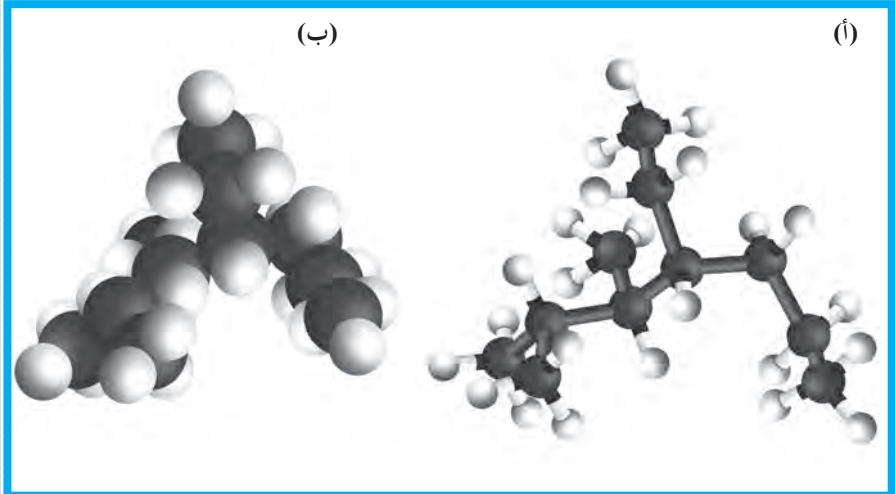
الخطوة الثالثة: أضف الترقيم الذي حصلت عليه من الخطوة السابقة  
إلى المجموعات البديلة على أن يسبق الترقيم اسم المجموعة لتحديد  
مواقعها على السلسلة الرئيسية. هذه الأرقام تصبح كبدائيات اسم الألكان  
الأساسي، وفي المثال الموضّح تكون أسماء المجموعات البديلة ومواقعها  
كالتالي: 2 - ميثيل و3 - ميثيل و4 - إيثيل.

**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 الموضَّح 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 الأوَّل من أسمائها من دون النظر إلى ترتيب المقاطع العددية التي تسبق كل مجموعة. ففي مثالنا الموضَّح 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 جداً 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 أيِّ مسافات أو فراغات.

وعلى ذلك يكون اسم المركَّب الموضَّح في المثال 4 - إيثيل - 2، 3 - ثنائي ميثيل الهبتان. ويوضَّح الشكل (27) نموذج الكرة والعصا ونموذج التعبئة المجسَّمة لهذا المركَّب.



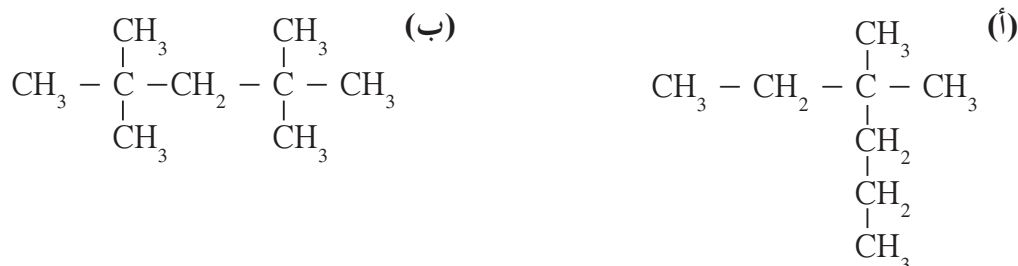
شكل (27)

نموذج الكرة والعصا (أ) ونموذج التعبئة المجسَّمة (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 الجزئي (أ).



### طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّ: صمّم خطة استراتيجية لحلّ السؤال .

اتبع الخطوات لتسمية كلّ مركّب بحسب قواعد IUPAC. جدّ سلسلة ذرّات الكربون الأطول وسمّها. رقمّ ذرّات الكربون في السلسلة الرئيسية بالتتابع، وتأكدّ 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 الخطة الاستراتيجية لحلّ السؤال .

(أ) السلسلة الكربونية الأطول في الجزئي هي الهكسان (ستّ ذرّات كربون). هناك مجموعتا ميثيل بديلتان على ذرّة الكربون رقم 3 وبالتالي الجزئي تبعًا لنظام IUPAC هو 3، 3 - ثنائي ميثيل الهكسان .

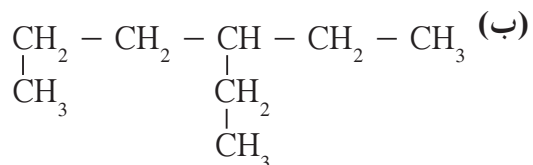
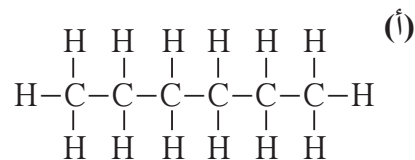
(ب) السلسلة الكربونية الأطول في الجزئي هي البنتان (خمس ذرّات كربون). هناك مجموعتا ميثيل بديلتان على كلّ من ذرّة الكربون رقم 2 وذرّة الكربون رقم 4. وعلى ذلك يكون اسم الجزئي تبعًا لنظام IUPAC 2، 2، 4، 4 - رباعي ميثيل البنتان .

3. قيم: هل النتيجة لها معنى؟

تعطي السلاسل الكربونية الأطول أسماءها للتراكيب الأساسية. وقد رُقمت ذرّات الكربون بحيث تحمل المجموعات البديلة أدنى الأرقام وسمّيت بالأسماء الصحيحة. استخدمت كتابة البدايات لتوضيح تواجد المجموعات البديلة عند تكرارها. استُخدمت الفواصل لفصل الأرقام الشرطات لفصل الأرقام عن الكلمات .

## أسئلة تطبيقية وحلها

سم الألكانات التالية:



الحل:

(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 تبعاً للخطوات التالية:

**الخطوة الأولى:** جد أصل الكلمة (القسم الثابت لكافة أعضاء مجموعة الألكان، وهو المقطع «ان» في اسم الهيدروكربون المشبع). ثم اكتب سلسلة الكربون الأطول التي ستصبح السلسلة الرئيسية.

**الخطوة الثانية:** رقم ذرات الكربون في سلسلة الكربون الرئيسية.

**الخطوة الثالثة:** حدّد المجموعات البديلة وقم بتوصيلها بالمواقع الصحيحة في سلسلة الكربون الرئيسية التي رقيمتها.

**الخطوة الرابعة:** أضف ذرات الهيدروجين بحسب الحاجة (لتكوين روابط الكربون التساهمية الأحادية الأربع).



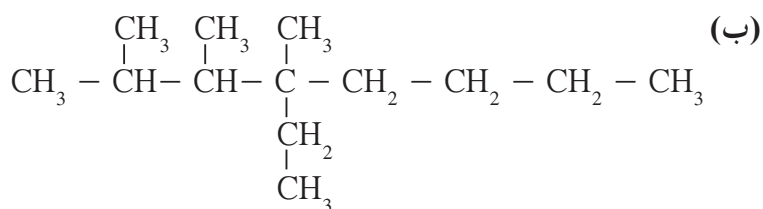
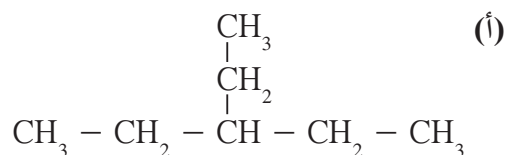
## أَسْئَلَةٌ تَطْبِيقِيَّةٌ وَحَلُّهَا

اكتب الصيغ التركيبية للمركبات التالية:

(أ) 3 - إيثيل البنتان

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

الحل:



## 4. خواص الألكانات Properties of Alkanes

جزيئات الهيدروكربون، مثل الألكانات، غير قطبية، وقوى التجاذب بين جزيئاتها ضعيفة جداً. 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 مهمة تنص على أن المواد المتشابهة تذوب معاً، وهذا يعني أن المركبين غير القطبيين يكوّنان محلولاً وكذلك المركبين القطبيين. ولكن المركب غير القطبي والمركب القطبي لا يكوّنان محلولاً.

## 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 تُعتبر الألكانات إحدى هذه السلاسل؟

الأهداف العامة

- يشرح الفرق بين الهيدروكربونات غير المشبعة والهيدروكربونات المشبعة.
- يميّز بين الصيغة التركيبية للألكينات والألكاينات.



شكل (28)

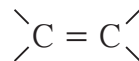
يُعتبر الإيثين أبسط الألكينات ويحفّز نموّ النباتات ويعمل على إنضاج ثمارها.

يُعتبر الإيثين  $C_2H_4$  أحد الموادّ العديدة التي تنظّم النمو في النبات وتنظّم نضج الثمرة بعد جنيها (شكل 28). يستطيع الإيثين الانتشار عبر أنسجة النبات لأنّه غاز بسيط ليؤثّر في الصفات النوعية لمنتجات البساتين من مثل اللون والبنية والموادّ المسؤولة عن النكهة. ما الذي يميّز غاز الإيثين عن غاز الإيثان؟

Alkenes

1. الألكينات

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  $C_nH_{2n}$ .

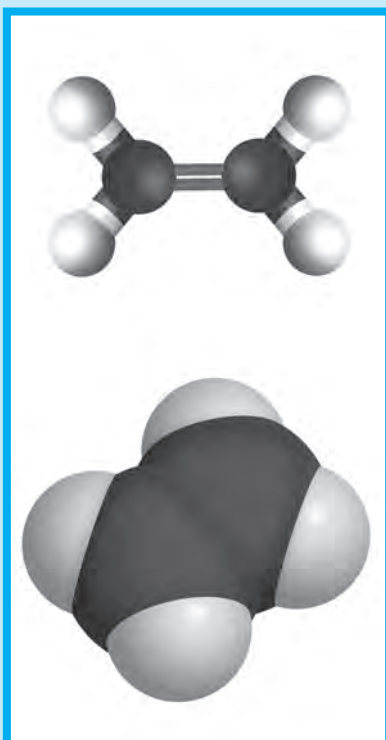


تُسمّى الهيدروكربونات غير المشبّعة Unsaturated Hydrocarbons كلّ المركّبات العضوية التي تحتوي على روابط كربون - كربون تساهمية ثنائية أو روابط كربون - كربون تساهمية ثلاثية .

وقد سُمّيت بهذا الاسم لأنها تحتوي على عدد أقلّ من العدد الأقصى لذرات الهيدروجين في صيغها التركيبية نظرًا لوجود الروابط الثنائية أو الثلاثية . على عكس الألكانات أو المركّبات المشبّعة التي تحتوي على أقصى عدد من ذرات الهيدروجين في صيغها التركيبية .

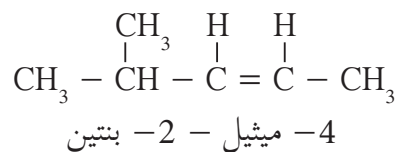
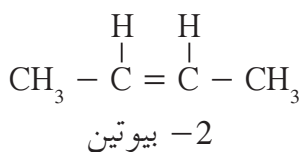
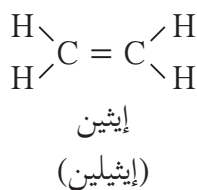
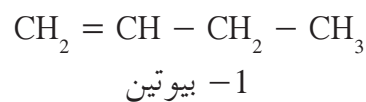
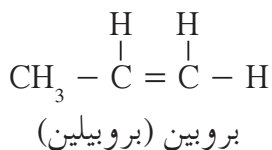
## 1.1 تسمية الألكينات Alkene Nomenclature

لكي تُسمّى الألكينات تبعًا لنظام IUPAC، جد السلسلة الأطول في الجزيء التي تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية التي تعتبر الألكين الرئيسي . تتألف أسماء الألكينات المستقيمة السلسلة من قسمين أيضًا . يدلّ الأوّل منهما، وهو المستخدم في الألكانات أيضًا، على عدد ذرات الكربون الموجودة في المركّب: «إيث» ذرّتان «بروب» ثلاث ذرات، «بيوت» أربع ذرات، 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 وتُكتب الأرقام المحدّدة لمواقع الروابط التساهمية الثنائية قبل اسم السلسلة مباشرةً .



شكل (29)

تقع ذرات الإيثين الست (ذرّتا كربون و4 ذرات هيدروجين) في مستوى واحد . هل يمكن أن تدور حول الرابطة التساهمية الثنائية؟

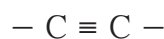


ويُعتبر الإيثين والبروبين أبسط الألكينات، وغالبًا ما يُستَخدم اسمهما القديمان أي الإيثيلين والبروبيلين . يوضّح الشكل (29) نموذجي الكرة والعصا والتعبئة المجسّمة للإيثين . لاحظ أن ذرات الهيدروجين الأربع التي تبرز من الرابطة التساهمية الثنائية C = C تقع في مستوى واحد وهي متباعدة بزاوية 120°. بحيث لا يحدث أي دوران حول رابطة كربون - كربون تساهمية ثنائية .

## 2. الألكينات

### Alkynes

تُسمى الهيدروكربونات التي تحتوي على رابطة كربون - كربون تساهمية ثلاثية الألكينات Alkynes وهي ، على غرار الألكينات ، مركبات غير مشبعة ، وصيغتها الجزيئية العامة هي  $C_nH_{2n-2}$  .



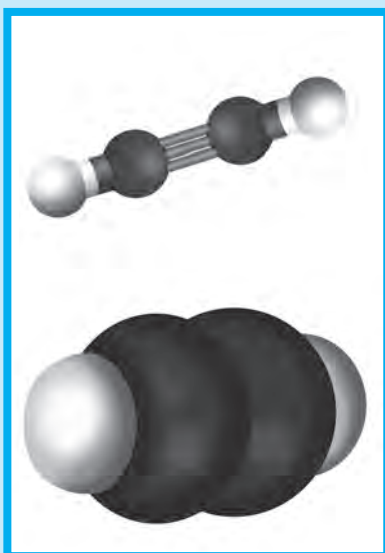
يوضّح الجدول (7) الصيغ العامة للألكانات، الألكينات والألكينات والصيغ التركيبية لأبسط مركباتها .

أبسط مركّب		الصيغة العامة	الرابطة كربون-كربون	العائلة
الصيغة	الاسم			
$CH_4$	الميثان	$C_nH_{2n+2}$ $n \geq 1$	جميع روابطها تساهمية أحادية	الألكانات
$C_2H_4$	الإيثين (إثيلين)	$C_nH_{2n}$ $n \geq 2$	رابطة تساهمية ثنائية واحدة على الأقل	الألكينات
$C_2H_2$	الإيثاين (الاستيلين)	$C_nH_{2n-2}$ $n \geq 2$	رابطة تساهمية ثلاثية واحدة على الأقل	الألكينات

جدول (7)

الصيغ العامة والصيغ التركيبية لأبسط مركّبات الألكانات، الألكينات والألكينات

لا تتواجد الألكينات بوفرة في الطبيعة ، وأبسط هذه المركّبات وأهمّها على الإطلاق هو  $CH \equiv CH$  الذي يُطلق عليه اسم إيثاين أو الاسم الأكثر شيوعاً الأستيلين . هذا المركّب هو المادّة المُستخدمة كوقود في عمليات لحام الفولاذ الذي يعرف بلحام الأكسجين . ويوضّح الشكل (30) أن الروابط التساهمية الممتّدة من ذرات الكربون الموجودة في رابطة الكربون - كربون التساهمية الثلاثية للإيثاين متباعدة عن بعضها بعضاً بأقصى زاوية وقدرها  $180^\circ$  ، ما يجعل من الإيثاين جزيئاً خطياً . قوى التجاذب التي تحدث بين جزيئات الألكانات والألكينات والألكينات هي قوى فان درفالز الضعيفة ، ولذلك لا يُحدث وجود الرابطة التساهمية الثنائية أو الرابطة التساهمية الثلاثية في الهيدروكربون تغييراً جذرياً في خواصه الفيزيائية كدرجة الغليان كما هو موضّح في الجدول (8) .



شكل (30)

الرابطة الثلاثية في الإيثاين صلبة ، لذا لا تدور ذراته حولها وهو أبسط الألكينات واسمه الشائع هو أستيلين .

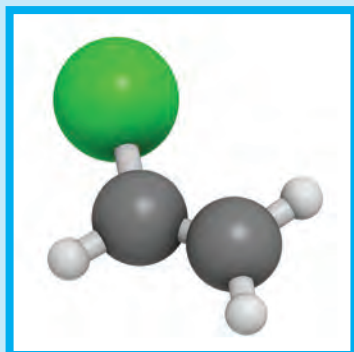
## فقرة إثرائية

### معلومات إضافية

#### بولي كلوريد الفينيل

يعتبر بولي كلوريد الفينيل من أكثر المواد البلاستيكية استخدامًا نظرًا لسهولة استعماله ولأسعاره المتدنية نسبيًا. وهو يتكوّن من إضافة عدد من مركّبات كلوريد الفينيل  $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$ ، ولكن ثمة 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 مليوناً في العام 1985 وتضاعف حتى بلغ 34 مليوناً في عام 2012.



درجة الغليان (°C)	التركيبية الجزيئية	الاسم
-88.5	$\text{CH}_3 - \text{CH}_3$	$\text{C}_2$ إيثان
-103.9	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	إيثين
-81.8	$\text{CH} \equiv \text{CH}$	إيثاين
-42.0	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	$\text{C}_3$ بروبان
-47.0	$\text{CH}_3\text{CH} = \text{CH}_2$	بروبين
-23.3	$\text{CH}_3\text{C} \equiv \text{CH}$	بروباين
-0.5	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	$\text{C}_4$ بيوتان
-6.3	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH} = \text{CH}_2$	-1 بيوتين
8.6	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C} \equiv \text{CH}$	-1 بيوتاين
36.0	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	$\text{C}_5$ بتان
30.0	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH} = \text{CH}_2$	-1 بنتين
40.0	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C} \equiv \text{CH}$	-1 بنتاين

جدول (8)

درجات غليان بعض الهيدروكربونات الأليفاتية

### 3. خواص الهيدروكربونات

#### Properties of Hydrocarbons

فيما يلي سنتطرّق إلى بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للهيدروكربونات.

#### 1.3 الخواص الفيزيائية

جميع الهيدروكربونات تقريباً أقلّ كثافة من الماء وتتراوح كثافة تلك الأكثر استخداماً منها بين 0.7 و 0.9. 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 ذرات الكربون بشكل عام. وتشكّل الهيدروكربونات مع الهواء محاليط سريعة الاشتعال وهي غير قابلة للامتزاج مع الماء.



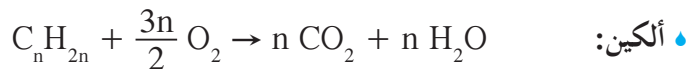
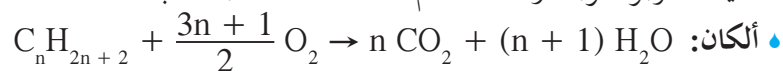
## 2.3 الخواص الكيميائية

## Chemical Properties

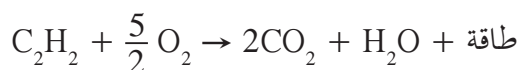
### (أ) تفاعلات الاحتراق

### Combustion Reactions

تشارك فيها الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة على حدّ سواء. أهمّها تفاعلات الاحتراق الكامل بوجود كمية كافية من الأكسجين وينتج منها ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. تتمّ هذه التفاعلات بحسب المعادلات التالية:



مثال عليها:

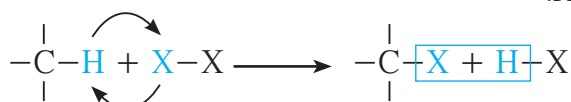


### (ب) تفاعلات الاستبدال

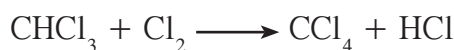
### Substitution Reactions

تمتاز بها الهيدروكربونات المشبعة والحلقية، وتُستبدل فيها ذرّة هيدروجين أو أكثر بذرات أخرى مع الحفاظ على سلسلة المركّب الكربونية.

تجد في ما يلي معادلات بعض هذه التفاعلات التي تحصل بين الألكان والهالوجين  $X_2$ :



مثال عليها تفاعل استبدال الميثان مع الكلور:



### (ج) تفاعلات الإضافة

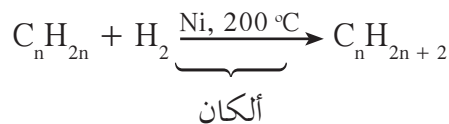
### Addition Reactions

تمتاز بها الهيدروكربونات غير المشبعة وتتمّ عادة بوجود مادة محفّزة، وينتج منها تكوين مركّبات مشبعة.

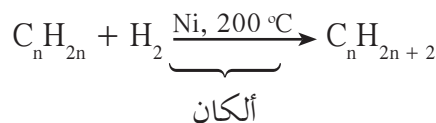
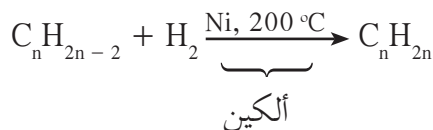
• إضافة الهيدروجين (H<sub>2</sub>):

تتم هذه العملية بوجود النيكل (Ni) كمادة محفزة على درجة حرارة تقارب 200 °C وبحسب المعادلات التالية:

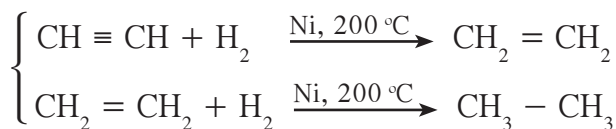
ألكين:



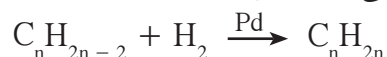
ألكاين:



مثال عليها:

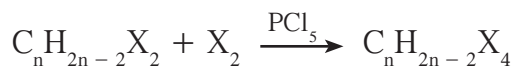
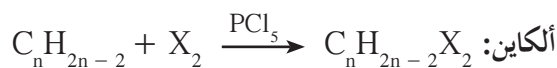


ملاحظة: عند استخدام البالاديوم (Pd) غير المنشط كمادة محفزة تتم إضافة الهيدروجين على مرحلة واحدة:

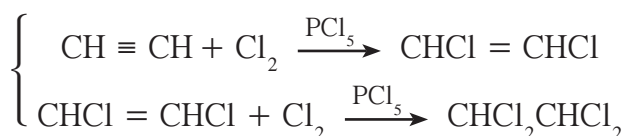
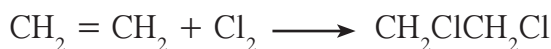


• إضافة هالوجين X<sub>2</sub> (الكلور Cl<sub>2</sub>):

وهي تفاعل ينتج منه تكوين هاليدات الهيدروكربون بحسب المعادلات التالية:

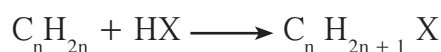


مثال عليها:

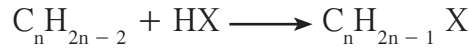


• إضافة هاليد هيدروجين HX (HCl):

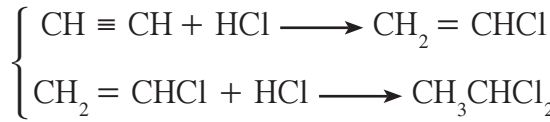
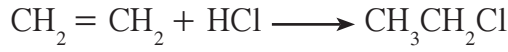
في حالة الألكين، ينتج من هذا التفاعل تكوين مركبات مشبعة أحادية الهالوجين بحسب المعادلة التالية:



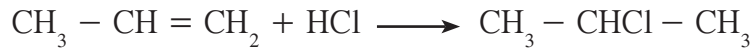
في حالة الألكاين، يتم هذا التفاعل على مرحلتين بحسب المعادلتين التاليتين:



مثال عليه:

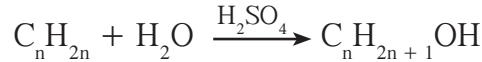


ملاحظة: في حال الألكينات غير المتماثلة يجب تطبيق قاعدة ماركونيكوف التي تنصّ على أنّ عند إضافة حمض HX على ألكين، يُضاف الهيدروجين إلى الكربون المرتبط بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين والهاليد X إلى الكربون المرتبط بالعدد الأقلّ من ذرات الهيدروجين.

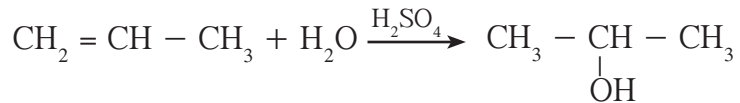


• إضافة الماء (H<sub>2</sub>O):

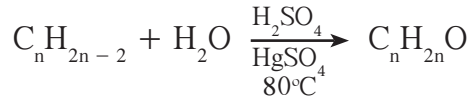
يتمّ هذا التفاعل بوجود حمض الكبريتيك كمادّة محفّزة. في حالة الألكين، ينتج من هذا التفاعل تكوين الكحولات بحسب المعادلة التالية:



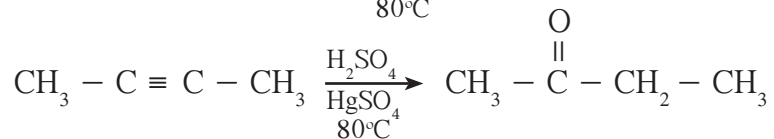
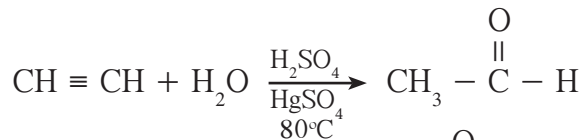
مثال عليه:



في حالة الألكاين، ينتج من هذا التفاعل كيتونات، باستثناء إضافة الماء إلى الإيثاين الذي ينتج منه الإيثانال (الدهيد):



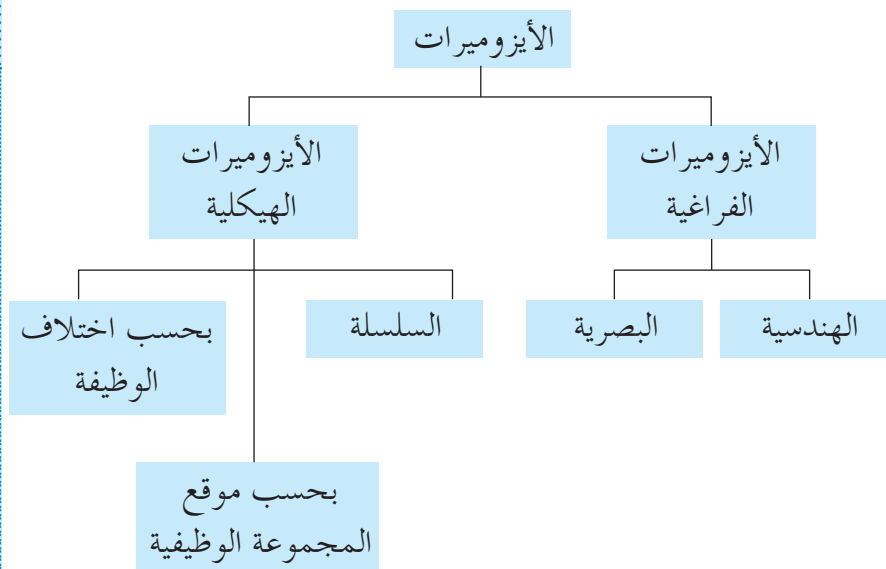
مثال عليه:



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

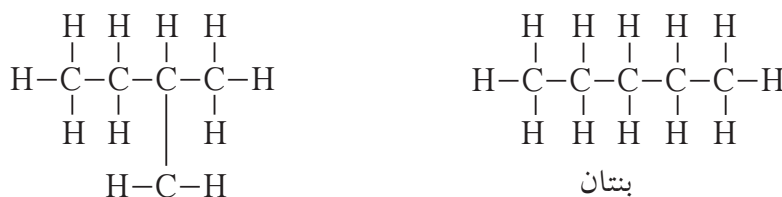
تُسمّى أيزوميرات Isomers الجزيئات التي تمتلك نفس الصيغة الجزيئية ولكنها تختلف من حيث الصيغة التركيبية أو التركيب البنائي. تشتقّ كلمة أيزومير من اليونانية وتعني «أجزاء متساوية» تتكوّن الأيزوميرات في الكيمياء العضوية من الصيغة الجزيئية نفسها ولكنها تختلف من حيث الصيغ التركيبية والخواصّ. هناك عدّة أنواع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



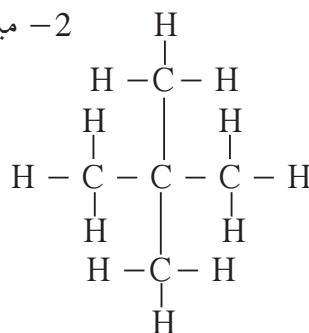
شكل (31)  
أنواع الأيزوميرات

### 1.4 أيزوميرات السلسلة Skeletal Isomers

تتألّف هذه الأيزوميرات من عدد الذرّات نفسه ولكنها تختلف في ترتيب الذرّات والروابط في ما بينها أي في صيغها التركيبية، مثال عليها أيزوميرات البنّتان ( $C_5H_{12}$ ) 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.



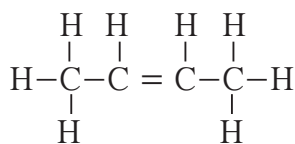
2- ميثيل البيوتان



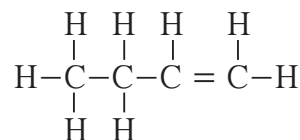
2، 2- ثنائي ميثيل البروبان

## 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 ولكنها تختلف في الصيغة التركيبية من حيث موقع المجموعة الوظيفية المميزة. مثال على ذلك، البيوتين ( $C_4H_8$ ):



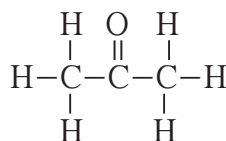
-2 بيوتين



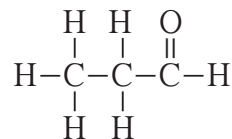
-1 بيوتين

## 3.4 أيزوميرات اختلاف الوظيفة Function Isomers

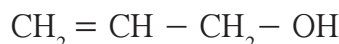
تنشأ هذه الأيزوميرات عند تغيير نوع المجموعة الوظيفية على سلسلة الكربون الرئيسية فتختلف وظيفة المركّب، وهي مركّبات لها الصيغة الجزيئية نفسها ولكنها تختلف في الصيغة التركيبية ونوع المجموعة الوظيفية المميزة لنوع معيّن من المركّبات. مثال على ذلك  $C_3H_6O$ :



بروبانول (كيتون)



بروبانال (ألدهيد)



كحول غير مشبّع

مثال آخر على ذلك  $C_2H_6O$ :



ثنائي ميثيل إيثر



الإيثانول (كحول أولي)

## مراجعة الدرس 1-3

1. كيف تميّز الهيدروكربونات غير المشبّعة عن تلك المشبّعة؟
2. اكتب الصيغ التركيبية للإيثين والإيثانين، 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 - بيوتانين بوجود البالاديوم (Pd) كمادّة محفّزة.
6. اكتب معادلة إضافة الماء إلى 2-بيوتين.

## الهيدروكربونات الحلقية ، الغاز الطبيعي والنفط Hydrocarbons Rings , Natural Gas and Petroleum

### دروس الفصل

#### الدرس الأول

• الهيدروكربونات الحلقية

#### الدرس الثاني

• الهيدروكربونات المُستخرجة من الأرض

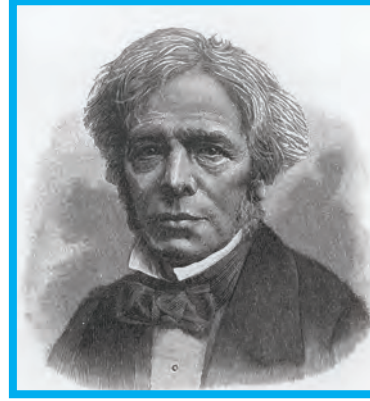
يُعتبر النفط والغاز الطبيعي من مصادر الطاقة المهمّة في عالمنا . وهما ناتجان من ترسّب مكوّنات عضوية ومجهرية حيوانية ونباتية ودفنها تحت طبقات سميكة من التربة لملايين السنين لذلك يُسمّيان الوقود الأحفوري وهما بذلك مصدران غير متجدّان للطاقة . البترول أو النفط الخام مادّة لزجة مكوّنة من مزيج من الهيدروكربونات المختلفة بات فصلها إلى مشتقّات نفطية ممكنًا ، بواسطة عملية التقطير التجزيئي بسبب اختلاف درجة غليانها .

والمشتقّات النفطية عديدة وتعود أهمّيّتها إلى توليدها طاقة عالية عند احتراقها رغم أنّ اسمها ارتبط بتسببها مشاكل صحية عديدة . وقد استعملت في تأمين الطاقة الضرورية للمطاحن ، ماكينات قصّ الحطب ، مضخّات المياه ، السيّارات إلخ . نذكر من مشتقّات النفط البنزين الذي يُعتبر الهيدروكربون العطري الأساسي .



الأهداف العامة

- يتعرّف التراكيب المقفلة الحلقية الشائعة لسلاسل ذرات الكربون.
- يشرح الرنين في ضوء حلقة البنزين العطري (الأروماتي).



شكل (32)  
مايكل فرادي (1791 – 1867)

يعود الفضل في اكتشاف ودراسة البنزين، أبسط هيدروكربون عطري، إلى الكيميائي والفيزيائي الإنكليزي الأصل مايكل فرادي Michael Faraday (شكل 32). أما أول من وضع فرضية التكوين الحلقي لجزء البنزين فهو العالم فريدريك أوغست كيكولي Friedrich August Kekule في القرن التاسع عشر. من خواص البنزين أنه مستقرّ كيميائياً وأقلّ تفاعلاً من الألكينات والألكينات. يُستعمل كمذيب لكثير من المواد غير القطبية وفي قطاعات تجارية وصناعية كثيرة ولكن أهمّ استعمالاته هي دخوله في إنتاج المركّبات العطرية. أدى ارتباطه ببعض المشاكل الصحية، من مثل وجع الرأس، الإغماء، الأمراض السرطانية، إلخ. إلى استبداله ببدايل أقلّ سمّية منها ميثيل البنزين.

### 1. الهيدروكربونات العطرية Aromatic Hydrocarbons

تعرفت، حتّى الآن، مجموعة واسعة من سلاسل كربون طويلة وقصيرة، سلاسل ترتبط ذرة الكربون فيها بروابط تساهمية أحادية وثنائية وثلاثية وسلاسل ارتبط بها عدد من المجموعات البديلة المختلفة. ماذا إن اتصل طرفا هذه السلاسل لتشكل حلقات؟





شكل (33)  
نبات الفانيليا

في بعض مركّبات الهيدروكربونية، يتصل طرفا سلسلة الكربون لتشكّل حلقة. تُسمّى المركّبات التي تحتوي على حلقة كربون هيدروكربونات حلقيّة Cyclic Hydrocarbons. ويوضّح الجدول (9) بعض الصيغ التركيبية للهيدروكربونات الحلقيّة. 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.

تُعرف المجموعة الخاصّة من الهيدروكربونات الحلقيّة غير المشبّعة بالأرينات Arenes وتحتوي هذه المركّبات على حلقات مفردة أو مجموعات حلقات. كانت تُسمّى الأرينات (التولوين، أنيلين) قديماً 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. وهناك اختلاف فيزيائي وكيميائي بين حلقة البنزين والألكانات الحلقيّة كما هو موضّح في الجدول (9) والشكلين (34 و 35).

ألكانات حلقيّة	تمثيل الحلقات المقفلة	أشكال الحلقات
بروبان حلقي (درجة الغليان $^{\circ}C -34.4$ )		
بيوتان حلقي (درجة الغليان $^{\circ}C -13$ )		
بنتان حلقي (درجة الغليان $^{\circ}C 49.5$ )		

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

جدول (9)

أمثلة عن ألكانات حلقية

## فقرة إثرائية

### معلومات إضافية

خواص البنزين

الصيغة الكيميائية:  $C_6H_6$

اللون: عديم اللون

قابلية الاشتعال: قابل للاشتعال

درجة الانصهار: °C 5.5 (°F 41.9)

درجة الغليان: °C 80.1 (°F 176.2)

الكثافة (عند °C 15):  $0.8787 \text{ g/cm}^3$

الذوبان في الماء (عند °C 25)

0.18 g/100 mL

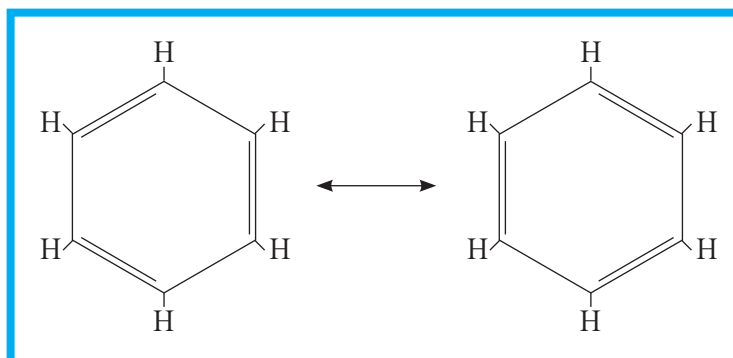
يمتزج بـ: الكحول، الكلوروفورم،

الإيثر ومذيبات عضوية أخرى.

اصطلح روبرت روبنسون Robert Robinson الرمز الدائري للعطرية لأول مرة عام 1925 ثم أشاع موريسون و بويد Morrison و Boyd استخدامه.

جزء البنزين عبارة عن حلقات سداسية. وكل رأس من رؤوس سداسي الأضلاع عبارة عن ذرة كربون مرتبطة بذرة هيدروجين، وهذا التركيب من شأنه أن يقي لكل ذرة كربون إلكترون حرّ يشارك في رابطة تساهمية ثنائية.

يمكن رسم البنزين بصيغتين مختلفين من حيث مواقع الروابط التساهمية الثنائية والروابط التساهمية الأحادية في كل جزئ كما هو موضح في الشكل (34).

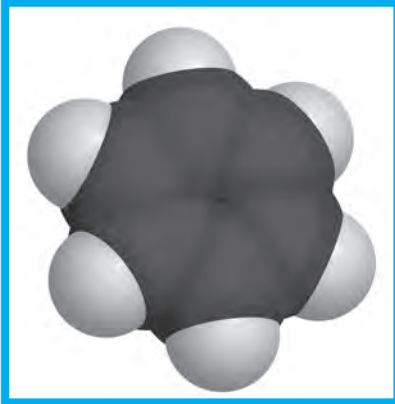


شكل (34)

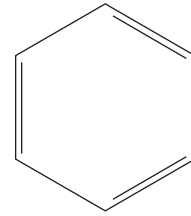
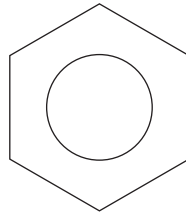
تركيبان مختلفان لجزئ البنزين

بالنسبة إلى البنزين، يمثل هذان الشكلان التركيبيان الحالتين المتضادتين للمشاركة الإلكترونية بين كل ذرتي كربون متجاورتين. ففي حين يوضّح أحد التركيبين وجود رابطة تساهمية أحادية ما بين ذرتي كربون يوضّح التركيب الآخر وجود رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتي الكربون نفسيهما. وعندما يُمثّل جزيء ما بتركيبتين صحيحين ومتساويين أو أكثر يحدث ما يُسمّى «الرنين Resonance»، ويُعتبر البنزين (شكل 35) مثالاً على المركّبات التي توضح الرنين.

الدائرة المحاطة بمضلع تمثّل مناسب للترابط الرنيني ولكنها لا توضح عدد الإلكترونات التي تتضمنها الحلقة لذلك سوف نستخدم في هذا الكتاب التركيب التقليدي للبنزين الموضّح في الشكل الأيمن.



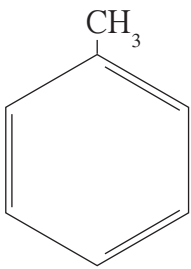
شكل (35)  
نموذج التعبئة المجسّمة للبنزين



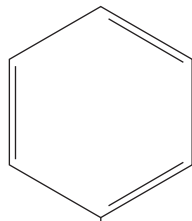
## 1.1 مجموعات بديلة متصلة بالمركّبات العطرية

### Substituents on Aromatic Rings

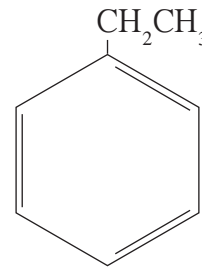
تُسمّى المركّبات التي تحتوي على مجموعات بديلة متصلة بحلقة بنزين مشتقات البنزين. وفي بعض الأحيان تُعتبر الحلقة البنزينية المجموعة البديلة، ويُعتبر اسم السلسلة الكربونية الأطول الاسم الأساسي للمركّب، يُطلق في هذه الحالة على الشق ( $C_6H_5-$ ) اسم مجموعة الفينيل (شكل 36).



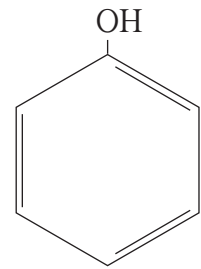
ميثيل البنزين  
(الطولوين)



$CH_3 - CH_2 - CH - CH_2 - CH_2 - CH_3$   
3- فينيل الهكسان



إيثيل البنزين



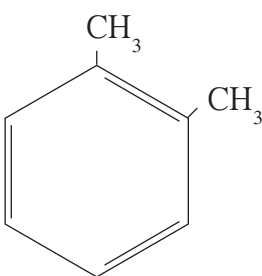
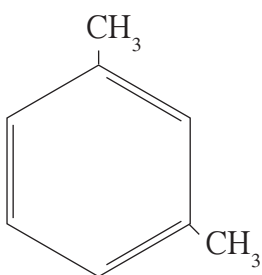
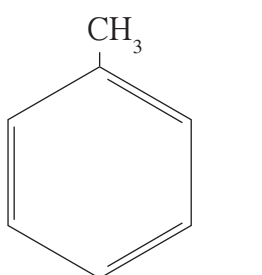
الفينول

شكل (36)

أمثلة على مركّبات تحتوي على حلقة البنزين

يُعرف حلول مجموعتين بديلتين محلّ الهيدروجين بشنائية المجموعات البديلة في البنزين (ارتباط مجموعتين بحلقة جزيء البنزين). وهناك ثلاثة أيزوميرات تركيبية مختلفة للمركّب العطري ثنائي ميثيل البنزين  $C_6H_4(CH_3)_2$ . نذكر بأنّ الخواصّ الفيزيائية للأيزوميرات التركيبية مختلفة كما يوضّح اختلاف درجات غليانها (جدول 10).

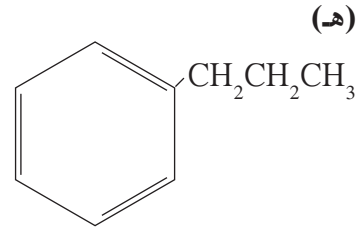
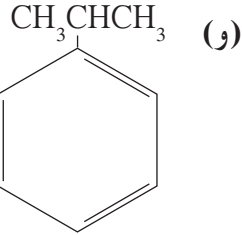
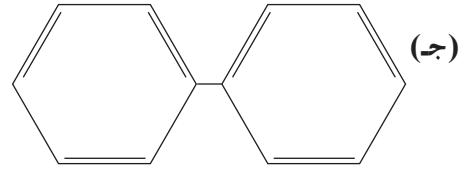
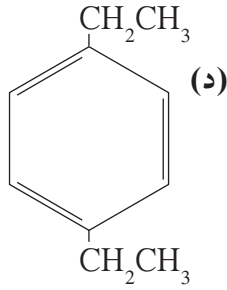
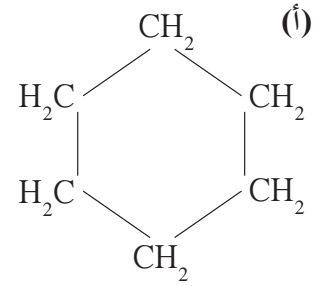
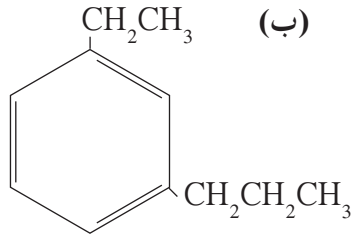
تبعاً لنظام IUPAC في تسمية المركّبات العضوية، تُرقّم ذرّات الكربون من 1 إلى 6 ابتداءً بذرة الكربون التي ترتبط بالمجموعة البديلة الأولى، باتجاه المجموعة البديلة الأقرب. على سبيل المثال، تُستعمل الأرقام 1، 2 و 1، 3 و 4 والمصطلحات «أورثو» و «ميتا» و «بارا» لتحديد مواقع المجموعات البديلة في الأسماء العامة لمشتقات البنزين الشنائية.

درجة الغليان (°C)	الصيغة التركيبية	اسم المركّب
144		1، 2- ثنائي ميثيل البنزين أو أورثو ثنائي ميثيل البنزين (o-Xylene)
139		1، 3- ثنائي ميثيل البنزين أو ميتا ثنائي ميثيل البنزين (m-Xylene)
138		1، 4- ثنائي ميثيل البنزين أو بارا ثنائي ميثيل البنزين (p-Xylene)

جدول (10)  
أيزوميرات مركّب ثنائي ميثيل البنزين المختلفة

## مراجعة الدرس 1-2

1. سمّ المركّبات التالية.



2. فسّر ظاهرة الرنين التي تحدث في جزيء البنزين مستخدماً أشكاله التركيبية. كيف يؤثر الرنين في تركيبه؟

3. تحتوي جزيئات الهكسان الحلقي والبنزين على ست ذرات كربون مرتبطة في حلقة. اذكر بعض الفروق بين هذين المركّبين.

الأهداف العامة

- يُحدّد نوعين مهمّين من الوقود الأحفوري ويصف منشأهما.
- يُسمّي بعض المنتجات التي يمكن الحصول عليها من الغاز الطبيعي والبتروول.



شكل (37)  
كوكب زحل

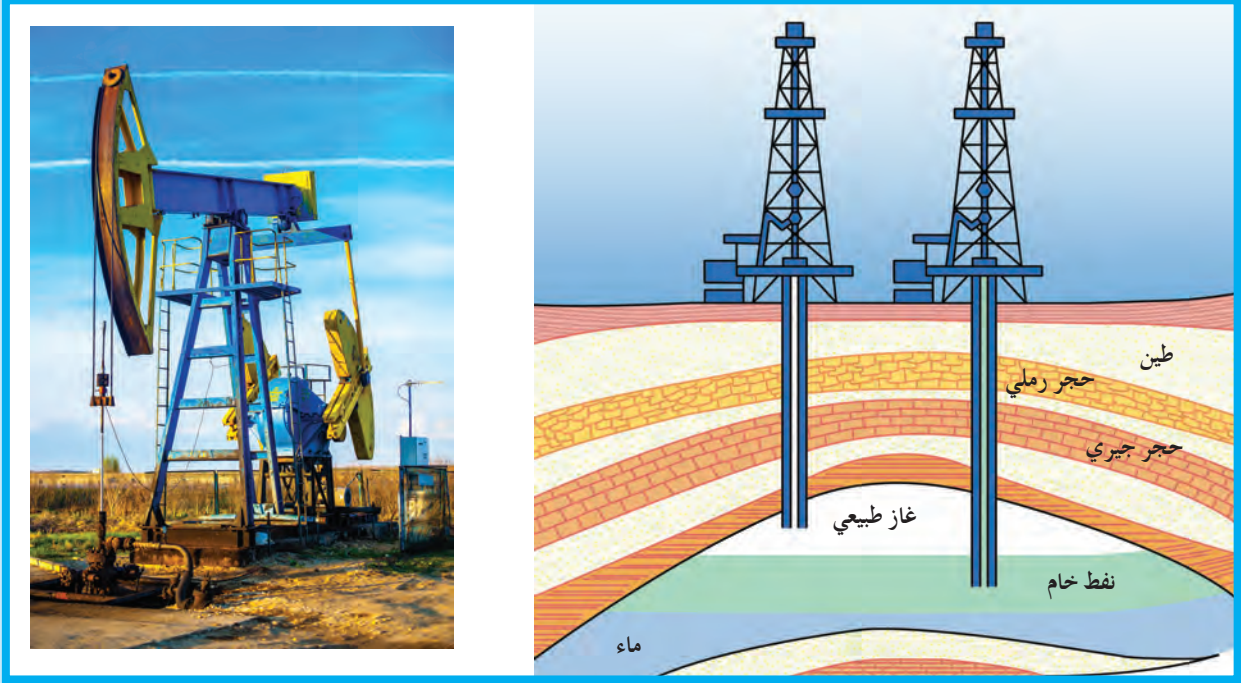
هل تحتاج إلى الوقود؟ يمكنك، إن كنت على مقربة من تيتان، قمر زحل (شكل 37)، أن تستعمل بعضاً من الهيدروكربونات العديدة الموجودة في غلافه الجوّي. أمّا على الأرض فاستخراج الوقود الهيدروكربوني أصعب. ما هي مصادر الهيدروكربونات على الأرض وكيف تتكوّن؟

### 1. الغاز الطبيعي Natural Gas

لقد تعلّمت الكثير عن الهيدروكربونات ولكن ثمة 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.

سُمّي الوقود وقوداً أحفورياً Fossil Fuels لأنه مركّبات عضوية ناتجة من انحلال الكائنات، التي دُفّنت في التربة منذ أزمنة بعيدة جداً، تحت تأثير الحرارة والضغط. فمذ ملايين السنين، استقرّت الحيوانات البحرية المجهرية في قيعان المحيطات ودُفّنت في الرواسب الموجودة فيها وتحولت هذه الرواسب تحت تأثير الضغط ودرجة الحرارة وبفعل البكتيريا إلى البتروول 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 القبة في شكلها. ويحفر منقبو 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 يُستخدم الضخّ لدفع البترول إلى الخارج.

يُعتبر الغاز الطبيعي Natural Gas مصدرًا مهمًا للألكانات ذات الكتلة المولية المنخفضة إذ يتكوّن الغاز الطبيعي النموذجي من حوالي 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 كمية صغيرة من الغاز النبيل الهيليوم ويُعتبر أحد مصادره الرئيسية. وبالتالي غاز الميثان هو المكوّن الرئيسي للغاز الطبيعي، وهو متميّز كوقود يحترق على شكل لهب ساخن نظيف.



يُعتبر البروبان والبيوتان أيضًا وقودًا تسخين جيّدين، يمكن فصلهما عن الغازات الأخرى بالإسالة. ويُباعان في الحالة السائلة في أسطوانات مضغوطة ويُطلق عليهما اسم الغاز البترولي السائل. تتطلب الأكسدة التامة (أي الاحتراق التام) للهيدروكربونات قدرًا كافيًا 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 أول أكسيد الكربون وهو غاز سامّ.



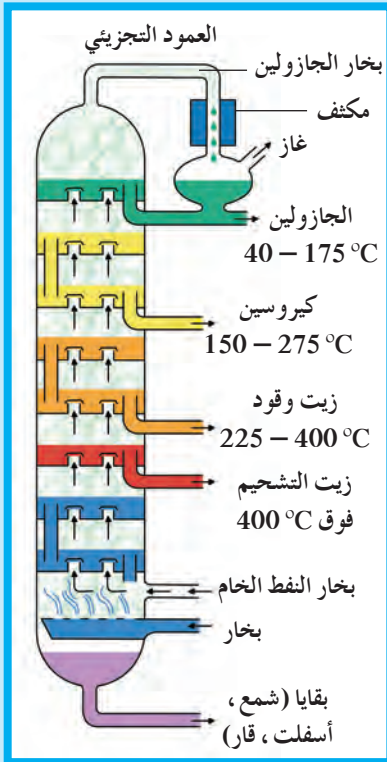
## 2. البترول

## Petroleum

المركبات العضوية الموجودة في البترول Petroleum أو النفط الخام Crude Oil أكثر تعقيداً من تلك الموجودة في الغاز الطبيعي. معظم الهيدروكربونات الموجودة في البترول ألكانات مستقيمة ومرتفعة السلسلة وتشمل أيضاً مركبات عطرية تحتوي على الكبريت، الأكسجين والنيتروجين.

عرف الإنسان البترول منذ عدة قرون حيث كان يظهر فوق سطح الأرض في بعض المناطق. وقد توالى اكتشافه بدءاً من خمسينيات القرن الماضي في ولاية بنسلفانيا الأمريكية ومن ثم في الشرق الأوسط، أوروبا والهند الشرقية. كما اكتشفت رواسب نفطية في أماكن أخرى من العالم. يجب أن يُكرّر النفط الخام قبل استخدامه تجارياً، وتتضمن عملية التكرير تقطير تجزيئي يعتمد على اختلاف درجة غليان عناصره. تهدف العملية إلى تجزئته إلى نواتج تجزيئية يحتوي كل منها على عدة هيدروكربونات مختلفة. يوضح الشكل (39) والجدول (11) برج التقطير التجزيئي للبترول والنواتج التجزيئية التي لها استخدامات متنوعة.

كما يمكن استخدام التكسير الحراري وهو عملية يمكن التحكم بها، لتكسير الهيدروكربونات ذات الكتل المولية الكبيرة، التي لا يُستفاد منها صناعياً، إلى هيدروكربونات ذات سلاسل قصيرة ودرجات غليان منخفضة، أي إلى جزيئات أصغر وأكثر نفعاً. يُستخدم في التكسير الحراري مادة محفزة وحرارة. وبفضل هذه الطريقة بات البترول المصدر الرئيسي للمواد الخام التي تدخل في صناعة المواد الكيميائية العضوية. على سبيل المثال، تُعتبر الألكانات ذات الكتل المولية المنخفضة مواد أولية لصناعة الدهانات والمواد البلاستيكية.



شكل (39)

### برج التقطير التجزيئي

تتم عملية التقطير التجزيئي بتسخين النفط الخام حتى يتبخر ويتصاعد في العمود التجزيئي. تتكثف أولاً المركبات التي تمتلك أعلى درجات غليان بالقرب من القاع، بينما تتكثف أجزاء المركبات التي تمتلك أدنى درجات غليان بالقرب من القمة.

الناتج التجزيئي	تركيب سلاسل الكربون	مدى درجات الغليان (°C)	النسبة المئوية للنفط الخام
الغاز الطبيعي	C <sub>1</sub> إلى C <sub>4</sub>	أقل من 20	10%
الإيثير البترولي (مذيب)	C <sub>5</sub> إلى C <sub>6</sub>	من 30 إلى 60	
نفثا (مذيب)	C <sub>7</sub> إلى C <sub>8</sub>	من 60 إلى 90	
جازولين	C <sub>6</sub> إلى C <sub>12</sub>	من 40 إلى 175	40%
كيروسين	C <sub>12</sub> إلى C <sub>15</sub>	من 150 إلى 275	10%
زيت الوقود، الزيت المعدني	C <sub>15</sub> إلى C <sub>18</sub>	225 إلى 400	30%
زيت التشحيم، هلام البترول، شحوم، شمع البرافين، قار (أسفلت - زيت)	C <sub>16</sub> إلى C <sub>24</sub>	أعلى من 400	10%

جدول (11)

النواتج التجزيئية المُستخلصة من النفط الخام



## فقرة إثرائية علاقة الكيمياء بعلم البيئة

### انسكاب النفط

تتسبب البقع النفطية المتسرّبة من السفن الناقلة للبترول بتدمير الكائنات الحية البحرية الهشة، ونظرًا لارتفاع تكاليف معالجة التلوّث النفطي وصعوبتها، يحاول العلماء تطوير موادّ ماصّة تُرشّ على بقع النفط فتشبع به ويسهل إخراجها من الماء. تتضمن 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 منظمة الدول المصدّرة للبترول من حيث الإنتاج. يتركّز معظم الاحتياط البترولي فيها من بئر برقان (Burgan) الذي يُعتبر ثاني أكبر بئر تقليدي في العالم ولم ينضب منذ سنة 1938.

2011	2010	
478	414	إنتاج
502	446	استهلاك
64	64	احتياطي مثبت (تريليون قدم مكعب)

إنتاج واستهلاك الغاز الطبيعي في دولة الكويت

بوحدة قدم مكعب  $ft^3$

2011	2012
936	936

قدرة مصافي البترول في الكويت (ألف برميل يوميًا)

1. ما النوعين الأساسيين 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 مرّكب.

## مراجعة الوحدة الخامسة

### المفاهيم

Alkane	ألكان	Arenes	أرين
Straight-Chain Alkane	ألكان مستقيم السلسلة	Branched-Chain Alkane	ألكان متفرّع السلسلة
Alkene	ألكين	Alkyne	ألكاين
Resonance	رنين	Petroleum	بتروول
Natural Gas	غاز طبيعي	Homologous Series	سلاسل متشابهة
Substituent	مجموعة بديلة	Alkyl Group	مجموعة الألكيل
Organic Compound	مركب عضوي	Aliphatic compound	مركب أليفاتي
Crude Oil	نفط الخام	Aromatic Compound	مركب عطري
Cyclic Hydrocarbon	هيدروكربون حلقي	Hydrocarbon	هيدروكربون
Saturated Hydrocarbon	هيدروكربون مشبع	Unsaturated Hydrocarbon	هيدروكربون غير مشبع
		Fossil Fuel	وقود أحفوري

### الأفكار الرئيسية للوحدة

#### (1-1) مركبات الكربون العضوية

- صنّفت المركبات العضوية إلى مركبات مشبعة ومركبات غير مشبعة بحسب أنواع الروابط بين ذرات الكربون فيها.
- تُعبّر الصيغة الأولية لمركب ما عن عدد ذراته بأصغر عدد صحيح وتمثل الصيغة الجزيئية مكونات جزيء هذا المركب. يمكن الحصول على الصيغة الجزيئية بضرب الصيغة الأولية بمضاعف "n".

#### (2-1) الهيدروكربونات المشبعة

- الهيدروكربونات هي مركبات تحتوي فقط على ذرات كربون وهيدروجين، وتحتوي الألكانات أو الهيدروكربونات المشبعة على روابط تساهمية (C - C) أحادية فقط.
- تحتوي الهيدروكربونات مستقيمة السلسلة على ذرات كربون متتالية. وتتكوّن الهيدروكربونات متفرّعة السلسلة عند إضافة مجموعة الألكيل بديلة واحدة أو أكثر إلى الهيدروكربون مستقيم السلسلة.
- يُفهم ضمناً في الصيغة التركيبية المكثفة وجود روابط بين الذرات على الرغم من عدم رسمها بالتفصيل.
- تتألف أسماء الألكانات من قسمين يدلّ الأول على عدد ذرات الكربون والثاني ثابت لكلّ مركبات هذه المجموعة وهو المقطع «ان».

### (1-3) الهيدروكربونات غير المشبعة

- الألكينات هي هيدروكربونات غير مشبعة تحتوي على الأقل على رابطة تساهمية ثنائية واحدة ( $C = C$ )
- الألكاينات هي هيدروكربونات غير مشبعة تحتوي على الأقل على رابطة تساهمية ثلاثية واحدة ( $C \equiv C$ )
- تتألف أسماء الألكينات من قسمين يدلّ الأول على عدد ذرات الكربون والثاني ثابت لكلّ مركّبات هذه المجموعة وهو المقطع «ين». يختلف المقطع الثاني إن كان المركّب من الألكاينات ويصبح «اين».
- تقوم الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة بتفاعلات الاحتراق بوجود كمية وافرة من الأكسجين أو الهواء الجوّي في حين تتفرد الهيدروكربونات غير المشبعة بقيامها بتفاعلات إضافة (الهيدروجين، الكلور، الماء إلخ).
- تُسمّى المركّبات التي تمتلك التركيب العنصري (الكيميائي) نفسه وصيغ تركيبيه مختلفة الأيزوميرات، وتنقسم الأيزوميرات إلى مجموعتين هما الأيزوميرات الفراغية والأيزوميرات الهيكلية.

### (1-2) الحلقات الهيدروكربونية

- تحتوي الهيدروكربونات العطرية أو الأرينات على البنزين الحلقي.
- بسبب وجود روابط تساهمية أحادية وروابط تساهمية ثنائية في حلقة البنزين يحدث الرنين وكنتيجة لذلك، يُعتبر البنزين أقلّ نشاطاً من الألكينات العادية.

### (2-2) الهيدروكربونات المُستخرجة 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.

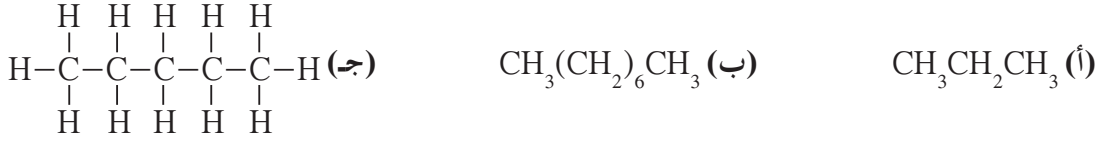
### خريطة مفاهيم الوحدة

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

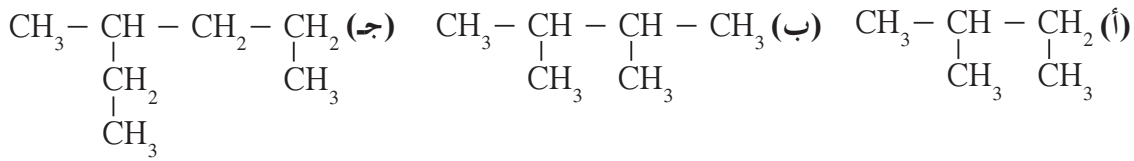


تحقق من فهمك

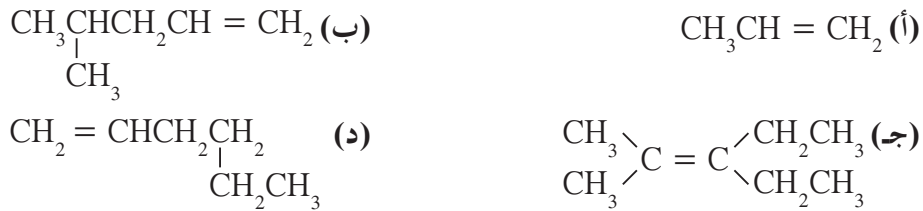
1. عرّف الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية.
2. اكتب الصيغ التركيبية المكثفة للبنتان والهكسان.
3. اذكر أسماء الألكانات ذات الصيغ التركيبية والتركيبة المكثفة التالية:



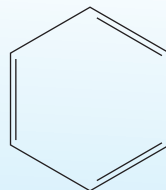
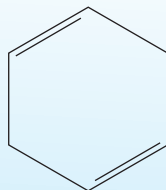
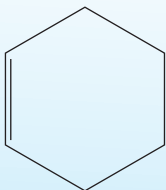
4. اكتب الصيغ التركيبية للمجموعات الألكيلية المشتقة من الميثان والإيثان والبروبان.
5. لماذا تُعتبر الأسماء التالية غير صحيحة؟ وما الأسماء الصحيحة؟  
(أ) 2 - ثنائي ميثيل البنتان (ب) 1، 3 - ثنائي ميثيل البروبان  
(ج) ميثيل البيوتان (د) 3، 4 - ثنائي ميثيل البيوتان
6. اكتب أسماء المركبات التالية بحسب نظام IUPAC.



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



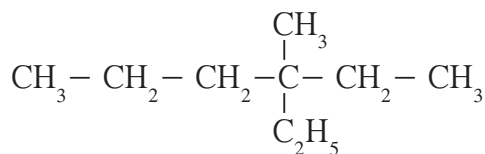
10. اكتب الصيغة التركيبية لكل مركب مما يلي:  
(أ) بارا - ثنائي إيثيل البنزين  
(ب) 2 - ميثيل - 3 - فينيل البنتان
11. اكتب معادلة توضّح الاحتراق التام للأوكتان ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ).
12. اذكر أسماء المركبات الثلاثة التي تلي الإيثان من حيث عدد ذرات الكربون.
13. قارن بين التراكيبيات الجزيئية التالية. ما الشكل الأكثر ثباتاً؟ ولماذا؟



14. اختر الجزيء الذي لديه الصيغة الكيميائية  $C_4H_{10}$ :

(أ) بيوتان (ب) بروبان (ج) ديكان (د) بيوتين

15. اختر اسم الصيغة التركيبية التالية بحسب نظام IUPAC:



(أ) 3 - إيثيل - 3 - ميثيل الهكسان (ب) 3 - ميثيل - 3 - بروبيل البنتنان

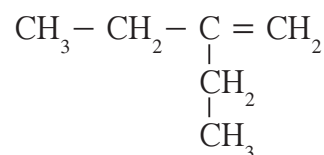
(ج) 2، 2 - ثنائي إيثيل البنتنان (د) 4 - إيثيل - 4 - ميثيل الهكسان

16. أي من المركبات التالية ينتمي إلى فئة الألكينات؟

(أ)  $\text{CH}_3\text{CH}_3$  (ب)  $\text{CH}_2\text{CHCH}_3$

(ج)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$  (د)  $\text{CH}_3\text{CCl}_3$

17. اختر الاسم الصحيح للمركب التالي:



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

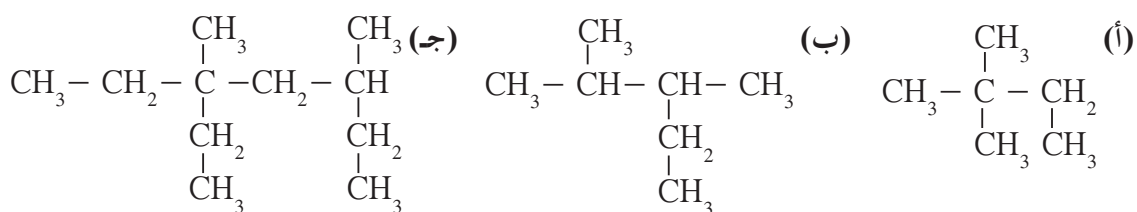
(ج) 1 - ميثيل - 1 - بنتين (د) 1 - ميثيل - 2 - بنتين

### اختر مهاراتك

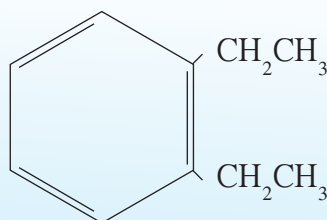
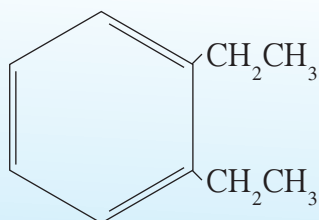
1. اكتب الصيغة التركيبية لكل ألكين ذي الصيغة الجزيئية  $C_5H_{10}$  واكتب اسم كل مركب.

2. اكتب جميع الأيزوميرات التركيبية ذات الصيغة الجزيئية  $C_6H_{14}$ ، واكتب اسم كل منها.

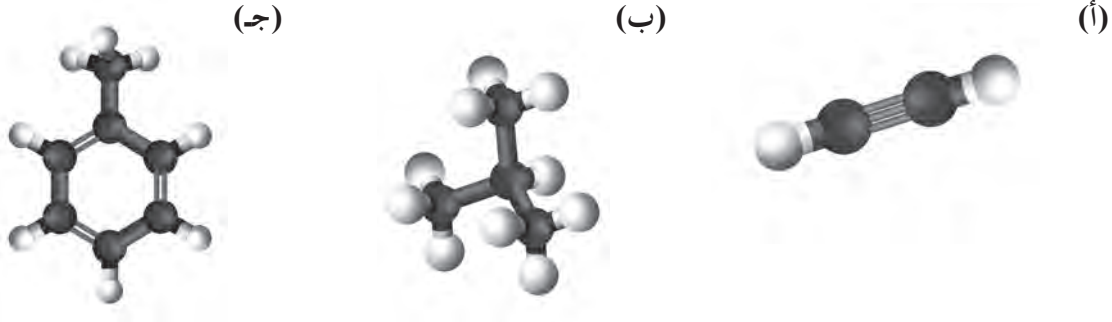
3. اكتب أيزومير تركيبى لكل مركب مما يلي:



4. وضح سبب اعتبار أن التركيبين التاليين يمثلان المركب 1، 2 - ثنائي إيثيل البنزين.



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



6. اكتب الصيغ التركيبية لكلّ من المركّبات التالية:

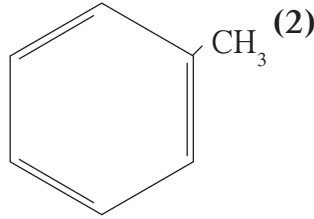
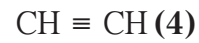
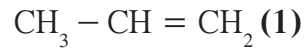
- (أ) بروبان (ب) الهكسان الحلقي (ج) 2 - فنيل البروبان (د) 2، 2، 4 - ثلاثي ميثيل البنتان (هـ) 2، 3 - ثنائي ميثيل البنتان (و) 1، 1 - ثنائي فنيل الهكسان

7. استخدم المعلومات الواردة في الجدول (3) لإعداد رسم بياني يوضّح العلاقة بين درجة الغليان وعدد ذرات الكربون للألكانات العشرة الأولى مستقيمة السلسلة. هل اتخذ الرسم شكل خطّ مستقيم؟ بناءً على هذه العلاقة البيانية، هل يمكنك تنبؤ درجة غليان مركّب الأونديكان وهو ألكان مستقيم السلسلة يحتوي على إحدى عشرة ذرّة كربون؟ استعن بكتاب كيمياء لمعرفة درجة الغليان الحقيقية للأونديكان، وقارنها بدرجة الغليان التي تنبأت بها بناءً على العلاقة البيانية.

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

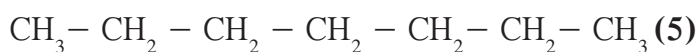
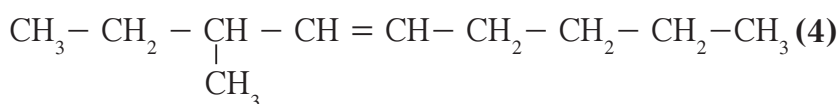
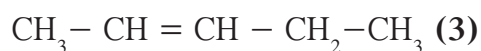
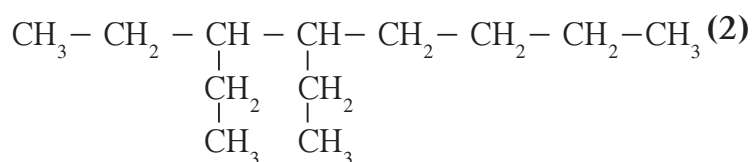
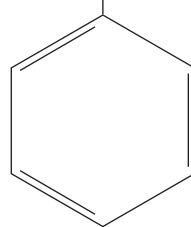
(أ) ألكاين (ب) ألكين (ج) مركّب عطري (د) ألكان

(هـ) هيدروكربون مشبّع (و) هيدروكربون غير مشبّع



9. طابق المركبات العضوية التالية بأسمائها تبعًا لنظام IUPAC.

- (أ) 3، 4 - ثنائي إيثيل الأوكتان  
(ب) 2 - بنتين  
(د) 3 - ميثيل - 4 - نونين  
(هـ) 2 - فيل البيوتان  
(ج) هبتان



### مشاريع الوحدة

1. يبحث الجيولوجيون عن تركيبات جيولوجية معينة لتحديد أماكن تواجد البترول. اجر بحثًا حول أنواع التركيبات الجيولوجية التي يبحث عنها الجيولوجيون وصف كل 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 عُقد الاجتماع الدولي الأول. ناقش ما توصلت إليه في تقرير مكتوب.





مجموعة  
1

حالة المادة  
اسم العنصر  
متوسط الكتلة  
الذرية

الترتيب الإلكتروني

صلب	s
سائل	l
غاز	g
إصطناعي	x

الفلزات القلوية  
الفلزات القلوية الأرضية  
الفلزات الإنتقالية  
فلزات ضعيفة  
شبه فلز  
لا فلزات  
هالوجينات  
الغازات النبيلة

VIIIA

1	2	3	4	5	6	7	8
1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	VIIIA
1	2	3	4	5	6	7	8
Hydrogen 1.01 (1H)	Lithium 6.94 (3Li)	Sodium (11Na)	Potassium 39.10 (19K)	Rubidium 85.47 (37Rb)	Cesium 132.91 (55Cs)	Francium (87Fr)	Helium 4.00 (2He)

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	IB	IIB	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB	IXB	X
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Boron 10.81 (5B)	Carbon 12.01 (6C)	Nitrogen 14.01 (7N)	Oxygen 16.00 (8O)	Fluorine 19.00 (9F)	Neon 20.18 (10Ne)	Aluminum 26.98 (13Al)	Silicon 28.09 (14Si)	Phosphorus 30.97 (15P)	Sulfur 32.07 (16S)	Chlorine 35.45 (17Cl)	Argon 39.95 (18Ar)	Gallium 69.72 (31Ga)	Germanium 72.61 (32Ge)	Arsenic 74.92 (33As)	Selenium 78.96 (34Se)

1	2	3	4	5	6	7
IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
1	2	3	4	5	6	7
Beryllium 9.01 (4Be)	Magnesium (12Mg)	Calcium 40.08 (20Ca)	Strontium 87.62 (38Sr)	Barium 137.33 (56Ba)	Radium (88Ra)	

لائقائيات

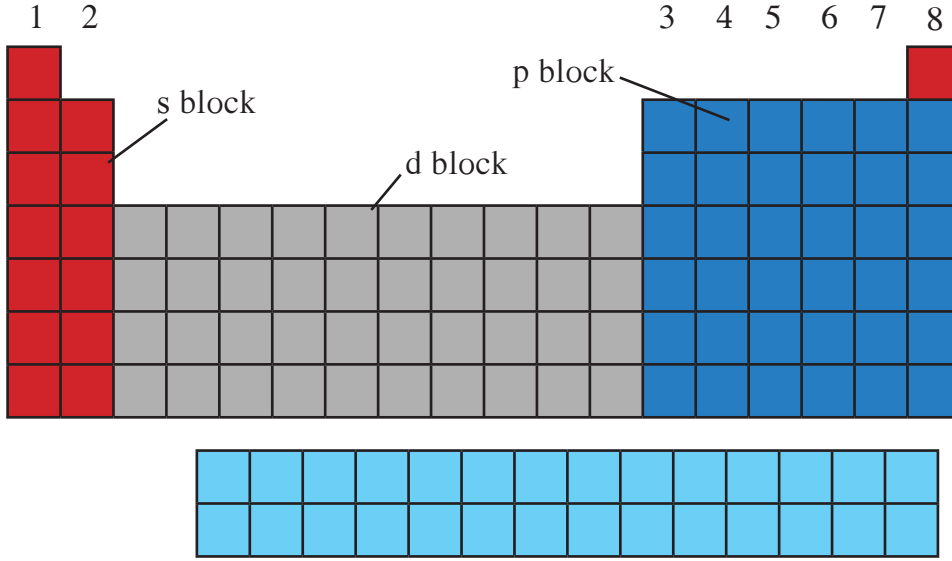
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Lanthanum (57La)	Cerium (58Ce)	Praseodymium (59Pr)	Neodymium (60Nd)	Promethium (61Pm)	Samarium (62Sm)	Europium (63Eu)	Gadolinium (64Gd)	Terbium (65Tb)	Dysprosium (66Dy)	Holmium (67Ho)	Erbium (68Er)	Thulium (69Tm)	Ytterbium (70Yb)	Lutetium (71Lu)
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Actinium (89Ac)	Thorium (90Th)	Protactinium (91Pa)	Uranium (92U)	Neptunium (93Np)	Plutonium (94Pu)	Americium (95Am)	Curium (96Cm)	Berkelium (97Bk)	Californium (98Cf)	Einsteinium (99Es)	Fermium (100Fm)	Mendelevium (101Md)	Nobelium (102No)	Lawrencium (103Lr)

أكتينيدات

## جهود الاختزال القياسية عند الظروف القياسية

الجهد القياسي (V)	نصف تفاعل	القطب
-3.05	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	$\text{Li}^+/\text{Li}$
-2.93	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	$\text{K}^+/\text{K}$
-2.90	$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ba}$	$\text{Ba}^{2+}/\text{Ba}$
-2.71	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	$\text{Na}^+/\text{Na}$
-2.37	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}$
-1.66	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	$\text{Al}^{3+}/\text{Al}$
-0.83	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$
-0.76	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$
-0.74	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	$\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}$
-0.44	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$
-0.42	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ (pH = 7)
-0.40	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	$\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}$
-0.36	$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	$\text{PbSO}_4/\text{Pb}$
-0.28	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	$\text{Co}^{2+}/\text{Co}$
-0.25	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	$\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}$
-0.14	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	$\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}$
-0.13	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	$\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$
-0.036	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}$
0.000	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	$\text{H}^+/\text{H}_2$
+0.14	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{S}$	$\text{S}/\text{H}_2\text{S}$
+0.15	$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$	$\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}$
+0.22	$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	$\text{AgCl}/\text{Ag}$
+0.34	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$
+0.40	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	$\text{O}_2/\text{OH}^-$
+0.52	$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	$\text{Cu}^+/\text{Cu}$
+0.54	$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-$	$\text{I}_2/\text{I}^-$
+0.70	$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$
+0.77	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$
+0.80	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	$\text{Ag}^+/\text{Ag}$
+0.85	$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}$	$\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}$
+1.07	$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	$\text{Br}_2/\text{Br}^-$
+1.23	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
+1.28	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$
+1.33	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$
+1.36	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	$\text{Cl}_2/\text{Cl}^-$
+1.51	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$
+1.69	$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{PbO}_2/\text{PbSO}_4$
+1.78	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
+2.87	$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-$	$\text{F}_2/\text{F}^-$

## 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 لأنه يملك فلك s فحسب الذي يتسع إلى إلكترونين فقط.

## أعداد التأكسد

قيمة عدد التأكسد	قواعد حساب عدد التأكسد
+1	عدد تأكسد العناصر القلوية في المركبات Na، Li، K
+2	عدد تأكسد العناصر القلوية الأرضية في المركبات Mg، Ca
+3	عدد تأكسد Al في المركبات
-2	عدد تأكسد S في الفلزات أو الهيدروجين
-1	عدد تأكسد Cl، Br، I في المركبات (ما عدا مع الأكسجين أو الفلور)
-1	عدد تأكسد F في جميع المركبات
-2	عدد تأكسد O في معظم المركبات
-1	عدد تأكسد O في فوق الأكاسيد
-1	عدد تأكسد H في الفلز (في هيدريدات الفلزات)
-1	عدد تأكسد $\text{NO}_3^-$ ، $\text{OH}^-$
+1	عدد تأكسد $\text{NH}_4^+$
-2	عدد تأكسد $\text{CO}_3^{2-}$ ، $\text{SO}_4^{2-}$
صفر	عدد تأكسد $\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{NH}_3$ (مركبات متعادلة)

## درجة الغليان والإنصهار لبعض الألكانات ، الألكينات و الألكينات

درجة الإنصهار (°C)	درجة الغليان (°C)	الإسم	الصيغة الجزيئية
<b>الألكانات</b>			
-183	-161	ميثان	CH <sub>4</sub>
-172	-88.5	إيثان	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
-187	-42	بروبان	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
-138	-0.5	بيوتان	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
-130	36	بتان	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
-95	68.7	هكسان	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
-91	98.5	هبتان	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>
-57	125.6	أوكتان	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
-54	150.7	نونان	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>
-30	174.1	ديكان	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
<b>الألكينات</b>			
-169	-103.9	إيثين	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
-185.2	-47	بروبين	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
-185.2	-6.3	1-بيوتين	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>
-165.2	30	1-بنتين	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>
-138	63.5	1-هكسين	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>
-119	93	1-هبتين	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>
-104	122.5	1-أوكتين	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>
-81.4	146	1-نونين	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>
-87	171	1-ديكين	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>
<b>الألكينات</b>			
-80	-81.8	إيثاين	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
-101.5	-23.3	بروباين	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>
-122	8.6	1-بيوتاين	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>
-98	40	1-بنتاين	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>
-124	72	1-هكساين	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>
-80	100	1-هبتاين	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub>
-70	126	1-أوكتاين	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>
-65	151	1-نوناين	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>
-36	182	1-ديكاين	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>

أودع في مكتبة الوزارة تحت رقم (٢٧) بتاريخ ٦ / ٤ / ٢٠١٥ م  
شركة مطابع الرسالة - الكويت