



الكيمياء

كتاب الطالب
المستوى الثاني عشر

CHEMISTRY
STUDENT BOOK

GRADE
12

الفصل الدراسي الأول
FIRST SEMESTER
2020 - 2021

(نسخة تجريبية - Trial version -)



© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع
للاستثناء التشريعي المسموح به قانوناً ولأحكام التراخيص
 ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول
على الإذن المكتوب من وزارة التعليم والتعليم العالي في
دولة قطر.

تم إعداد الكتاب بالتعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتعاون
مع شركة باسكو العلمية.

الترجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.



حضره صاحب السمو الشيخ تميم بن حمد آل ثاني
أمير دولة قطر

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءَ
قَطَرُ سَتَبْقَى حُرَّةً
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الْأَلَى
قَطَرُ بِقَلْبِي سِيرَةً
قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءَ
تَسْمُو بِرُوحِ الْأَوْفِيَاءَ
وَعَلَى ضِيَاءِ الْأَنْبِيَاءَ
قَطَرُ الرِّجَالِ الْأَوَّلِينَ
عِزٌ وَأَمْجَادُ الْإِبَاءَ
حُمَانُّا يَوْمَ النِّدَاءَ
وَحَمَائِمُ يَوْمَ الْفِداءَ
جَوَارِحُ يَوْمَ السَّلَامَ



المراجعة والتّدقيق العلمي والتّربوي

إدارة تقييم الطلبة

خبرات تربوية وأكاديمية من المدارس

الإشراف العلمي والتّربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التعلم

الكيمياء

يعد كتاب الطالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطالب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات التي يحتاجون إليها للنجاح في تنمية المهارات الحياتية وبعض المهارات في المواد الأخرى.

وبما أننا نهدف إلى أن يكون طلابنا مميزين، نود منهم أن يتسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلمي عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التفكير بشكلٍ ناقدٍ وبناءً.
- الثقة بقدرتهم على اتباع طريقة الاستقصاء العلمي، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التقارير، وإنتاج الرسوم البيانية، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التمرس في التفكير الإبداعي.
- التمسك باحترام المبادئ الأخلاقية والقيم الإنسانية.

يتجسد في المنهج الجديد العديد من التوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدراسية بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلمية التي تتوافق مع أعمار الطلاب، والتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواهمة محتوى المصادر الدراسية لتتوافق مع الإطار العام للمنهج الوطني القطري بغية ضمان حصول الطّلاب على المعارف والمهارات العلمية وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكتفاليات) مما يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحد الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محورية جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلمي، ما أسّس للتنوع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطالب.
- توزّع المعرفة والأفكار العلمية المخصصة لكلّ عام دراسي ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التنوع والتطور.

- تعدد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعاً جديداً، منطلقاً ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السابقة.
- إتاحة الفرصة للطلّاب، في كلّ درسٍ، للتحقّق الذّاتي من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.
- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدرس وتقويم الوحّدة التي تمكّن الطّلّاب والأهل والمدرّسين من تتبع التّعلم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف التي تشمل الحقائق والأشكال والنظريات والأفكار. ولكن العالم الجيد يفهم أن «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمية من المعرفة التي تحتويها.

سوف يساعد هذا الكتاب الطّلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين ولدوا مجموعه واسعة من التّحديات في حياتهم المهنية المستقبلية.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التعليمي الوطني لدولة قطر

- | | |
|--|-------------------------|
| | الاستقصاء والبحث |
| | التعاون والمشاركة |
| | التّواصل |
| | التفكير الإبداعي والنقد |
| | حلّ المشكلات |
| | الكفاية العددية |
| | الكفاية اللغوية |

الكيمياء

ماذا ستعلّم من هذا الكتاب

يعد كتاب الكيمياء هذا مصدراً غنياً ومثيراً لاهتمام الطالب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر. فهو ممتليء بأنماط واسعة النطاق، إضافة إلى تفاصيل أخرى دقيقة النطاق أيضاً. وأحد أكثر هذه الأنماط الواسعة النطاق هو الجدول الدوري للعناصر. فعملية تجميع العناصر ضمن مجموعات ذات خصائص كيميائية مشتركة كانت الطريقة التي اكتشفت مندلييف فيها السلوك الدوري لهذه العناصر، مثل الأنماط المُتكررة للسالبية الكهربائية، تلتها الصفوف المتتالية للجدول الدوري.



نماذج نقية من عناصر المجموعة الرابعة (IVA).

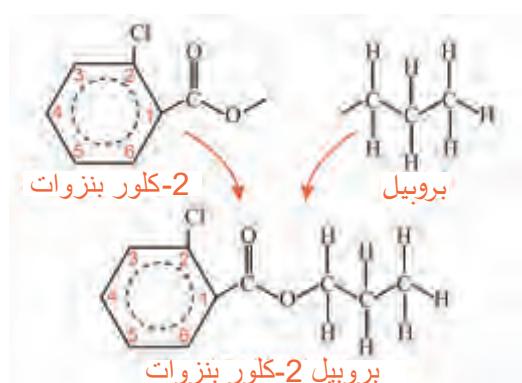
تبدأ الوحدة الأولى لهذا الفصل الدراسي بالخصائص الدورية، مثل السالبية الكهربائية، والميّل الإلكتروني، ونصف القطر الذري. ثم سنناقش بعد ذلك مجموعتين مهمتين من العناصر بالتفصيل، هما عناصر المجموعة الرابعة IVA (14) وتتضمن الكربون، والسيликون وكلاهما عنصران حيوان، وعناصر المجموعة السابعة VIIA (17) وهي الهالوجينات، والتي تُعدّ من أكثر العناصر تفاعلاً ونشاطاً.

وتركز الوحدة الثانية على العناصر الانتقالية، والتي تمتلك إلكترونات في المستويات الفرعية (d). وتتضمن هذه العناصر فلزات مهمّة مثل التيتانيوم، والفناديوم، والكروم، والحديد. وتُعدّ خصائص الترابط لهذه العناصر الانتقالية معقدة؛ ويرجع سبب ذلك إلى الطرائق المختلفة التي تندمج بها أفلاك d وأفلاك f الفرعية مع العناصر الأخرى لتشكيل روابط كيميائية. فالفلزات الانتقالية تشكّل أيونات متعددة ذات شحنات مختلفة، بالإضافة إلى امتلاكها حالات تأكُسٍد مشتركة متعددة.



يشكّل الحديد مركبات فرومغناطيسية، مثل المعدن، والماجنيتيت.

يُعدّ تعميق معرفتنا بالكيمياء العضوية الهدف المنشود من دراستنا للوحدة الثالثة. ابتداءً بالأشكال الهندسية الجُزيئية، إضافة إلى أن هذه الوحدة ستأخذنا إلى داخل ميكانيكيات (آليات) التفاعلات العضوية، ومفهومي النيوكلوفيلات والإلكتروفييلات. أما الجزء الأخير للوحدة الثالثة فيناقش الموضوع المثير لاهتمام والمتعلّق بالمركبات الأروماتية التي تحتوي على حلقة بنزين واحدة.



مركبات أروماتية تحتوي على تراكيب بنائية حلقيّة.

بعض أقسام هذا الكتاب

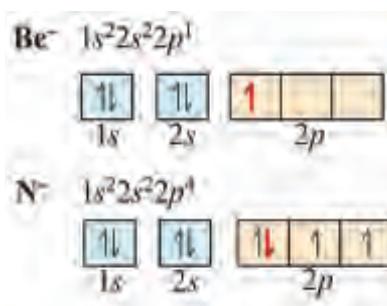
الرسوم التوضيحية

أسئلة للمناقشة

ما عدد الأكسيد المختلفة التي يمكن أن يكونها عنصر المنجنيز نظرياً؟

أسئلة المناقشة تزود طلاب الصف بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات الجديدة.

مفاهيم مهمة
وبيانات وأمثلة على كل فكرة جديدة
معروضة من خلال الإيضاحات المفصلة والشروحات



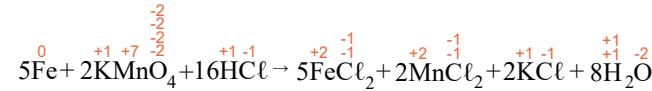
شريط الأفكار المهمة

تحديد النقاط الرئيسية وتذكرها.

- الليجندرات (المتراكبات) هي جزيئات أو أيونات سالبة ترتبط بشكل مباشر بأيون فلز مركزي ذي شحنة موجبة.

العلاقات والمعادلات

مُثلت المعادلات الكيميائية بشكل واضح مع احتواها على رموز ملوّنة تمثّل المعلومات المهمة.



الأمثلة

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحل والتفسير للحصول على حسابات صحيحة.

مثال 4

اكتب المعادلات الكيميائية الموزونة التي تصف تفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون مع محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH).

الحل

• يتفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون مع محلول هيدروكسيد البوتاسيوم لتكون كربونات البوتاسيوم والماء أو كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية (بيكربونات البوتاسيوم). وازن المعادلة بعد كتابة

العلم والعلماء

تم تطوير معارفنا العلمية على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصره في التعامل مع العلم والتكنولوجيا. وستتعرف إلى أشخاص رائعين في هذه الصفحات.

إضاءة على عالم

فريديريك أوغست كيكوله 1829-1896



ولد في مدينة تعرف الآن باسم دارمشتات، في ألمانيا، في 7 من شهر سبتمبر في العام 1829م، حيث لم يكن معروفاً باسمه الأول، وكان هو نفسه لا يستخدم هذا الاسم إلا نادراً. التحق بجامعة غيسن في العام 1847م لدراسة الهندسة المعمارية، ولكنه أنهى دراسة الكيمياء في فصله الدراسي الأول بعد استماعه لمحاضرات ألقاها الدكتور بريتوس فون ليبينغ. [بعد إلقاء أحد أعظم علمي الكيمياء على مذ العصور ورائد النهج المختبري في التدريس].

الكيمياء

الأنشطة والمراجعة والتقويم

الأنشطة

التدريب العملي من خلال المختبر والمشاريع البحثية وسواءً ما من الأنشطة التي ترسّخ معاني الأفكار الجديدة وتطور العمل المخبري.

تقويم الدرس

يتميز كل درس بعرض يحتوي على الأسئلة التي تُعطي جميع المفاهيم والمعلومات في هذا الدرس.

مراجعة الوحدة

ملخص قصير عند نهاية كل وحدة، وهو مرجع سريع للأفكار والمصطلحات الرئيسية.

تقويم الوحدة

رُوّدت كل وحدة بمجموعة من الأسئلة ذات الخيارات المُتعددة كعينة تُحضر الطالب لاختبار نموذجي.

تقويم الوحدة

أسئلة الإجابات القصيرة وأسئلة الإجابات المطولة بُنيتاً على مستويات ثلاثة من الصعوبة في نهاية كل وحدة.

الدرس 3-1: الأشكال الهندسية للجزئيات

الأشكال الهندسية للجزئيات والمشكلات

1-3

كيف يمكن أن تساعد النماذج الجزيئية في فهم الأشكال الجزيئية، المشكلات

الفراغية، ومراكز كيرالية؟ (العمل مجموعات ثنائية).

مجموعة النموذج الجزيئي

المادة المطلوبة

 إجراءات مخبرية

الجزء 3-1: الأشكال الهندسية الجزيئية واستخداماتها

الدرس 2-2: تكون أيونات متعددة

تقويم الدرس 2-2

1. أيٌ من مجموعات الجسيمات الآتية متساوية الكتروناتاً (إيزو إلكتروناتاً) في توزيعها الإلكتروني؟

C³⁺ و Sc³⁺. a.

Zn²⁺ و Cu²⁺. d.

Ni²⁺ و Fe²⁺. b.

2. من أيٍ فلكٍ يتم فقد أول إلكترون من ذرة عنصرٍ انتقالٍ في السلسلة الأولى لتكون أيون

موجب؟

3d . c.

3s . a.

4d . d.

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1: توقيع الخصائص الفيزيائية والكميائية للعناصر

• يتم ترتيب العناصر في الجدول الدوري الحديث اعتماداً على العدد الذري ووفق خصائصها الفيزيائية والكميائية.

• يمكن توقيع خصائص العناصر على أساس موقعها في الجدول الدوري ضمن مجموعات ودورات.

• تزداد طاقة الثاني الأول First ionization energy بشكل عام عبر الدورة عند الإتجاه من اليسار إلى يمين الجدول الدوري، وتتناقص بالإتجاه من أعلى المجموعة إلى أسفلها.

تقويم الوحدة

7. أيٌ من أزواج عناصر المجموعة الرابعة (IVA) الآتية يصف بشكل صحيح التوصيل الكهربائي الخاصة بهما؟

a. الجرافيت (موصل ضعيف) والقصدير (موصل جيد)

b. السليكون (موصل ضعيف) والرصاص (موصل جيد)

c. الجermanيوم (شبه موصل) والقصدير (موصل جيد)

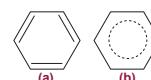
تقويم الوحدة

28. من حيث النشاط والقدرة على تكون تفاعلات انعكاسية، ما الذي يجعل كلوريدات الأسيل مثالية لإنتاج الإسترات من الكحولات والفينولات؟

29. ما الناتجان اللذان ينتجان عن عملية التحلل المائي لمركب كلوريد البروبانول (propanoyl chloride)؟

الدرس 3-3: المركبات العضوية الأرومانية

30. من حيث الإلكترونات الموجودة في الروابط من نوع باي (π)، لماذا يُعد الرمز (b) هو الأفضل تمثيلاً لجزيء الميدين من الرمز (a) في الشكل الموجود إلى اليسار؟



مخطط المادة

الوحدة 1

الاتجاهات الدورية في خصائص العناصر

تبدأ الوحدة بمناقشة الخصائص الدورية الأربع المهمة للعناصر، وهي: نصف القطر الذري وطاقة التأين والميّل الإلكتروني والسلبية الكهربائية. ثم نناقش بعد ذلك خصائص عناصر المجموعة الرابعة IVA (14) مثل درجات انصهارها، وتوصيلها الكهربائي، وطبعتها الحمضية – القاعدية، والاستقرار الحراري لأكسيداتها. وتنتهي الوحدة الأولى بالبحث في الهايوجينيات، وهي عناصر المجموعة السابعة VIIA (17)، فهذه العناصر نشطة كيميائياً جدًا، لذلك لم يتم العثور عليها في هيئتها النقية في الطبيعة. نبحث في هذا الدرس في التدرج في خصائص الهايوجينيات الفيزيائية، ونشاطها كعوامل مؤكسدة، والاستقرار الحراري للهيدريدات (هاليديات الهيدروجين)، وبعض تفاعلاتها المميزة.

الوحدة 2

خصائص العناصر الانتقالية ومركباتها

يعتمد الكم الكبير والهام من التكنولوجيا البشرية على الفلزات الانتقالية. فالحديد يُعد المكون الرئيس الموجود في الفولاذ، كما أن أنواع الفولاذ ذات القوة العالية يضاف إليها الكروم والموليبدينوم والفناديوم. وتأتي قوة الفلزات الانتقالية وخصائصها من اندماجات أفلاك (s) و (p) الممثلة بشكل جزئي. تتَّحد هذه العناصر بطرائق مُتعدِّدة وذلك لأنها تستطيع أن تكون حالات تأكسد مختلفة، مما يُفسِّر وجود عدة أكسيد لأكثر الفلزات الانتقالية مثل الحديد: أكسيد الحديد (III) (Fe_2O_3)، وأكسيد الحديد (II) (FeO).

الكيمياء

مخطط المادة

الوحدة 3

خصائص العناصر الانتقالية ومركباتها

تُعد كيمياء مركبات الكربون من أكثر الموضوعات تعقيداً في العلوم. إذ تبدأ هذه الوحدة بنظرية VSEPR، والأشكال الهندسية للجزئيات. ثم نناقش بعد ذلك المتشكلات، فالعديد من المركبات العضوية المفيدة لها متشكلات عديدة، ولكل منها خصائصه المختلفة. ويبحث الجزء الذي يلي ذلك من الوحدة الثالثة في ميكانيكيات ثلاثة أنواع من التفاعلات العضوية، حيث سنناقشه تفاعلات الإضافة الإلكتروفильية، وتفاعلات الاستبدال (الإحلال) النيوكلوفيلي، وتفاعلات التميي. أما الجزء الأخير من هذه الوحدة فيركز على المركبات الأرomaticية، والتي تحتوي على حلقة بنزين واحدة على الأقل، (مجموعة فينيل). حيث سنتعلم التركيب البنائي، وطرق التسمية، وبعض أنواع التفاعلات النموذجية للمركبات العضوية الأرomaticية التي تحتوي على حلقة بنزين واحدة.

مخطط المادة

الوحدة 1	الاتجاهات الدورية في خصائص العناصر	2
الدرس 1-1	توقع الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعناصر	4
الدرس 2-1	الكيمياء الوصفية لعناصر المجموعة الرابعة IVA (14)	15
الدرس 3-1	الكيمياء الوصفية لعناصر المجموعة السابعة VIIA (17)	25
الوحدة 2	خصائص العناصر الانتقالية ومرّكاتها	40
الدرس 1-2	التوزيع الإلكتروني وخصائص عناصر السلسلة الانتقالية الأولى	42
الدرس 2-2	تكوين الأيونات المتعددة	52
الدرس 3-2	استخدامات الفلزات الانتقالية وأيوناتها	62
الوحدة 3	الكيمياء العضوية	82
الدرس 1-3	الأشكال الهندسية للجزئيات	84
الدرس 2-3	ميكانيكيات التفاعلات العضوية	109
الدرس 3-3	المركبات العضوية الأرomaticية	121

الوحدة 1

الاتجاهات الدورية في خصائص العناصر

Periodic Trends in Element Properties

في هذه الوحدة

C1201

الدرس 1-1: توقع الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعناصر

الدرس 1-2: الكيماء الوصفية لعناصر المجموعة الرابعة IVA (14)

الدرس 1-3: الكيماء الوصفية لعناصر المجموعة السابعة VIIA (17)

1

الوحدة

مقدمة الوحدة

بحلول العام 1869م، استطاع العلماء اكتشاف 63 عنصراً، ولاحظوا الكثير من أوجه التشابه في مجموعات العناصر. أدركوا أيضاً تدريجاً في الخصائص الفيزيائية والكيميائية لذرّات هذه العناصر. إنَّ فهُم طبيعة هذا التدرج في الخصائص يساعد العلماء على إجراء التوقعات، يزودهم بتفسيرات متعددة للخصائص الملاحظة لمركبات هذه العناصر.

يراجع الدرس 1 الجدول الدوري الحديث، ويناقش التدرج في أربعة خصائص مهمة للعناصر، وهي: نصف القطر الذري وطاقة التأين الأولى والميل الإلكتروني والسالبية الكهربائية.

يبحث الدرس 2 التدرج في الخصائص الموجودة في عناصر المجموعة الرابعة (IVA)، وهي: درجة الانصهار، والتوصيل الكهربائي، والطبيعة الحمضية - القاعدية، والاستقرار الحراري للأكسيد.

أما الدرس 3 فيبحث في عناصر المجموعة السابعة (VIIA) والتدريج في خصائصها الفيزيائية، ونشاطها كعوامل مؤكسدة، والاستقرار الحراري للميدريدات (هاليدات الهيدروجين)، وتفاعل أيونات الهايد مع نترات الفضة متبوعة بإضافة محلول الأمونيا.

الأنشطة والتجارب

1-1 التدرج في طاقة التأين والميل الإلكتروني والسالبية الكهربائية.

2-1 عناصر المجموعة الرابعة (IVA) : الخصائص والإتجاهات.

3-1 عناصر المجموعة السابعة (VIIA): الخصائص والإتجاهات.

الدرس 1-1

توقع الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعناصر Predicting Physical and Chemical properties of the elements

13 Aluminum	14 Silicon	15 Phosphorus
Al	Si	P

الشكل 1-1 ثلاثة عناصر متالية، وهي: الألومنيوم، والسيликون، والفوسفور.

يزوّدنا الجدول الدوري للعناصر بالمعلومات المتوقعة حول العناصر. افترض أن لديك العناصر الثلاثة المتالية، كما هو موضح في الشكل 1-1، وهي: الألومنيوم (Al)، فوسفور (P)، والسيликون (Si). حيث يتوقع أن يمتلك عنصر السيликون خصائص لها قيمة تقع ما بين قيمة الألومنيوم وقيمة الفوسفور.

الفوسفور	السيликون	الألومنيوم	الكتلة الذرية النسبية
30.974 amu	28.086 amu	26.982 amu	الكتلة الذرية النسبية
2.19	1.90	1.61	السالبية الكهربائية
1.82 g/cm ³	2.33 g/cm ³	2.70 g/cm ³	الكثافة

لاحظ أنَّ خصائص السيликون تقع بين خصائص الألومنيوم والفوسفور، ولا يلاحظ أيضًا أنَّ السالبية الكهربائية تزداد بازدياد الكتلة الذرية لهذه العناصر، أمَّا الكثافة فتقل بازدياد الكتلة الذرية، وسوف يستقصي هذا الدرس أسباب هذه التدرجات في الخصائص.

المفردات



First ionization energy	طاقة التأين الأولى
Electron affinity	الميل الإلكتروني
Electronegativity	السالبية الكهربائية

مخرجات التعلم

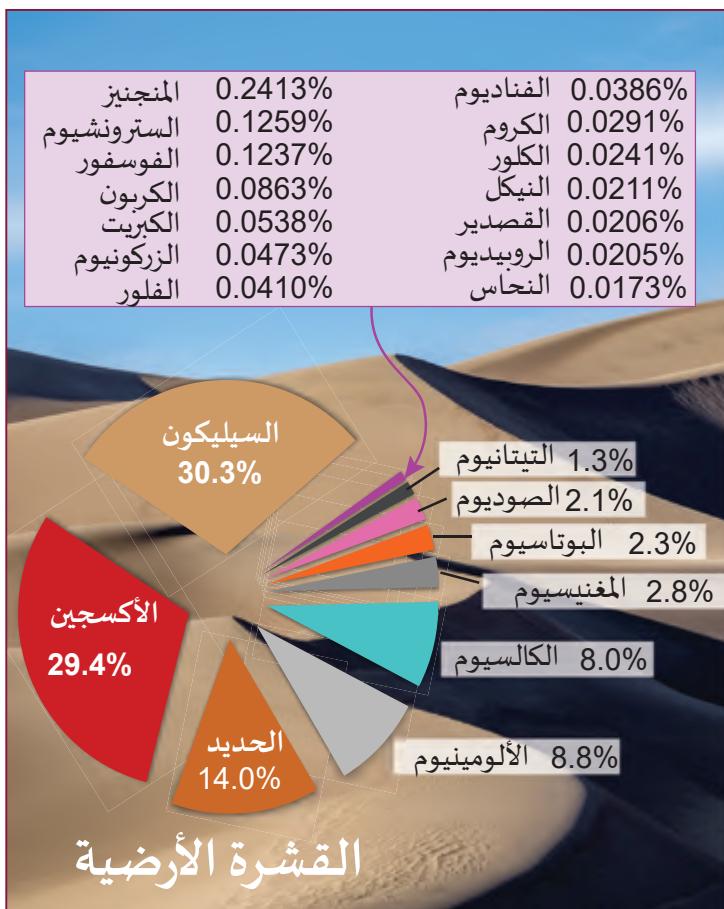
C1201.1 يشرح العوامل المؤثرة في طاقات التأين للعناصر، والتدرج في طاقات التأين بالاتجاه إلى يمين الدورة الواحدة، وإلى أسفل المجموعة الواحدة من الجدول الدوري.

C1201.2 يشرح الاتجاهات الدورية في الميل الإلكتروني والسالبية الكهربائية.

هل تعرف العناصر بشكل جيد؟



أي عنصر هو المكون الرئيسي للرمل ويدخل في تركيب أجهزة الحاسوب؟



الشكل 2-1 نسبة وفرة العناصر في القشرة الأرضية.

يتواجد السيليكون والأكسجين في العديد من المعادن وتسمى السليكات⁴ (SiO_4)، وهذا العنصران يشكلان 59.7% من القشرة الأرضية . وهذا يشمل جميع الرمل الموجود في دولة قطر.

الشبابيك في غرفة صفك مصنوعة من زجاج غير الصودا الذي يحتوي 70% سيليكا (SiO_2) و 11% صودا (Na_2O) و 9% غير غير مطفأ (CaO).

بعد الكربون، يعتبر السيليكون من أخف العناصر التي تكون أربع روابط كيميائية تساهمية. هذه الخاصية تجعل منه شبه موصل للتيار الكهربائي. جميع الادوات الإلكترونية تعتمد على السيليكون من بينها الحاسوب والهاتف المحمول وأجهزة التحكم في محرك السيارة والراديو .



الشكل 3-1 مواد مصنوعة من البلاتين.

يمتلك مكعبٌ حجمه 1cm^3 من الرصاص، كتلةً مقدارها 11.3 g ، في الوقت الذي يمتلك فيه حجم مساوٍ له من البلاتين كتلةً مقدارها 21.5 g . لذا، فإن البلاتين أكثر كثافة من الرصاص. إنه فلز فضي اللون غالى الثمن، ولهذا، فإنه يستخدم في صناعة المجوهرات. فلز البلاتين ذو قيمة عالية في الصناعة لأنّه ثابت وحامض كيميائياً. الأسطح النشطة الموجودة في المحول المحفز المستخدم في السيارات الحديثة مصنوعة من السيراميك المطلّ بالبلاتين؛ وتُستخدم أنواع الطلاء الرقيقة من البلاتين في داخل فوهات محركات الطائرات وفي حواف شفرات الحلاقة.

الجدول الدوري الحديث

يرتب الجدول الدوري العناصر بحسب تدرج متكرر بالخصائص الكيميائية. يبين الشكل (4-1) تدرج نصف قطر الذري للعناصر الـ (54) الأولى في الجدول الدوري. يتناقص نصف قطر الذري عبر الدورة بالإتجاه من اليسار إلى اليمين ويتزايد خلال المجموعة بالإتجاه من أعلى إلى أسفل.

نصف القطر الذري للعناصر 54 الأولى

العدد الذري

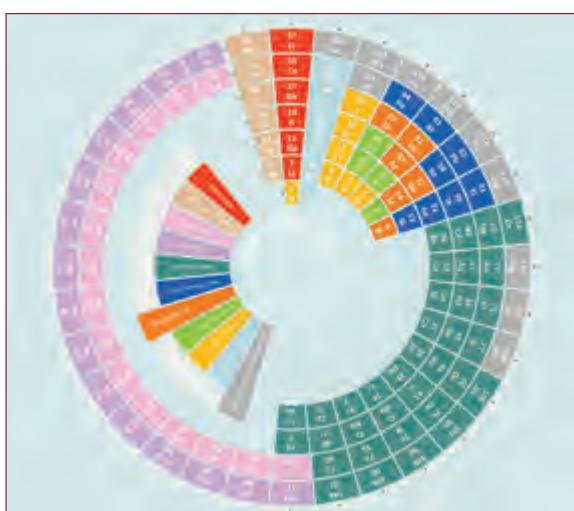
نصف قطر ذري ($\times 10^{-12} \text{ m}$)

1	H	2	He								
53	.	32	.								
3	Li	4	Be								
167	112	87	67								
11	Na	12	Mg								
190	145	118	111								
19	K	20	Ca								
243	194	184	176								
37	Rb	38	Sr								
265	219	212	206								
21	Sc	22	Ti								
171	166	176	171								
40	Y	41	Zr								
198	190	206	198								
42	Mo	43	Tc								
183	190	183	190								
44	Ru	45	Rh								
178	173	178	173								
46	Pd	47	Ag								
169	165	169	165								
48	Cd	49	In								
161	156	156	145								
50	Sn	51	Sb								
145	133	133	123								
52	Te	53	I								
123	115	115	108								
5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne
87	67	56	48	42	38	38	38	38	38	38	
13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar
118	111	98	88	79	71	71	71	71	71	71	
31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
136	125	114	103	94	88	88	88	88	88	88	

الشكل 4-1 التدرج في قيم أنصاف الأقطار الذرية للعناصر الـ(54) الأولى في الجدول الدوري.

عبر دورات الجدول الدوري تقل قيم نصف القطر الذري تدريجياً من اليسار إلى اليمين بزيادة العدد الذري بسبب زيادة الشحنة الموجبة للنواة مع ثبات عدد مستويات الطاقة الرئيسية مما يزيد من قوة جذب النواة للإلكترونات الخارجية. وخلال المجموعات من أعلى لأسفل تزداد قيم نصف القطر الذري بسبب زيادة عدد مستويات الطاقة الرئيسية وبالتالي تضعف قوة جذب النواة للإلكترونات الخارجية.

هناك خصائص أخرى لها سلوكاً مماثلاً مثل طاقة التأين والسلبية الكهربائية والميل الإلكتروني. فما هي هذه الخصائص؟ وكيف تغير خلال الجدول الدوري؟



الشكل 5-1 حدول دوري دائري الشكل.

الجدول الدوري الحديث مقنع ومفيد للغاية، إلا أن هناك تصاميم أخرى، مثل التصميم الدائري (الشكل 5-1)، والتصميم ذي الأبعاد الثلاثة، تم إنشاؤها لتوضيح العلاقات المميزة بين العناصر على النحو الأفضل.

توضیح: لاحظ موقع عنصر الصوديوم على الددول الدوريّ.

طاقة التأين الأولى

طاقة التأين الأولى (IE_1) هي الطاقة اللازمة لتنزع الإلكترون الأقل ارتباطاً من ذرة مفردة متعادلة الشحنة وهي في الحالة الغازية.

طاقة التأين الأولى هي الطاقة اللازمة لتنزع الإلكترون الأقل ارتباطاً من الذرة المفردة في حالتها الغازية.

طاقة التأين الأولى هي إحدى الخصائص الذرية التي تُظهر تدرجات متوقعة، سواء عبر الدورات أو خلال المجموعات في الجدول الدوري (الشكل 1-6)؛ ويعبر عن قيم طاقات التأين في العادة بوحدة الكيلوجول لكل مول من الذرات (kJ/mol).

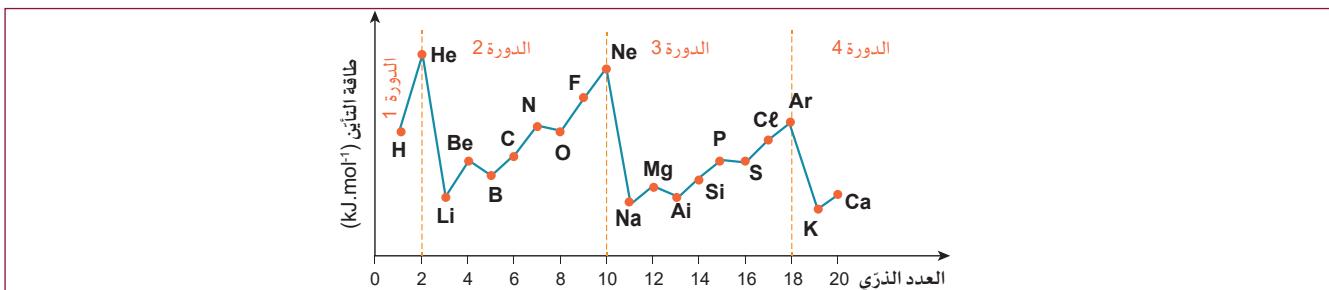
تُمثل معادلة التأين الأولى لأي عنصر (X)، يمتلك طاقة تأين مقدارها (E) كالتالي :



العوامل التي تؤثر في طاقة التأين:

1. **نصف القطر الذري** : بزيادة عدد مستويات الطاقة الرئيسية (زيادة نصف القطر الذري)، تقل قوة جذب النواة لـلإلكترونات التكافؤ فيسهل فصلها وتقل قيمة طاقة التأين الأولى.
2. **الشحنة النووية الفعالة**: كلما ازداد عدد البروتونات ازدادت معه قوة جذب النواة لـلإلكترونات التكافؤ، ويصبح فصلها أصعب، فتزيد طاقة التأين الأولى .
3. **الإلكترونات الحاجبة**: بزيادة عدد مستويات الطاقة الرئيسية الممتلئة بالإلكترونات بين النواة والإلكترونات التكافؤ يزداد تأثير الحجب، فتقل قوة جذب النواة لـلإلكترونات التكافؤ، فتقل قيمة طاقة التأين الأولى.
4. **التأثيرات الكمية**: الإلكترونات التي تملأ فلغاً مكتملاً تحتاج إلى مزيد من الطاقة لتنزعها، أما الإلكترونات المنفردة الموجودة في الفلك فتحتاج إلى طاقة أقل لتنزعها.

بشكل عام، تزداد طاقة التأين كلما اتجهنا من اليسار إلى اليمين عبر الدورة بسبب زيادة قوة جذب النواة لـلإلكترونات الخارجية مما يؤدي إلى نقص نصف القطر الذري فيصعب فصلها.



الشكل 1-6 طاقات التأين الأولى لعناصر الدورات 1 و 2 و 3 و 4.

قارن بين طاقات التأين لكل من: **Br, Kr, K**.



برأيك، كيف يمكن أن تتم المقارنة بين طاقات التأين لكل من K, Br, Kr؟

تابع - طاقة التأين الأولى

الجدول 1-1 طاقات التأين الأولى لعناصر المجموعة الثانية (IIA).

طاقة التأين الأولى (kJ/mol)	عناصر المجموعة الثانية (IIA)
899	Be
738	Mg
590	Ca
549	Sr
503	Ba

تناقص طاقة التأين الأولى بالاتجاه من أعلى إلى أسفل خلال المجموعة الواحدة في الجدول الدوري، حيث يوضح الجدول 1-1 هذا التدرج عبر المجموعة الثانية (IIA). وذلك للعاملين الآتيين:

1. تزداد أنصاف الأقطار الذرية بازدياد عدد مستويات الطاقة الرئيسية المشغولة بالإلكترونات. وهذا يضع الإلكترونات الخارجية أبعد عن النواة فتقل قوّة التجاذب بينها وبين النواة.

2. هنالك المزيد من الإلكترونات الحاجبة التي تقع بين الإلكترونات الخارجية والنواة (يزداد تأثير الجذب).

تناقص طاقة التأين بشكل عام بالاتجاه من الأعلى إلى الأسفل خلال المجموعة، مع تزايد نصف القطر الذري وزيادة تأثير الجذب.



الاستثناءات في التدرج الدوري لطاقة التأين الأولى

على الرغم من وضوح وجود التدرج لطاقات التأين الأولى عبر المجموعة والدورة، إلا أن هنالك بعض الاستثناءات بين المجموعتين الثانية والثالثة IIIA وVA، وبين المجموعتين الخامسة والسادسة VIA وVIIA.

طاقات التأين لعناصر الدورة الثانية مدرجة في الجدول 1-2.

الجدول 2-1 طاقات التأين الأولى لعناصر الدورة الثانية.

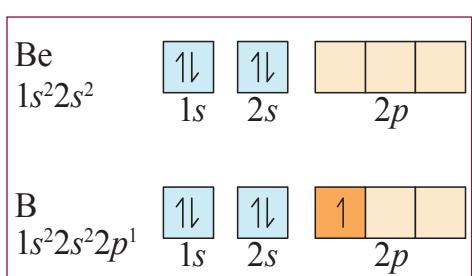
عناصر الدورة 2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
طاقة التأين الأولى (kJ/mol)	520	899	801	1,086	1,402	1,314	1,681	2,081

هل يوجد استثناء مشابه في الدورة الثالثة؟ ماذا عن الدورة الرابعة؟



عنصر البورون (B) لديه نصف قطر (85 pm) أصغر من نصف قطر عنصر البريليوم (Be) (112 pm)، ولدى عنصر البورون شحنة نووية (+5) أكبر من الشحنة النووية للبريليوم (+4). لذا، فإننا نتوقع أن يمتلك عنصر البورون طاقة تأين أولى أكبر من طاقة التأين الأولى لعنصر البريليوم.

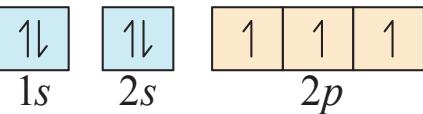
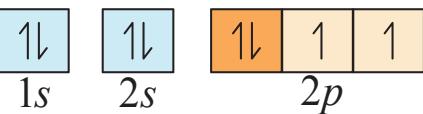
مع ذلك، فإن طاقة التأين الأولى للبورون هي أقل من طاقة التأين الأولى للبريليوم، لأن البورون لديه إلكترون إضافي في المستوى الفرعى (2p) الأبعد نسبياً عن النواة. أمّا البريليوم فلديه إلكترون تكافؤ في المستوى الفرعى (2s) الممتلىء بالإلكترونات، مما يعطي العنصر استقراراً أكثر. لهذا، فإن ازدياد الجذب من قبل الإلكترونات الموجودة في المستويين الفرععيين (1s و 2s) يقلل الجذب بالنسبة إلى إلكترون موجود في المستوى الفرعى (2p).



الشكل 7-1 التوزيع الإلكتروني لعناصر البورون والبريليوم.

تابع - طاقة التأين الأولى

لوحظ استثناء آخر بين طاقتي التأين الأولى لكلّ من النيتروجين (1,402 kJ/mol) والأكسجين (1,314 kJ/mol) فاستناداً إلى قيم نصف القطر الذري والشحنة النووية، يمكننا أن نتوقع أنَّ الأكسجين يمتلك طاقة تأين أولى أكبر من النيتروجين؛ ولكنَّ هذا ليس صحيحاً، بل هو استثناء، سببه الكيفية التي ترتبّت بها الإلكترونات الخارجية في أفلاك (2p). لذا، فإنَّك تلاحظ في الشكل 1-8 أنَّ الإلكترون الإضافي الموجود في

N	$1s^2 2s^2 2p^3$	
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	

الأكسجين يقترن بالإلكترون المنفرد الموجود في فلك (2p) الأول ليشكّل زوجاً من الإلكترونات.

إن اقتران إلكترون بآخر وتشكيله زوجاً من الإلكترونات ينتجان تنافراً بين الإلكترونين في الفلك الواحد، وهذا التنافر يقلّل من الطاقة اللازمة لنزع الإلكترون. لهذا، فإنَّ الأكسجين يمتلك طاقة تأين أولى أقلَّ من تلك التي يمتلكها النيتروجين (المستوى الفرعي (p) الممتد نصفه بالإلكترونات هو أكثر استقراراً).

الدرجات في طاقات التأين الثانية والتي تليها

طاقة التأين الثانية (IE_2) هي الطاقة اللازمة لنزع الإلكترون الأقلَّ ارتباطاً من الأيون الذي يحمل الشحنة +1 عندما يكون في حالته الغازية؛ ويحدث هذا بعد أن يتم نزع الإلكترون الأول بالفعل.

تمثّل معادلة التأين الثانية لأيون (X^+) لديه طاقة تأين ثانية (IE_2) كالتالي:



يحتوي الجدول 1-3 على قيم طاقات التأين المتتالية لعناصر الدورة الثالثة.

الجدول 1-3: قيم طاقات التأين المتتالية لعناصر الدورة الثالثة بوحدة kJ/mol.

IE	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
IE_1	496	738	578	787	1,012	1,000	1,251	1,520
IE_2	4,562	1,451	1,817	1,577	1,903	2,251	2,297	2,665
IE_3	6,912	7,733	2,745	3,231	2,912	3,361	3,822	3,931
IE_4	9,543	10,540	11,575	4,356	4,956	4,564	5,158	5,770
IE_5	13,353	13,630	14,830	16,091	6,273	7,013	6,540	7,238
IE_6	16,610	17,995	18,376	19,784	22,233	8,495	9,458	8,781
IE_7	20,114	21,703	23,293	23,783	25,397	27,106	11,020	11,995

هل يمكنك استنتاج
التوزيع الإلكتروني
لكلّ عنصر من
العناصر الموجودة
في جدول طاقات
التأين؟



لاحظ الدرجات الرئيسية الآتية:

- عندما يتم نزع الإلكترونات المتتالية من حول النواة لنفس العنصر، تزداد طاقة التأين. لذلك، فإنَّ كل طاقة تأين تالية تكون أكبر من التي قبلها.

$$IE_1 < IE_2 < IE_3 < IE_4 < IE_5 < IE_6 < IE_7$$

- تحدُّث قفزة كبيرة لقيمة طاقة التأين عندما يتم نزع إلكترون داخليٍّ (ليس إلكترون تكافؤ) من مستوى طاقة رئيس داخليٍّ.

الميل الإلكتروني

الميل الإلكتروني (EA) هو كمية الطاقة المُنطلقة أو المُمتصّحة (التغيير في الطاقة) عندما يتم إضافة إلكترون إلى ذرة متعادلة كهربائياً وهي في الحالة الغازية لتكوين أيون سالب.

الميل الإلكتروني هو التغيير في الطاقة الذي يحدث عندما تكتسب ذرة أو أيون في الحالة الغازية إلكتروناً.



يتم تمثيل الميل الإلكتروني للعنصر X كما يأتي:



الجدول 4-1 قيم الميل الإلكتروني لبعض العناصر المختارة
بوحدة kJ/mol

إنَّ قيم الميل الإلكتروني السالبة شائعة، وتمثل نظاماً يُطلق طاقة؛ ويبين الجدول 4-1 قيم الميل الإلكتروني لبعض العناصر المختارة.

1A		8A						
H	-73	2A	3A	4A	5A	6A	7A	He >0
Li	-60	Be >0	B -27	C -122	N >0	O -141	F -328	Ne >0
Na	-53	Mg >0	Al -43	Si -134	P -72	S -200	Cl -349	Ar >0
K	-48	Ca -2	Ga -30	Ge -119	As -78	Se -195	Br -325	Kr >0
Rb	-47	Sr -5	In -30	Sn -107	Sb -103	Te -190	I -295	Xe >0

لا يوجد تدرج منتظم خلال المجموعة في قيم الميل الإلكتروني، لأن الطاقة المصاحبة لكتسِّ إلكترون واحد تعتمد بشكل كبير على تفاصيل التركيب الإلكتروني؛ في الغالب، تصبح قيمة الميل الإلكتروني سالبة بشكل أكبر عند

الاتجاه من اليسار إلى اليمين عبر الدورة، إلا أنَّ هنالك الكثير من الاستثناءات.

على سبيل المثال، إنَّ قيمة الميل الإلكتروني في الدورة الثانية ذات قيمة سالبة أكبر عند التحرك من الليثيوم إلى الفلور، إلا أنَّ البريليوم والنيتروجين كليهما يمتلكان قيمة ميل إلكتروني موجبة، لأنَّ عنصر Be يمتلك

توزيعاً إلكترونياً ممتهناً وأكثر استقراراً لإلكترونات التكافؤ هو $(2s^2)$. وأي إلكترون إضافي يجب أن يتوجه إلى المستوى الفرعى $(2p)$ الفارغ، ويحتاج هذا إلى طاقة إضافية. أمّا عنصر النيتروجين، فيمتلك توزيعاً إلكترونياً نصف ممتهناً وأكثر استقراراً لإلكترونات التكافؤ هو $2s^2p^3$ الذي يحتوي على (3) إلكترونات غير مرتبطة، وموجودة في أفلاك (p) مع إضافة إلكترون رابع إلى فلك (p) سيحتاج إلى طاقة، إنَّ هذا الإلكترون سيتعرّض لقوّة تنافر كبيرة من قبل الإلكترونات الثلاثة الأخرى غير المرتبطة والموجودة في أفلاك (p) (الشكل 9-1).

Be^-	$1s^2 2s^2 2p^1$										
	<table border="1"> <tr> <td>$1\downarrow$</td> <td>$1\downarrow$</td> <td>$1\uparrow$</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1s</td> <td>2s</td> <td>2p</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	$1\downarrow$	$1\downarrow$	$1\uparrow$			1s	2s	2p		
$1\downarrow$	$1\downarrow$	$1\uparrow$									
1s	2s	2p									

N^-	$1s^2 2s^2 2p^4$										
	<table border="1"> <tr> <td>$1\downarrow$</td> <td>$1\downarrow$</td> <td>$1\uparrow$</td> <td>$1\uparrow$</td> <td>$1\uparrow$</td> </tr> <tr> <td>1s</td> <td>2s</td> <td>2p</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	$1\downarrow$	$1\downarrow$	$1\uparrow$	$1\uparrow$	$1\uparrow$	1s	2s	2p		
$1\downarrow$	$1\downarrow$	$1\uparrow$	$1\uparrow$	$1\uparrow$							
1s	2s	2p									

الشكل 9-1 التوزيع الإلكتروني لأيون Be^- ، وأيون N^- .

أيُّ غاز نبيل يجب أن يمتلك أكبر قيمة طاقة ميل إلكتروني موجبة؟ ولماذا؟

للمزيد: استخدم قيم الميل الإلكتروني من مجموعات أخرى.

من المعروف أنَّ قِيم الميل الإلكتروني للغازات النبيلة (عناصر المجموعة الثامنة VIIIA) جميعها موجبة. وإنَّ إضافة أي إلكترون إلى أيّة ذرة غاز نبيل تضع ذلك الإلكترون في مستوى طاقة رئيس جديد غير مشغول بالإلكترونات، وهذا يحتاج إلى طاقة.

السالبيّة الـكـهـرـيـائـيـّـة

السالبية الكهربائية **Electronegativity** هي القدرة النسبية للذرة على جذب الإلكترونات الموجودة في الرابطة الكيميائية. وقد طور العالم لويس بولينج (1901-1994م) هذا المقياس، فعين بشكل عشوائي الذرة التي لها القدرة الأكبر على جذب الإلكترونات، وهي ذرة الفلور، والتي تمتلك سالبية كهربائية مقدارها (4.0) تقريباً، أما قيم السالبية الكهربائية للذرات الأخرى جميعها، فقد تم ترتيبها وفقاً لذلك (الجدول 1-5)، بالإضافة إلى أنَّ السالبية الكهربائية ليس لها وحدة قياس.

السالبية الكهربائية هي مقياس قدرة الذرة على جذب الإلكترونات الموجودة في الرابطة الكيميائية.



الجدول 5-1 قيم السالبية الكهربائية.

1 H 2.20	العدد الذري ————— 24 المسالبية الكهربائية ————— Cr 1.66												2 He				
3 Li 0.98	4 Be 1.57	5 B 2.04	6 C 2.55	7 N 3.04	8 O 3.44	9 F 3.98	10 Ne										
11 Na 0.93	12 Mg 1.31	13 Al 1.61	14 Si 1.90	15 P 2.19	16 S 2.58	17 Cl 3.16	18 Ar										
19 K 0.82	20 Ca 1.00	21 Sc 1.36	22 Ti 1.54	23 V 1.63	24 Cr 1.66	25 Mn 1.55	26 Fe 1.83	27 Co 1.88	28 Ni 1.91	29 Cu 1.90	30 Zn 1.65	31 Ga 1.81	32 Ge 2.01	33 As 2.18	34 Se 2.55	35 Br 2.96	36 Kr 3.00
37 Rb 0.82	38 Sr 0.95	39 Y 1.22	40 Zr 1.33	41 Nb 1.6	42 Mo 2.16	43 Tc 1.9	44 Ru 2.2	45 Rh 2.28	46 Pd 2.20	47 Ag 1.93	48 Cd 1.69	49 In 1.78	50 Sn 1.96	51 Sb 2.05	52 Te 2.1	53 I 2.66	54 Xe 2.60

يتناصف التدرج في قيم السالبيّة الكهربائيّة عبر الدورات والمجموعات في الجدول الدوريّ عكسياً مع التغييرات في أنصاف القطر الذريّة. بشكل عام، عند الإتجاه من اليسار إلى اليمين عبر الدورة في الجدول الدوريّ، بسبب زيادة العدد الذريّ، تزداد الشحنة الموجبة للنواة، والتي تعمل على زيادة قوى الجذب ونقص نصف القطر الذريّ فتزيد قدرة الذرة على جذب إلكترونات التكافؤ فتزداد السالبيّة الكهربائيّة.

تزداد السالبية الكهربائية بشكل عام من اليسار إلى اليمين عبر الدورة في الجدول الدوري.



بالإتجاه خلال المجموعة من الأعلى إلى الأسفل في الجدول الدوري، يزداد عدد مستويات الطاقة الرئيسية، والذي يؤدي إلى زيادة الحجم الذري وزيادة تأثير حجب الإلكترونات ونقص قوّة جذب النواة، فتقلّ قدرة الذرة على جذب الكترونات التكافؤ وتقلّ قيم السالبية الكهربائية.

تناقض السالبية الكهربائية بشكل عام من الأعلى إلى الأسفل خلال المجموعة في الحدول الدورى.



لا تميل الغازات النبيلة إلى جذب الإلكترونات. ولهذا السبب، فإن بعضها لا يمتلك سالبية كهربائية. ولكن، قد تكون بعض ذرات الغازات النبيلة ذات الحجم الكبير روابط تساهمية في ظروف خاصة ومحددة، مثل الكربون والزنون. لذا، فإن من المحتمل أن نحدد قيمة السالبية الكهربائية لهذه العناصر.

مثال 1

باستخدام الجدول الدوري فقط، أيٌ من البريليوم (Be) أو السترونشيوم (Sr) يمكن أن يمتلك طاقة التأين الأولى الأعلى؟

الحل

- يقع البريليوم والسترونشيوم كلاهما في المجموعة نفسها.
- تناقص طاقة التأين بشكل عام بالإتجاه خلال المجموعة من الأعلى إلى الأسفل بسبب زيادة عدد مستويات الطاقة ليزداد نصف القطر الذري ويزداد تأثير الحجب وتقلّ قوّة جذب النواة لإلكترونات التكافؤ، فيسهل فصلها.
- نتوقع أن يمتلك البريليوم طاقة التأين الأولى الأعلى، لأنّه موجود في موقع أعلى من السترونشيوم في المجموعة.

مثال 2

باستخدام الجدول الدوري فقط، أيٌ من البريليوم (Be) أو الأكسجين (O) يمكن أن يمتلك قيمة الميل الإلكتروني السالبة الأكبر؟

الحل

- يقع البريليوم والأكسجين كلاهما في الدورة نفسها.
- تصبح قيمة الميل الإلكتروني بشكل عام ذات قيمة سالبة أكبر، لأن العدد الذري للأكسجين أكبر، فتزداد قوى جذب النواة ويقلّ نصف القطر الذري، ما يزيد جذب النواة للإلكترون المضاف أكثر من البريليوم.
- نتوقع أن يمتلك الأكسجين قيمة الميل الإلكتروني الأكبر، لأنّه موجود في موقع أبعد إلى اليمين من البريليوم في الدورة.

مثال 3

باستخدام الجدول الدوري فقط، أيٌ من الفوسفور (P) والأنتيمون (Sb) يمكن أن يمتلك السالبية الكهربائية الأعلى؟

الحل

- يقع الفوسفور والأنتيمون كلاهما في المجموعة نفسها.
- تناقص السالبية الكهربائية بشكل عام بالإتجاه خلال المجموعة من الأعلى إلى الأسفل بسبب زيادة عدد مستويات الطاقة الرئيسية، والتي تؤدي إلى زيادة الحجم الذري مع نقص قوّة الجذب للنواة، فتقلّ قدرة الذرة على جذب إلكترونات التكافؤ.
- نتوقع أن يمتلك الفوسفور السالبية الكهربائية الأعلى لأنّه موجود في موقع أعلى من الأنتمون في المجموعة.



التدريج في طاقة التأين والميل الإلكتروني والسلبية الكهربائية

1-1

سؤال الاستقصاء

هل يمكن استنتاج التدرجات في طاقة التأين والميل الإلكتروني والسلبية الكهربائية وهل يمكن تفسيرها من البيانات؟

المواد المطلوبة

جدال ببيانات، ورقة رسم بياني.

الخطوات

1. باستخدام قيم طاقة التأين الأولى الموجودة لديك في الجدولين: 1-1 و 1-2، أنشئ الرسم البياني لطاقة التأين الأولى (IE_1) في مقابل العدد الذري لعناصر الدورة الثانية. انشئ رسمًا بيانيًا ثانياً لطاقة التأين الأولى (IE_1) في مقابل العدد الذري لعناصر المجموعة الثانية (IIA) من الجدول الدوري.
2. اذكر التدرجات في طاقة التأين لكل رسم بياني عندما يزداد العدد الذري.
3. باستخدام قيم طاقة التأين المتتالية الموجودة في الجدول 1-3، ارسم رسمًا بيانيًا يوضح التغير في طاقة التأين في مقابل عدد الإلكترونات الممتدة من عنصر الألومنيوم.
4. اكتب توزيع أوفباو الإلكتروني للألومنيوم، وفسّر القفزة الكبيرة في طاقة التأين عندما يتم نزع الإلكترون الرابع.
5. باستخدام جدول بيانات قيم الميل الإلكتروني لعناصر الدورة الرابعة الموجود لديك، ارسم رسمًا بيانيًا يوضح التغير في الميل الإلكتروني في مقابل العدد الذري، وحدد التدرج العام لهذه القيم.
6. باستخدام جدول بيانات قيم السلبية الكهربائية لعناصر المجموعة السابعة (VIIA) الموجود لديك، ارسم رسمًا بيانيًا يوضح التغير في السلبية الكهربائية في مقابل العدد الذري، وحدد التدرج العام لهذه القيم وفسّرها من حيث نصف قطر الذري.

الأسئلة

- a. اكتب توزيعات أوفباو الإلكتروني لعناصر الدورة الثانية المستخدمة في الرسم البياني الأول، واذكر كيف يتغير عدد مستويات الطاقة الرئيسية المشغولة بالإلكترونات، وكيف يتغير عدد الإلكترونات الحاجبة، وكيف تتغير الشحنة النووية. ثم اذكر كيف يتغير نصف قطر الذري. فسّر التدرج في قيم طاقة التأين الأولى عبر الدورة من حيث نصف قطر الذري.
- b. كرر ما قمت به في السؤال a، لعناصر المجموعة الثانية (IIA).
- c. أُعطيت طاقات التأين المتتالية لعنصر ما (من IE_1 إلى IE_5) بوحدة kJ/mol ، على النحو الآتي: 738 و 1,451 و 7,733 و 10,543 و 13,630. اكتب التوزيع الإلكتروني لمستوى الطاقة الأخير لهذا العنصر.
- d. فسّر سبب امتلاك عنصر المغنيسيوم (Mg) قيمة ميل إلكتروني ذات قيمة موجبة أكثر من عنصر الصوديوم (Na).
- e. قارن بين الميل الإلكتروني والسلبية الكهربائية.

1-1 تقويم الدرس

1. أيٌ من قيم طاقة التأين الأولى الآتية هي الأكثُر احتمالاً لعنصر السيليكون، عندما تكون طاقة التأين الأولى لعنصر الفوسفور تساوي $1,012 \text{ kJ/mol}$ ؟

- 495 kJ/mol .a
- 786 kJ/mol .b
- 1,001 kJ/mol .c
- 1,251 kJ/mol .d

2. أيٌ من المعادلات الآتية تمثل المعادلة التي تصف طاقة التأين الأولى لذرّة الكالسيوم؟

- $\text{Ca}_{(s)} \rightarrow \text{Ca}^+_{(s)} + e^-$.a
- $\text{Ca}_{(g)} \rightarrow \text{Ca}^+_{(g)} + e^-$.b
- $\text{Ca}_{(s)} + e^- \rightarrow \text{Ca}^+_{(s)}$.c
- $\text{Ca}_{(g)} + e^- \rightarrow \text{Ca}^+_{(g)}$.d

3. بشكل عام، ما الذي يحدث لقيم طاقات التأين بالإتجاه خلال المجموعة من الأعلى إلى الأسفل، وعبر الدورة من اليسار إلى اليمين في الجدول الدوري على التوالي؟

- .a. تزداد، تزداد
- .b. تزداد، تتناقص
- .c. تتناقص، تزداد
- .d. تتناقص، تتناقص

4. ما هو التدرج العام لقيم الميل الإلكتروني عبر الدورة من اليسار إلى اليمين في الجدول الدوري؟

- .a. تصبح القيم ذات قيمة سالبة أكبر.
- .b. تصبح القيم ذات قيمة موجبة أكبر.
- .c. تبقى القيم ثابتة.
- .d. ليس هناك أي تدرج عام.

5. لماذا يمتلك النيتروجين قيمة ميل إلكتروني ذات قيمة موجبة أكبر بشكل ملحوظ من الكربون؟

- .a. لأن الإلكترون المضاد سيزدوج مع إلكترون آخر في فلك.
- .b. لأن الإلكترون المضاد سيوضع في مستوى طاقة رئيس غير مشغول بأي إلكترونات من قبل.
- .c. لأن الإلكترون المضاد سيوضع في فلك غير مشغول بأي إلكترونات من قبل.
- .d. لأن النيتروجين يمتلك نصف قطر ذري أصغر من نصف القطر الذري للكربون.

6. بشكل عام، لماذا تزداد السالبية الكهربائية عبر الدورة من اليسار إلى اليمين في الجدول الدوري؟

الدرس 2-1

الكيمياء الوصفية لعناصر المجموعة الرابعة (14) IVA

Descriptive Chemistry of the Group IVA (14) Elements

a		6 C carbon
b		14 Si silicon
c		32 Ge germanium
d		50 Sn tin
e		82 Pb lead
		114 Fl flerovium

الشكل 10-1 (a) الكربون مثل الجرافيت، (b) السيليكون، (c) герمانيوم، (d) القصدير، (e) الرصاص.

- تناقض الخصائص اللافلزية وازدياد الخصائص الفلزية.

بالإضافة إلى كل ما سبق، يكون التركيب الإلكتروني الخارجي العام لعناصر هذه المجموعة هو: $.ns^2np^2$.

المفردات



Amphoteric

أمفوتييرية (متعددة)

يُشار أحياناً إلى عناصر المجموعة الرابعة (IVA) باسم مجموعة الكربون. وهذه العناصر مرتبة وفق تزايد عددها الذري كالتالي:

- الكربون (C)
- السيليكون (Si)
- الجرمانيوم (Ge)
- القصدير (Sn)
- الرصاص (Pb)
- عنصر الفليروفيوم (Fl) هو عنصر صناعي مشع من صنع الإنسان، وفترة نصف العمر له قصيرة.

يُبيّن الشكل 10-1 عينات لمعظم هذه العناصر. تُظهر عناصر هذه المجموعة عند الاتجاه إلى أسفلها الخصائص الآتية:

- زيادة نصف قطر الذري
- تناقض طاقة التأين

مخرجات التعلم

C1201.3 يلخص التدرج ويشرّحه في الخصائص الآتية بالاتجاه إلى أسفل المجموعة الرابعة (IVA): درجة الانصهار، والتوصيل الكهربائي للعناصر، الطبيعة الحمضية - القاعدية، والاستقرار الحراري للأكاسيد.



كيف تبدو عناصر المجموعة الرابعة (IVA)؟

هل نستخدم هذه العناصر في صورتها النقيّة؟

ما أنواع الخصائص التي يمكننا قياسها؟



الشكل 1-11 هذه المنتجات الأربعية يتكون كل منها من عنصر نقي، وجميعها تنتمي إلى المجموعة الرابعة (IVA).

1. الكربون: يستخدم الكربون النقي في شكل الجرافيت لأغراض متعددة: يستخدم مسحوق الجرافيت كمادة تشحيم جافة. أمّا فراشي الجرافيت فتُستخدم في المحرّكات الكهربائية لانخفاض عامل احتكاكها وتوصيلها الكهربائي. أمّا أقلام الجرافيت فيستخدمها الفنانون للرسم.



الشكل 1-12 تكون الرمال في الغالب من السيليكون والأكسجين.

2. السيليكون: هو أحد العناصر الأكثر وفرة في القشرة الأرضية، وفي دولة قطر أيضًا. فالرمل هو في الغالب ثاني أكسيد السيليكون Silicon dioxide . والسيليكون من أشباه الموصلات. يصنع النقي من السيليكون في صورة بلورات كبيرة تقطع إلى شرائح رقيقة وتُستخدم في صناعة الإلكترونيات. يطبع على هذه الشرائح دوائر كهربائية، لإنتاج أجهزة كمبيوتر ومكونات إلكترونية أخرى.

3. القصدير: القصدير النقي هو عنصر لين فضي اللون يسهل ثنيه. والقصدير موصل جيد للكهرباء، ودرجة انصهاره منخفضة تبلغ 232°C . إن لحام القصدير المستخدم في تجميع المكونات الإلكترونية هو إماً قصدير نقي، وإماً خليط (سبائك) من القصدير والرصاص أو عناصر أخرى.

4. الرصاص: كان معروفاً عند الشعوب القديمة لسهولة استخراجه من خاماته. والرصاص لين وسهل التشكيل. وقد استخدم الرومان الرصاص لصناعة أنابيب المياه وكؤوس الشراب. ويأتي الرمز (Pb) من الكلمة اللاتينية «*Plumbum*»، وهو يعني «الفضة السائلة». ولا يزال الرصاص النقي مستخدماً حتى يومنا هذا لمنع تسرب المياه إلى المباني وفي الثقالة التي يستخدمها الصيادون. والرصاص شديد السمية ويتسبب في تلف الدماغ لدى الأطفال، وقد يسمم البالغين أيضًا.

تدرج قيم درجات الانصهار

الجدول 6-1 درجة انصهار عناصر المجموعة الرابعة (IVA).

درجة الانصهار (°C)	العنصر
>3,000	الكريون (الجرافيت والماس)
1,414	السيليكون
938	الجرمانيوم
232	القصدير
327	الرصاص



الشكل 13-1 سكب الرصاص المنصهر.

يُبيّن الجدول 6-1 درجات انصهار عناصر المجموعة الرابعة (IVA). تتناقص درجات الانصهار بشكل عام مع ازدياد العدد الذري عند الاتجاه من أعلى إلى أسفل المجموعة. يُعزى هذا الاتجاه جزئياً إلى زيادة نصف قطر الذري، فعندما تصبح الذرات أكبر، تضعف الروابط الفلزية أو التساهمية بين الذرات. والقصدير والرصاص هما استثناء.

على الرغم من أن نصف قطر ذرات الرصاص أكبر من نصف قطر ذرات القصدير، إلا أن درجة انصهار القصدير أقل من درجة انصهار الرصاص. ويعزى ذلك إلى تشوه الهيكل البلوري للقصدير، ما يتطلّب طاقة أقل لكسر الروابط الفلزية بين ذرات القصدير، ما يسمح للقصدير بالانصهار عند درجة حرارة أقل من الرصاص.

درجة انصهار السبائك



يوضح الجدول 6-1 درجات انصهار القصدير والرصاص النقي. ويتكوّن معظم اللحام الصناعي من خليط (سبائك) من القصدير 60% والرصاص 40%. كيف تقارن بين درجة انصهار السبائك ودرجة انصهار العناصر النقيّة؟

يُبيّن الشكل 14-1 طريقة بسيطة لإجراء قياس تقريريّ لدرجة الانصهار. وتظهر النتائج حقيقة مدهشة، فقد تبلغ درجة انصهار خليط القصدير والرصاص 185°C تقريباً وهذا أقل بكثير من درجة انصهار أيّ من العناصر النقيّة. فكيف تشرح هذه الظاهرة؟



الشكل 14-1 يستخدم جهاز قياس درجة الحرارة بالأشعة تحت الحمراء لقياس درجة الانصهار.

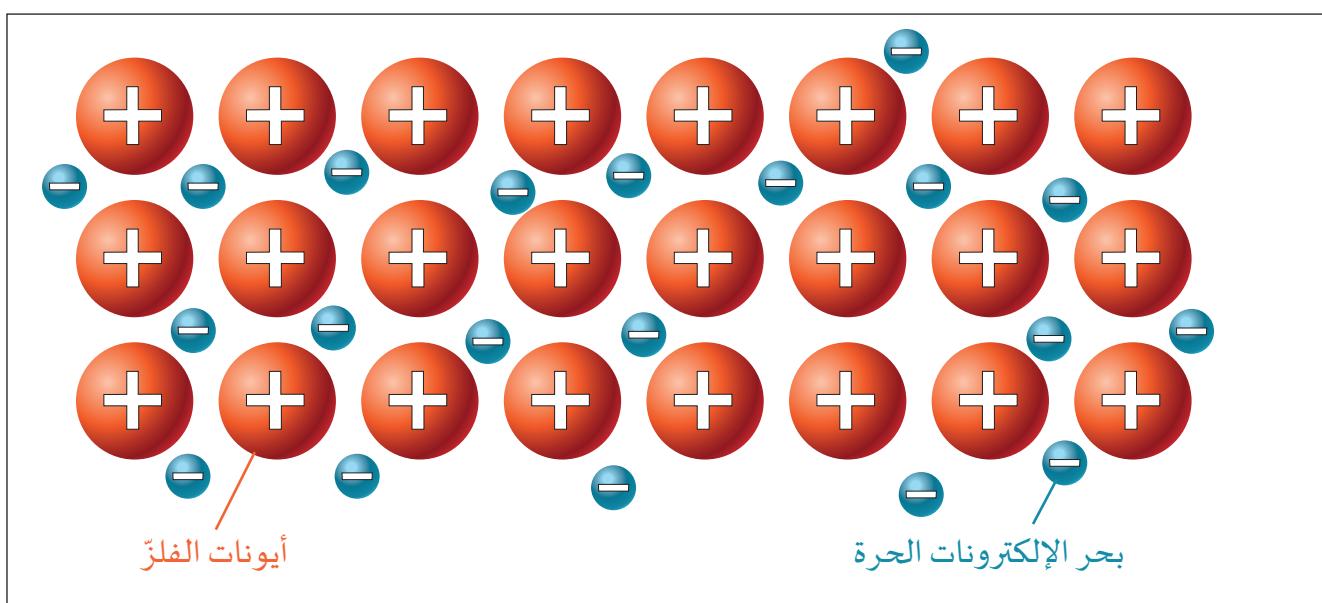
تدرج التوصيل الكهربائي

الجدول 7-1 التوصيل الكهربائي لعناصر المجموعة الرابعة (IVA).

	التوصيل الكهربائي	العنصر
لا فلز	موصل جيد	C (الجرافيت)
لا فلز	غير موصل	C (الماس)
شبه فلز	شبه موصل	Si
شبه فلز	شبه موصل	Ge
فلز	موصل جيد	Sn
فلز	موصل جيد	Pb

يُبيّن الجدول 7-1 التوصيل الكهربائي لعناصر المجموعة الرابعة (IVA). باستثناء الشكل التأصلي للكربون الجرافيت؛ يتبع التوصيل الكهربائي التدرج من الخصائص اللافلزية إلى الفلزية عند الاتجاه إلى أسفل المجموعة. ويعزى التوصيل الكهربائي للجرافيت إلى إلكترونات حرة الحركة حول كل ذرة كربون غير موجودة في روابط الهيكل البلوري للماس (شكل تأصيلي آخر للكربون). ومن المتوقع أن يكون عنصراً القصدير والرصاص موصلين جيدين للكهرباء كونهما فلزين.

لاتنس أن الفلزات تُعد موصلة جيدة للكهرباء نظراً إلى طبيعة الروابط الفلزية. تمثل الفلزات إلى أن تكون ذات سالبية كهربائية وطاقة تأين منخفضتين. لذلك، تكون الإلكترونات التكافؤ حول ذرات الفلزات حرة الحركة يمكن إزالتها بسهولة. تنتقل الإلكترونات التكافؤ ذات الارتباط الضعيف هذه من ذرة فلزية إلى ذرة فلزية أخرى، بطريقة ترابط بها كل ذرات الفلز في الشبكة البلورية. لذا، يمنح هذا «البحر» من الإلكترونات المتنقلة، الشكل 15-1، الفلزات القدرة على توصيل الكهرباء بصورة جيدة.



الشكل 15-1 «بحر» من الإلكترونات الحرة أو المتنقلة التي تعطي الفلزات القدرة على توصيل الكهرباء.

تفاعلات الحمض - القاعدة لأكسيد الكربون والسيليكون

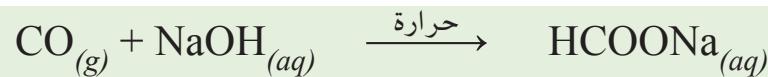
تدرج خصائص أكسيد عناصر المجموعة الرابعة (IVA) عند الاتجاه إلى أسفل المجموعة من الحمضية إلى **الأمفوتيرية (متعددة)**.

الأمفوتيرية صفة تعطى للمادة التي يمكنها أن تتفاعل كحمض أو قاعدة.

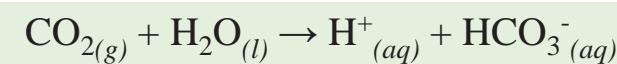


تمتلك معظم هذه العناصر حالات أكسدة (+2) و(+4). ونتيجة لذلك، يمكنها تكوين أول أكسيد (XO) وثاني أكسيد (XO₂). تختلف الأكسيد وثاني الأكسيد. لذا، ستتم معالجتها بصورة منفصلة.

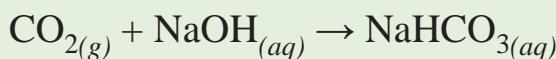
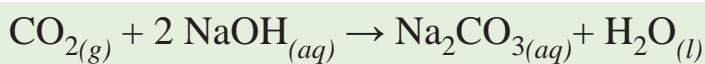
الكربون: أول أكسيد الكربون غير قابل للذوبان بشكل ملحوظ في الماء، ولكنّه يتفاعل مع محلول مرگز من هيدروكسيد الصوديوم لإنتاج محلول ملحيٍّ من ميثانوات الصوديوم Sodium methanoate. وبذلك، يكون أول أكسيد الكربون في هذا التفاعل حمضاً ضعيفاً.



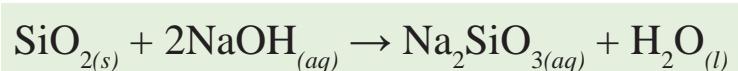
اما ثانى أكسيد الكربون فهو قابل للذوبان في الماء، يتفاعل مع الماء لإنتاج المياه الغازية الشائعة وتسماى «حمض الكربونيک».



يتفاعل ثانى أكسيد الكربون أيضاً مع الهيدروكسيدات مثل هيدروكسيد الصوديوم لتكون الكربونات والماء أو الكربونات الهيدروجينية (بيكربونات) اعتماداً على نسب المواد المتفاعلة:



السيليكون: لا يكون السيليكون في العادة أول أكسيد، لكن ثانى أكسيده (الكوارتز) يسلك كحمض ضعيف عندما يتفاعل مع هيدروكسيد الصوديوم المرگز لتكون محلول سيليكات الصوديوم Sodium silicate.



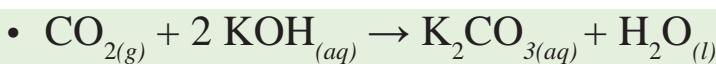
مثال 4



اكتب المعادلات الكيميائية الموزونة التي تصف تفاعل غاز ثانى أكسيد الكربون مع محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH).

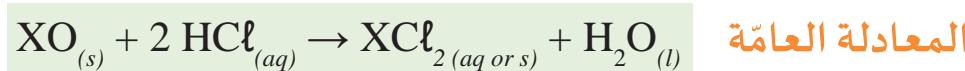
الحل

- يتفاعل غاز ثانى أكسيد الكربون مع محلول هيدروكسيد البوتاسيوم لتكون كربونات البوتاسيوم والماء أو كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية (بيكربونات البوتاسيوم). وازن المعادلة بعد كتابة المتفاعلات والنواتج.

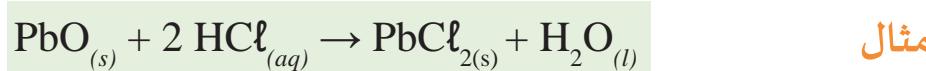


تفاعلات أكسيد الجermanيوم والقصدير والرصاص كقواعد

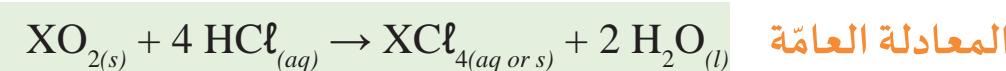
تُعدّ أكسيد وثاني أكسيد الجermanيوم والقصدير والرصاص أكسيد أمفوتيبيّة. تميل هذه الأكسيد إلى امتلاك طبيعة قاعدية عندما تتفاعل مع الأحماض، مثل حمض الهيدروكلوريك لتكوين الملح والماء. واعتماداً على الفلز، يمكن أن يكون الملح قابلاً للذوبان أو غير قابل للذوبان في الماء.



يتفاعل أكسيد الرصاص (II) مع حمض الهيدروكلوريك لإنتاج كلوريد الرصاص (II) والماء. وأكسيد الرصاص (II) يستخدم على نطاق واسع في صناعة الزجاج المحتوي على الرصاص.

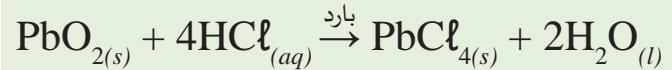


تظهر الطبيعة القاعدية لثاني أكسيد الجermanيوم والرصاص والقصدير، عند التفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المركز، حيث تنتج ملحًا عدد تأكسد الفلز فيه (+4):



على سبيل المثال، فإنّ أكسيد الرصاص (IV) يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك لإنتاج كلوريد الرصاص (IV) والماء. يستخدم كلوريد الرصاص (IV) في صناعة الزجاج الشفاف الحاصل للأشعة تحت الحمراء.

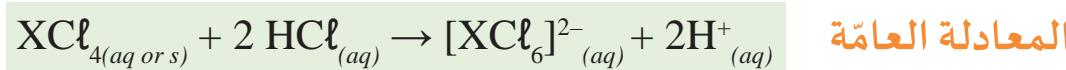
هناك مساران لتفاعل أكسيد الرصاص (IV)، وذلك يرجع إلى برودة الحمض أو سخونته. فإذا كان الحمض عند درجة حرارة الغرفة يتكون كلوريد الرصاص (IV) والماء، كما تبيّن المعادلة الكيميائية الآتية:



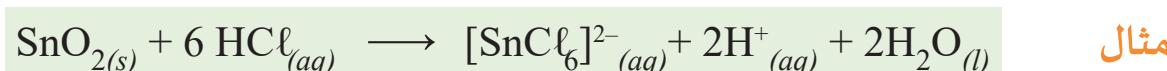
أما إذا كان الحمض ساخناً، فإنّ كلوريد الرصاص (IV) يتحلل إلى كلوريد الرصاص (II) وغاز الكلور، بالإضافة إلى وجود الماء، كما تبيّن المعادلة الكيميائية الآتية:



وإذا ترك كلوريد الفلز (IV) الناتج بالاستمرار في التفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المركز، فإنّ الملح المؤكسد بالكامل سيتفاعل لتكوين أيون مركب معقد قابل للذوبان في الماء:

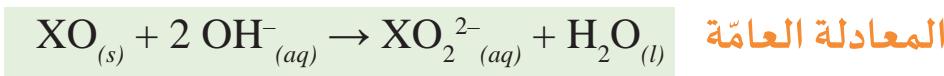


على سبيل المثال، فإنّ أكسيد القصدير (IV) يتفاعل مع كمية فائضة من حمض الهيدروكلوريك المركز لإنتاج سداسي كلورو ستانات (IV) الهيدروجين (IV) $\text{H}_2[\text{SnCl}_6]$ hydrogen hexachlorostannate IV وأيونات $\text{H}_2[\text{SnCl}_6]^{2-}$ والماء، حيث يتفكّك هذا المركب إلى أيونات H^+ وأيونات $\text{[SnCl}_6]^{2-}$.

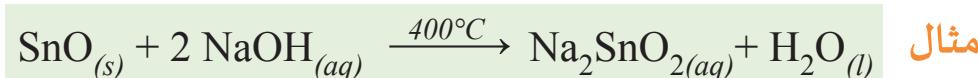


تفاعلات أكسيد الجermanيوم والقصدير والرصاص كأحماض

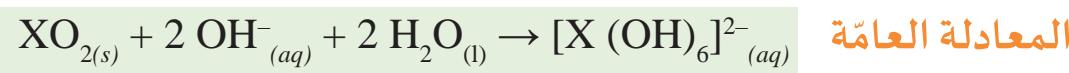
تمتلك أكسيد الجermanيوم والقصدير والرصاص طبيعة حمضية عندما تتفاعل مع معظم الهيدروكسيدات، حيث تنتج هذه التفاعلات أيوناً متعدد الذرات مع الفلز في حالة تأكسد (+2). ويكون الماء ناتجاً ثانوياً:



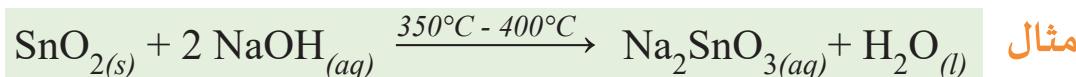
على سبيل المثال، فإنّ أكسيد القصدير (II) يتفاعل مع هيدروكسيد الصوديوم لينتاج ستانات (II) الصوديوم والماء. ويطلب هذا التفاعل طاقة حرارية للحدوث، أي عند درجة حرارة 400°C تقريباً:



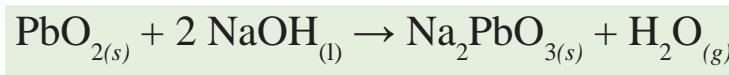
لإظهار الطبيعة الحمضية لثاني أكسيد هذه الفلزات، يجب أن تتفاعل مع محلول هيدروكسيد الصوديوم الساخن. وينتج هذا التفاعل أيوناً مركباً معقداً قابلاً للذوبان في الماء:



على سبيل المثال، فإنّ أكسيد القصدير (IV) يتفاعل مع محلول هيدروكسيد الصوديوم الساخن لإنتاج ستانات (IV) الصوديوم والماء. يحدث هذا التفاعل عند درجة حرارة 350-400 درجة مئوية:



هناك استثناءات: أكسيد الرصاص (IV) لا يتفاعل بصورة جيدة مع محلول هيدروكسيد الصوديوم، ويحتاج إلى مصهور هيدروكسيد الصوديوم ليُحدث تفاعلاً ملمساً. في حالة عدم وجود الماء، سيحدث تفاعل مختلف، كما تبيّن المعادلة الآتية:



مثال 5

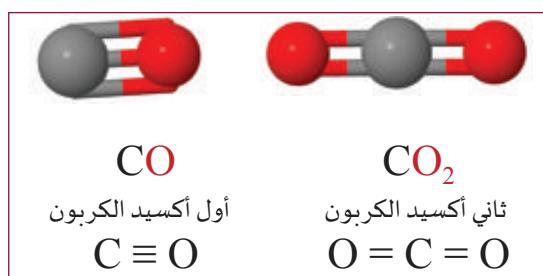


كلوري드 القصدير (II) عبارة عن مادة صلبة بلورية بيضاء، صيغتها الجزيئية SnCl_2 ، وهي قابلة للذوبان، ويستخدم في الطلاء الكهربائي لعلب الفولاذ المعروفة بعلب «القصدير». ما هو الأكسيد الذي يتفاعل مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl لإنتاج SnCl_2 ؟

الحل

حالة تأكسد القصدير في SnCl_2 هي (+2). لذلك، يجب أن تكون حالة تأكسد القصدير في أكسيداته أيضًا (+2). وعلى ذلك، فإن الصيغة الجزيئية لأكسيد القصدير هي SnO .

الاستقرار الحراري للأكاسيد



الشكل 16-1 أول وثاني أكسيد الكربون.



الشكل 17-1 ثاني أكسيد السيليكون، (SiO_2) .
كبلورات كوارتز.

العامة لمثل هذه المواد الصلبة هي أن درجة انصهارها عالية جدًا، حيث ينصهر أول أكسيد وثاني أكسيد السيليكون عند $1703^{\circ}C$ و $1713^{\circ}C$ على التوالي.

3. **الجرمانيوم:** لا يُعرف الكثير عن أول أكسيد الجermanيوم، على الرغم من أنه قد يتكون من تسخين ثاني أكسيد الجermanيوم، وهو مادة صلبة. ويمكننا أيضًا أن نستنتج من درجة انصهارها عند $1115^{\circ}C$ أنها تمتلك خصائص أيونية.

4. **القصدير:** أكسيد القصدير، والمعروف باسم أكسيد القصدير(II)، مادة صلبة سوداء تبلغ درجة انصهارها $1080^{\circ}C$. أمّا أكسيد القصدير (IV) فهو عبارة عن مادة صلبة بيضاء تبلغ درجة انصهارها $1630^{\circ}C$.

5. **الرصاص:** أكسيد الرصاص (II)، الشكل 18-1، مادة صلبة يتراوح لونها بين الأحمر الفاتح والأصفر الفاتح تبلغ درجة انصهارها $888^{\circ}C$. أما ثاني أكسيد الرصاص (IV)، الشكل 19-1، فهو عبارة عن مادة صلبة بنية داكنة للغاية تبلغ درجة انصهارها $290^{\circ}C$ فقط. وتشير درجة الانصهار المنخفضة إلى أن أكسيد الرصاص (II) حيث يكون عدد تأكسد الرصاص فيه (+2) أكثر استقرارًا من ثاني أكسيد الرصاص (IV) حيث يكون عدد تأكسد الرصاص فيه (+4). ولذلك، فإن ثاني أكسيد الرصاص PbO_2 يتحوّل عند تسخينه إلى أكسيد الرصاص (II).



الشكل 19-1 ثاني أكسيد الرصاص (IV).



الشكل 18-1 أكسيد الرصاص (II).



عناصر المجموعة الرابعة (IVA): الخصائص والاتجاهات

2-1

سؤال الاستقصاء

هل توجد اتجاهات دورية في الخصائص الكيميائية والفيزيائية لعناصر

المجموعة الرابعة (IVA)؟

المواد المطلوبة

برنامج الرسوم البيانية، الاتصال بشبكة الإنترنت.

خطوات إجراء النشاط



1. ابحث في درجات انصهار عناصر المجموعة الرابعة (IVA) وضعها في رسم بياني. ثم اشرح اتجاهات التدرج لدرجة انصهار هذه العناصر، من حيث أنواع الروابط الموجودة بين الذرات.
2. ابحث وصنف التوصيل الكهربائي لعناصر المجموعة الرابعة (IVA) في كونها: موصلات جيدة وأشباه موصلات وموصلات ضعيفة. اشرح سبب تصنيف العناصر إلى هذه المجموعات باستخدام أنواع الروابط بين الذرات.
3. ابحث وصنف سلوك أكسيد المجموعة الرابعة (IVA) من حيث كونها حمضية أو قاعدية. اكتب معادلات كيميائية لوصف السلوك المحدد واشرح هذا السلوك من حيث منح أو استقبال البروتونات.
4. ابحث في درجات انصهار أول أكسيد (XO) عناصر المجموعة الرابعة (IVA) وضعها في رسم بياني. هل يوجد هناك أي اتجاه؟ اشرح درجات الانصهار من حيث الروابط أو قوى الجذب المسؤولة عن تكوين الحالات الصلبة لهذه المركبات.
5. ابحث في درجات انصهار ثاني أكسيد (XO_2) عناصر المجموعة الرابعة (IVA) وارسمها بيانيًا. هل يوجد هناك أي اتجاه؟ اشرح درجات الانصهار من حيث الروابط أو قوى الجذب المسؤولة عن تكوين الحالات الصلبة لهذه المركبات.
6. وقّع المصادر التي حصلت منها على جميع المعلومات، واذكر روابط الويب كاملة إذا تم الحصول على المعلومات عبر الإنترنت.

أسئلة / ملخص

- a. أيٌ من الخصائص التي تم البحث عنها، إن وجدت، تُظهر اتجاهات واضحة لعناصر المجموعة الرابعة (IVA)؟
- b. أيٌ من الخصائص التي تم البحث عنها، إن وجدت، لا تُظهر اتجاهات واضحة لعناصر المجموعة الرابعة (IVA)؟
- c. ما الخصائص الكيميائية أو الفيزيائية الخمس الأخرى التي يمكن أن تُجري البحث عنها في ما يتعلّق بعناصر المجموعة الرابعة (IVA)؟

تقويم الدرس 1-2 ✓

1. عند الانتقال من أعلى المجموعة الرابعة (IVA) إلى أسفلها، ماذا يحدث عموماً في ما يتعلّق بدرجات انصهار هذه العناصر؟

- a. تتناقص درجات الانصهار بصورة عامة.
- b. تزداد درجات الانصهار بصورة عامة.
- c. تبقى درجات الانصهار ثابتة بصورة عامة.
- d. لا يوجد اتجاه عام لدرجات الانصهار.

2. أيّة مجموعة من عناصر المجموعة الرابعة (IVA) الآتية موصلة جيّدة للكهرباء؟

- a. C (الماس)، Pb ، Si
- b. C (الجرافيت)، Pb، Sn
- c. C (الجرافيت)، Pb (الماس)
- d. C (الجرافيت)، Sn (الماس)

3. ما معنى مصطلح الأمفوتيّرية (متردّدة)؟ AIT

- a. أن يكون قاعديّاً
- b. أن يكون حمضيّاً
- c. له طبيعة حمضيّة وأخرى قاعديّة
- d. ليس له طبيعة حمضيّة أو قاعديّة

4. أيّ من المركّبات الآتية يتكون عندما يتفاعل (PbO) مع حمض الهيدروكلوريك (HCl)؟

- a. PbCl_2
- b. PbCl_4
- c. $\text{Pb}(\text{OH})_2$
- d. $\text{Pb}(\text{OH})_4$

5. ما الأيون المركّب المعقد الذي يتكون إذا ترك (GeO₂) في كمية فائضة من حمض الهيدروكلوريك (HCl) المركز؟ EB

- a. $[\text{GeCl}_4]^{2-}$
- b. $[\text{GeCl}_6]^{2-}$
- c. $[\text{GeCl}_4]^{2+}$
- d. $[\text{GeCl}_6]^{2+}$

6. ما حالات التأكسد الأكثر شيوعاً التي تكونها عناصر المجموعة الرابعة (IVA)؟

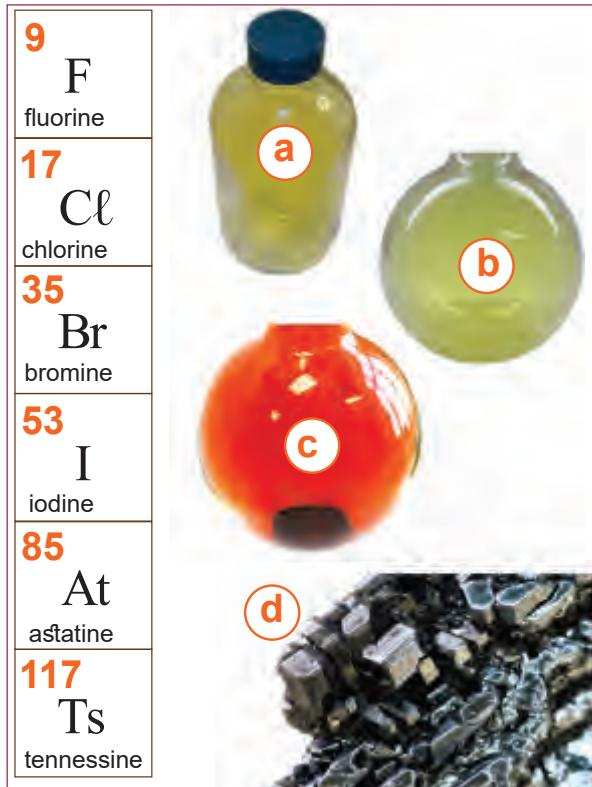
7. أيّ من أكسيدات عناصر المجموعة الرابعة (IVA) ليس مادة صلبة؟

8. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة، مع رموز الحالة، التي تصف تفاعل أكسيد القصدير (II) مع أيونات الهيدروكسيد (OH^-). EB

$$\text{SnO}_{(s)} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Sn(OH)}_{(aq)}$$

الدرس 3-1

الكيمياء الوصفية لعناصر المجموعة السابعة (17) VIIA Descriptive Chemistry of the Group VIIA (17) Elements



الشكل 20-1 (a) غاز الفلور، (b) غاز الكلور، (c) البروم في هيئة S سائل وبخار، (d) بلورات اليود.

تُسمى عناصر المجموعة السابعة (VIIA) مجموعة **الهالوجينات Halogens** (انظر الشكل 20-1)،

وإليك عناصر هذه المجموعة مرتبة بحسب تزايد عددها الذري:

- الفلور (F)
- الكلور (Cl)
- البروم (Br)
- اليود (I)
- الأستاتين (At) (مادة مشعة)
- التينيسين (Tennessine (Ts)) (مادة مشعة)

عند الانتقال في المجموعة السابعة (VIIA) من الأعلى إلى الأسفل في الجدول الدوري، يزداد نصف القطر الذري للذرّات، وتقل طاقة تأييدها. تقع الهالوجينات إلى أقصى يمين الجدول الدوري، لذلك، فإنّها جميعاً لافلزات، وتمتلك جميعها التوزيع الإلكتروني $.ns^2np^5$.

المفردات



Halogens

الهالوجينات

Oxidizing agent

العامل المؤكسد

مخرجات التّعلم

C1201.4 يلخّص التدرج ويشرحه في الخصائص الآتية أسفل المجموعة السابعة (VIIA):

- الخصائص الفيزيائية.
- نشاط العناصر كعوامل مؤكسدة.
- الاستقرار الحراري للهيدريدات أو هاليديات الهيدروجين.
- تفاعل أيونات الهاليد مع محلول نترات الفضة متبوءة بإضافة محلول الأمونيا.

ما الخصائص المميزة لعناصر المجموعة السابعة (VIIA)؟



هل يمكنك تسمية استخدامين في حياتك اليومية للفلور؟

هل يمكنك تسمية استخدامين في حياتك اليومية للكلور أو اليود؟



الشكل 1-21 منتجات تحتوي على الفلور أو الكلور أو اليود.

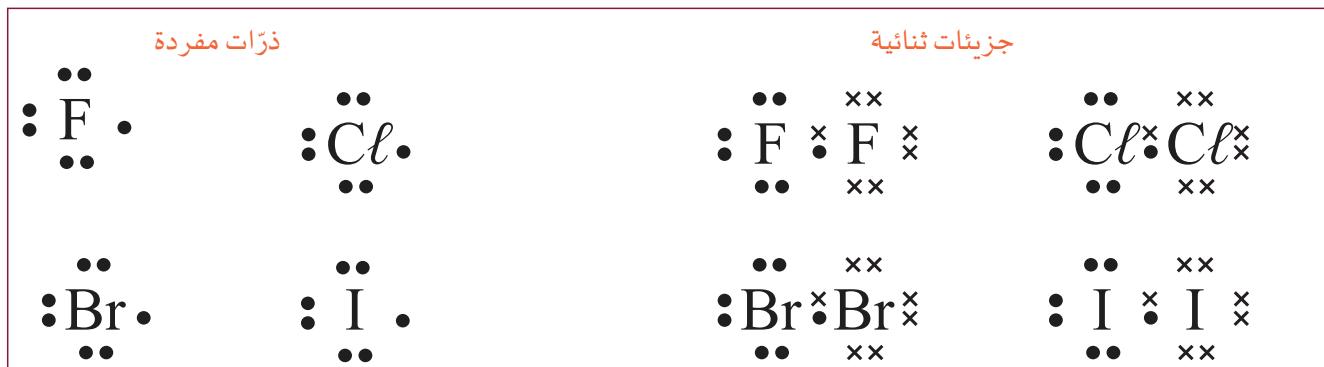
جميع العناصر النقيّة الموجودة في المجموعة السابعة (VIIA)، والتي يُطلق عليها **الهالوجينات** **Halogens**، تُعدُّ مواداً ساماً، ونشطة كيميائياً، وخطرة في الوقت نفسه. أمّا عندما تكون في هيئة مركبات، فإنّها تكون في غاية الأهمية لحياتنا. ربّما يكون لديك تعامل مباشر مع ثلاثة منها على الأقلّ يومياً: إنّ مركب فلوريد الصوديوم (NaF) الموجود في معجون الأسنان يساعد على منع تسوس الأسنان. أمّا مركب هيبيوكلورايت الصوديوم (NaClO) الموجود في مبيّض الملابس، فإنه يؤكسد البقع ويجعل الملابس نظيفة وناصعة. ويُعدُّ اليود الموجود في الملح من المعادن الرئيسيّة والضروريّة لجسمك.

الجدول 1-8 حالات عناصر المجموعة السابعة (VIIA)، وخصائص مختارة لها.

النشاط الكيميائي	فلز أو لافلز	حالة التأكسد (الشانعة) (المتحمّلة)	درجة الغليان (°C)	درجة الانصهار (°C)	التصنيف
فائق النشاط، مسبب للتآكل	لافلز قوي جدًا	-1	-188	- 219	غاز سام أصفر اللون، يمتلك السالبية الكهربائية الأعلى F_2 الفلور
نشاط مرتفع جدًا مسبب للتآكل	لافلز قوي	-1 +1, +3, +5, +7	-34	- 101	غاز أصفر - محضر سام Cl_2 الكلور
نشاط جيد جدًا مسبب للتآكل	لافلز	-1 +1, +5,	60	- 7	سائل أحمر - بيّن كثيف Br_2 البروم
نشاط جيد	لافلز	-1 +1, +5, +7	185	114	صلب أسود - رمادي له مظهر الفلز I_2 اليود
*	*	*	*	*	عنصر مشع طبيعي نادر الوجود At_2 الأستاتين
*	*	*	*	*	عنصر مشع صناعي فترة نصف العمر له قصيرة Ts_2 التينيسين

الهالوجينات كعناصر نقيّة

توجد الهالوجينات طبيعياً في هيئة جزيئات ثنائية. الفلور (F_2) والكلور (Cl_2) هما غازان عند درجة حرارة الغرفة. أما البروم (Br_2) فهو سائل، واليود (I_2) صلب. يبيّن الشكل 22 تمثيل لويس النقطي لهذه الجزيئات الثنائية.



الشكل 22-1 تمثيل لويس النقطي لذرات وجزيئات الهالوجين.

يُلاحظ أن البروم واليود كليهما يمتلكان ضغطاً بخارياً مرتفعاً جداً نتيجة وجود هذه المواد كجزيئات غير قطبية ثنائية النزرة ولضعف قوى الترابط بين جزيئاتها.

العبارة التي تحتوي على البروم السائل ستبدو دائماً ممتلئة تقريباً، لأن أبخرة البروم ستملأ الفراغ وتترکز فوق سطح البروم السائل، حيث يتكون البخار السام في هيئة غاز بني داكن يملأ العبارة بأكملها.



الشكل 23-1 عملية تسامي اليود.

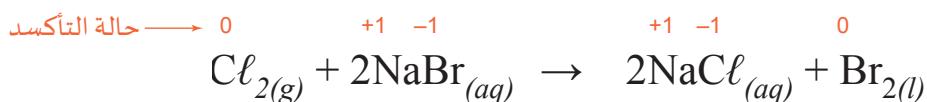
يبيّن الشكل 23-1 تجربة يتم فيها تسخين عينة من بلورات اليود بلطف باستخدام موقد كحولي، فيغطى الدورق الذي يحتوي على اليود بصحن زجاجي شفاف يحتوي على ثلج وماء. وعندما ترتفع درجة حرارة البلورات، سيُلاحظ ارتفاع بخار جميل بنفسجي غامق اللون يصدر عن بلورات اليود؛ إلا أن هذا البخار سام، ويجبأخذ الحيطة والحذر لئلا يتسرّب أيّ من هذا البخار من وعاء التجربة. لذلك، فإن تنفيذ هذه التجربة يتم في داخل خزانة الأبخرة.

لدى تسخين دورق بداخله بلورات يود، يوضع ثلج على الصحن الزجاجي الذي يغطيه، كما هو مبيّن في الشكل 23-1 فسر الهدف من ذلك.



تدرج نشاط العناصر بوصفها عوامل مؤكسدة

العامل المؤكسد Oxidizing agent هو المادة التي تجذب الإلكترونات بعيداً عن مادة أخرى وتؤكسدها. العامل المؤكسد يكسب الإلكترونات فيختزل. ويبين الشكل 24-1 مثلاً على عملية تأكسد بروميد الصوديوم بوساطة الكلور، تتغير حالة تأكسد الكلور من (0) إلى (-1)، لأنَّ الكلور يجذب نحوه إلكترونًا من أيون البروميد في تفاعل الإحلال الآتي:



الشكل 24-1 التفاعل الذي يؤكسد فيه الكلور أيون البروميد.

تجذب العناصر التي تمتلك سالبية كهربائية عالية الإلكترونات بقوة في الرابطة الكيميائية، لذلك، فهي عوامل مؤكسدة جيدة. تمتلك عناصر المجموعة السابعة (VIIA) سالبية كهربائية هي الأعلى، لذلك، فهي عوامل مؤكسدة قوية.

كما هو مبين في الجدول 9-1، تدرج قوة العامل المؤكسد لعناصر المجموعة السابعة (VIIA) بتناسب طردي مع السالبية الكهربائية، وتناسب عكسي مع نصف قطر الذري.

الجدول 9-1 قوة عناصر المجموعة السابعة (VIIA) بوصفها عاملًا مؤكسداً.

العنصر	العامل المؤكسد	السالبية الكهربائية	نصف قطر الذري (pm)
الفلور	الأقوى	4.0	72
الكلور		3.0	99
البروم		2.8	114
اليود	الأضعف	2.5	133

مثال 6



استناداً إلى الجدول الدوري فقط، أيٌ من عناصر المجموعة السابعة (VIIA) سوف يؤكسد أيون اليوديد، ولا يؤكسد أيون الكلوري؟

الحل

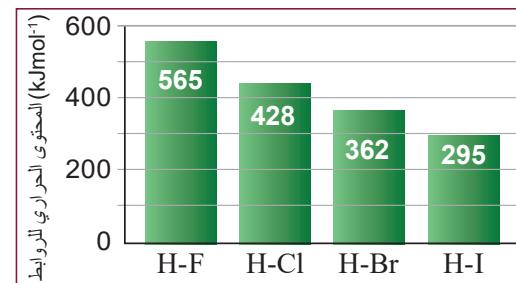
- عناصر المجموعة السابعة (VIIA) التي تقع جميعها فوق عنصر اليود هي عبارة عن عوامل مؤكسدة أقوى من اليود، وهي: الفلور، والكلور، والبروم.
- عناصر المجموعة السابعة (VIIA) التي تقع جميعها تحت الكلور هي عبارة عن عوامل مؤكسدة أضعف من الكلور، وهي: البروم، واليود.
- لذا، فالجواب هو البروم.

الاستقرار الحراري للهاليدات

- الهاليدات مركبات ثنائية يكون أحد العناصر فيها هو أيون هالوجين (هاليد).
- الهاليدات من أهم الأملاح، مثل كلوريد الصوديوم (NaCl) ويوديد البوتاسيوم (KI) وفلوريد المغنيسيوم (MgF_2).
- هاليدات الفلزات تتضمن شحنات أيونات مختلفة مثل كلوريد الحديد (II) ($FeCl_2$) وكlorيد الحديد (III) ($FeCl_3$) وكلوريد النحاس (I) ($CuCl$) وكلوريد النحاس (II) ($CuCl_2$).
- الهاليدات العضوية التي تضم مركبات الكلورو فلورو كربون، مثل تلك التي تُستخدم كغاز مبرد في التلّاجات، الفريون (CCl_2F_2) وهاليدات الألكيل، مثل كلوريد الميثيلين (CH_2Cl_2).
- مركبات هاليدات الهيدروجين هي مركبات تساهمية قطبية. H_3O^+ لها درجة انصهار منخفضة جدًا، وجميعها مركبات غازية عند درجة حرارة الغرفة. (الجدول 10-1).
- المحتوى الحراري لروابط هذه المركبات يتناقص بالإتجاه خلال المجموعة من أعلى إلى أسفل (الشكل 1-25) وبالتالي تضعف الرابطة (H-X) ويقل الثبات والاستقرار الحراري لمركب هاليدات الهيدروجين.

الجدول 10-1 درجات انصهار هاليدات الهيدروجين.

المُركب	درجة الانصهار (°C)	المُركب	درجة الانصهار (°C)
HF	-84	HBr	-87
HCl	-114	HI	-51



الشكل 25-1 المحتوى الحراري لروابط المكونة لمركب هاليدات الهيدروجين

- مركبات هاليدات الهيدروجين قابلة للذوبان بالماء لتشكل محليل حمضية. هذه المحاليل هي احماض قوية حيث تزداد قوتها بالأتجاه لأسفل المجموعة نتيجة تفككها في الماء ضعف الرابطة H-X وزيادة طولها لتنتج أيونات الهيدروجين H^+ .
- الطريقة المثلث لتحضير هاليدات الهيدروجين هي عن طريق تفاعل حمض الكبريتيك مع ملح هاليدات الصوديوم على سبيل المثال يحضر كلوريد الهيدروجين من خلال تفاعل حمض الكبريتيك مع كلوريد الصوديوم كما هو مبين بالمعادلة الكيميائية الآتية :



- مركبات هاليدات الفلزات جميعها تكون بلورات أيونية مستقرة لذلك نجد درجة انصهار هذه المركبات عالية نسبياً.

مثال 7



كيف يكون يوديد الهيدروجين HI أقل ثباتاً واستقراراً حرارياً من كلوريد الهيدروجين HCl ؟

الحل

- الرابطة بين الهيدروجين وأيون اليوديد أكثر طولاً وأضعف من الرابطة بين ذرة الهيدروجين وأيون الكلوريد. لذلك يحتاج يوديد الهيدروجين إلى طاقة أقل لكي يتفكّك.

الكشف عن أيون الهاليد باستخدام نترات الفضة ومحلول الأمونيا

يمكن الكشف عن وجود أيونات الفلوريد (F^-) وأيونات الكلوريد (Cl^-) وأيونات البروميد (Br^-) وأيونات اليوديد (I^-) باستخدام محليل مائي لنترات الفضة ومحلول الأمونيا: على سبيل المثال، يتفاعل محلول نترات الفضة مع أيونات الكلوريد لتكوين مركب كلوريد الفضة ($AgCl$) غير القابل للذوبان، والذي يظهر في هيئة راسب أبيض اللون.



الجدول 11-1 الرواسب التي تمت ملاحظتها.

الراسب الذي تمت ملاحظته	أيون الهاليد
لا يوجد	الفلوريد (F^-)
أبيض اللون	الكلوريد (Cl^-)
أبيض كريبي	البروميد (Br^-)
أصفر فاتح	اليوديد (I^-)

يصف الجدول 12-1 رواسب مركبات كلوريد الفضة وبروميد الفضة ويوديد الفضة، أما في التطبيق العملي، فسيكون من الصعب تمييزها، لذا، يضاف محلول الأمونيا المخفف إلى هذه الرواسب، فيذوب راسب ($AgCl$) عن طريق تكوين أيون ثنائي أمين الفضة (I) $[Ag(NH_3)_2]^+$ ، أما الراسبان الآخران، وهما ($AgBr$) و(AgI)، فلا يذوبان. أما بإضافة محلول الأمونيا المركّز يذوب ($AgBr$) ولا يذوب الراسب (AgI)، ويبين الجدول 13-1 نتائج هذا الاختبار.

الجدول 12-1 نتائج اختبار محلول الأمونيا.

الراسب	إضافة محلول الأمونيا إلى الراسب المتكوّن
$AgCl$	يذوب لتكوين محلول عديم اللون باستخدام محلول الأمونيا المخفف، يذوب هذا الراسب ليكون محلولاً عديم اللون.
$AgBr$	لم يلاحظ أي تغيير باستخدام محلول الأمونيا المخفف. ولكن هذا الراسب يتفاعل مع محلول الأمونيا المركّز لتكوين محلول عديم اللون.
AgI	لم يلاحظ أي تغيير سواء باستخدام محلول الأمونيا المخفف أو محلول الأمونيا المركّز.

مثال 8



أيّ من أيونات الهاليدات يكون موجوداً في محلول عندما يتكون راسب عن طريق إضافة محلول نترات الفضة، ثم يذوب هذا الراسب عند إضافة محلول الأمونيا المخفف إليه؟

الحل

- تكون أيونات الكلوريد، والبروميد، واليوديد رواسب عندما تتفاعل مع أيونات الفضة.
- سوف يذوب كلوريد الفضة فقط عند إضافة محلول الأمونيا المخفف إليه.
- إنَّ أيونات الكلوريد هي التي كانت موجودة في محلول الأصلي.



عناصر المجموعة السابعة (VIIA): الخصائص والاتجاهات

3-1

هل يمكن الكشف عن محليل أيونات الهايدرات؟	سؤال الاستقصاء
محلول NaCl , NaBr , NaI , محلول نيترات الفضة تركيزه 0.5 M , محلول أمونيا مخفف، ومحلول أمونيا مرکز، أنابيب اختبار، معدّات عملية الترشيح.	المواد المطلوبة

الإجراءات

- ضع في ثلاثة أنابيب اختبار (5 mL) من محلول نترات الفضة، تركيزه (0.5 M). في كل منها أضف (5 mL) من محلول كلوريد الصوديوم، تركيزه (0.5 M)، إلى أحد أنابيب الاختبار و (5 mL) من محلول بروميد الصوديوم، تركيزه (0.5 M), إلى أنبوب آخر، ثم (5 mL) من محلول يوديد الصوديوم، تركيز (0.5 M), إلى آخر أنبوب .
- اجمع الراسب الناتج عن كل أنبوب اختبار باستخدام عملية الترشيج، واغسله جيداً بالماء المقطر أو الماء الخالي من الأيونات.
- نقد هذا الجزء من النشاط في خزانة الأبخرة، بطريقة تجعل الرواسب تتفاعل مع محلول الأمونيا بتركيز (0.5 M), فإذا لم يحدث أي تفاعل مرئي، اجمع الراسب باستخدام عملية الترشيج واغسله مرة أخرى، واجعله يتفاعل مع محلول الأمونيا المرکز.
- دون الملاحظات جميعها.

الأسئلة

- اكتب المعادلات الموزونة لتفاعلات الثلاثة التي نقدّتها في الخطوة (1).
- فسّر الهدف من اختبار إضافة محلول الأمونيا المخفف.
- فسّر الهدف من اختبار إضافة محلول الأمونيا المرکز.
- اكتب المعادلة الموزونة لتفاعل (AgBr) مع الأمونيا، وحدّد بشكل واضح المواد الناتجة القابلة للذوبان والمواد الصلبة.

مشروع بحثي

- ابحث في درجات غليان كل من الفلور والكلور والبروم واليود، وارسمها بيانياً، ثم حدّد طبيعة الحالة (صلبة، سائلة، غازية) التي يوجد فيها كل هالوجين عند درجة حرارة الغرفة. فسّر التدرج في قيم درجات الغليان، والتغيير في الحالات الفيزيائية من حيث القوى النسبية لقوى التجاذب البينية الجزيئية.
- ابحث، وحدّد القدرات النسبية للهالوجينات عندما تتفاعل كعوامل مؤكسدة، ثم فسّر التدرج من حيث نصف القطر الذري والسلبية الكهربائية.
- ابحث، وارسم بيانياً طاقات روابط هاليدات الهيدروجين (HF و HCl و HBr و HI), وفسّر الاستقرار الحراري من حيث طاقات الروابط، واشرح أيضاً التدرج في طاقات الروابط من حيث أطوال الروابط، ثم فسّر التدرج في أطوال الروابط من حيث نصف القطر الذري.

3-1 تقويم الدرس

1. أي عنصرين من عناصر المجموعة السابعة (VIIA) يمكنهما تكوين حالة تأكسد تساوي (+7)؟

- a. اليود، والبروم
- b. اليود، والكلور
- c. الفلور، واليود
- d. البروم، والكلور

2. ماذا يحدث لقدرة عناصر المجموعة السابعة (VIIA) على التفاعل كعوامل مؤكسدة بالإضافة إلى المجموعة من الأعلى إلى الأسفل؟

- c. تبقى ثابتة
- a. تزداد
- d. لا يوجد تدرج واضح
- b. تتناقص

3. ما العامل المؤكسد في المعادلة الكيميائية الآتية؟



- | | |
|-------------------|--------------------|
| KBr .c | KI .a |
| I ₂ .d | Br ₂ .b |

4. أي من عناصر المجموعة السابعة (VIIA) من صنع الإنسان؟

- c. الأستاتين
- a. البروم
- d. التينيسين
- b. الفلور

5. أي من التوزيعات الآتية يمثل التوزيع الإلكتروني للإلكترونات تكافؤ عناصر المجموعة السابعة (VIIA)؟

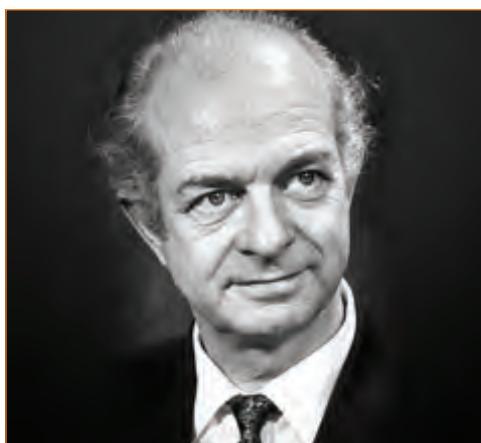
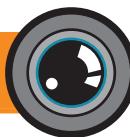
- a. ns¹np⁵
- b. ns¹np⁶
- c. ns²np⁵
- d. ns²(n-1)p⁵

6. أي من الآتي صحيح بالنسبة لهاليدات الهيدروجين؟

- a. تكون معظم هاليدات الهيدروجين محليل غير موصلة للتيار الكهربائي
- c. تكون هاليدات الهيدروجين أحماسًا قوية عند إذابتها بالماء
- b. هاليدات الهيدروجين هي سوائل سامة لدى هاليدات الهيدروجين درجات إنصهار عالية
- d. عند درجة حرارة الغرفة

7. ابحث، وصف بشكل عام، مستخدماً مصطلحات عامة، عمل مركب هيبوكلوريت الصوديوم الموجود في المبيض على إزالة البقع. يجب أن تتضمن إجابتك مخططاً لجزيء صبغة نموذجيّ، والتغيير الذي يحدث.

إضاءة على عالم

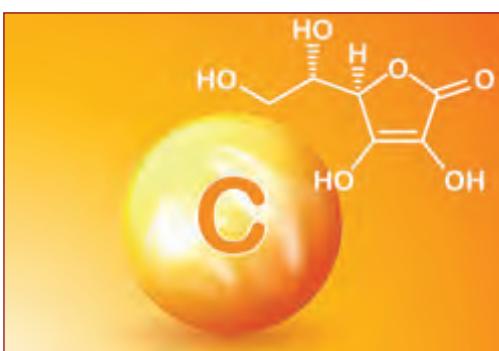


الشكل 1-26 لينوس بولينج.

لينوس بولينج 1901-1994 Linus Pauling

إن الإسهامات التي قدّمها لينوس بولينج إلى العلم والبشرية كانت مذهلة، فقد نشر أكثر من 1000 بحث ومقال، وفاز بجائزة نobel للكيمياء في العام 1954 لعمله على الروابط الكيميائية. لقد أوجد بولينج مقاييس السالبية الكهربائية، وطرح أفكاراً كثيرة وأجرى أبحاثاً في عدّة أمراض، مثل فقر الدم المنجلبي، ورأى أن لها أساساً وراثياً.

دفعت هذه الفكرة كثيراً من العلماء الآخرين إلى البحث عن سبب الأمراض في الجينات البشرية، حتى إنه رأى أنَّ الجينات قد تكون مشفرة على جزيء مزدوج، وكان ذلك قبل 7 سنوات من اكتشاف واتسون وكريك الحمض النووي DNA.

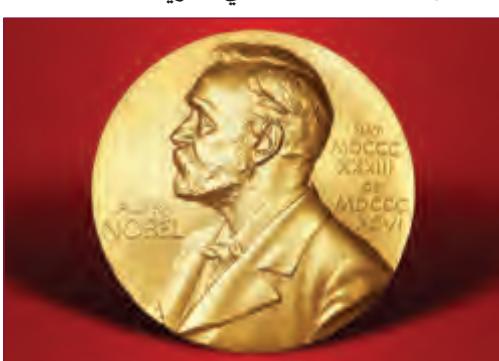


الشكل 1-27 الشكل البنائي لجزيء فيتامين C.

اخترع بولينج مجموعة واسعة من المواد الكيميائية والأجهزة، بما في ذلك المتفرّقات ومقاييس يقيس مستويات الأكسجين. تم استخدام هذا الجهاز في الغواصات وفي الحاضنات، وللمرضى تحت التخدير.

في وقت مبكر من ثلثينيات القرن الماضي، كان بولينج مقتنعاً بأنَّ الفيتامينات مهمة للغاية لصحة الإنسان. مستندًا إلى البحث العلمي والطبي، رأى أن فيتامين C (حمض الأسكوربيك) يمكن أن يؤدي دوراً في علاج السرطان ونزلات البرد. وقد ألف كتاباً كان الأكثر مبيعاً في العام 1970 وكان بعنوان «فيتامين C ونزلات البرد».

عمل بولينج لعدّة سنوات بعد تفجير أول قنبلة ذريّة لتحذير الحكومات من مخاطر وتداعيات المواد المشعة المستخدمة في التجارب النووية. وقد منح بولينج جائزة نobel للسلام للعام 1962 عن هذا العمل، ليصبح أول شخص يحصل على جائزتي نobel غير مشتركين.



الشكل 1-28 ميدالية جائزة نobel.

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1 توقع الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعناصر

- يتم ترتيب العناصر في الجدول الدوري الحديث اعتماداً على العدد الذري ووفق خصائصها الفيزيائية والكيميائية.
- يمكن توقع خصائص العناصر على أساس موقعها في الجدول الدوري ضمن مجموعات ودورات.
- تزداد طاقة التأين الأولى First ionization energy بشكل عام عبر الدورة عند الإتجاه من اليسار إلى يمين الجدول الدوري، وتتناقص بالإتجاه من أعلى المجموعة إلى أسفلها.
- الميل الإلكتروني Electron affinity لعنصر يصبح بشكل عام ذا قيمة أكثر سالبية عبر الدورة، ولكن لا يوجد إتجاه ثابت للميل الإلكتروني بالإتجاه إلى أسفل المجموعة.
- تزداد السالبية الكهربائية Electronegativity بشكل عام عبر الدورة عند الإتجاه من اليسار إلى يمين الجدول الدوري، وتتناقص بالإتجاه من أعلى المجموعة إلى أسفلها.

الدرس 1-2 الكيمياء الوصفية لعناصر المجموعة الرابعة (14) VIA

- تتناقص درجات الانصهار لعنصر المجموعة الرابعة (IVA) بشكل عام بالإتجاه من أعلى المجموعة إلى أسفلها.
- يزداد التوصيل الكهربائي لعنصر المجموعة الرابعة (IVA) بشكل عام بالإتجاه من أعلى المجموعة إلى أسفلها.
- تدرج خصائص أكسيد عناصر المجموعة الرابعة (IVA) من الحمضية إلى الأمفوتيرية Amphoteric من أعلى المجموعة إلى أسفلها.
- تتفاعل أكسيد وثاني أكسيد عنصر المجموعة الرابعة (IVA) على نحو مختلف ومتغير.
- تصبح الأكسيد بشكل عام أقل ثباتاً بالإتجاه إلى أسفل المجموعة الرابعة (IVA)، كما يتضح من تناقص درجة الانصهار.

الدرس 1-3 الكيمياء الوصفية لعناصر المجموعة السابعة (17) VIIA

- بالإتجاه إلى أسفل المجموعة السابعة (VIIA)، تتغير العناصر من كونها غازات إلى مواد صلبة.
- يمكن أن تظهر هذه العناصر حالة تأكسد سالبة (-1) فقط، ولكن معظمها (باستثناء الفلور) يمكن أن تظهر حالات تأكسد موجبة متعددة.
- بالإتجاه إلى أسفل المجموعة السابعة (VIIA)، تتناقص قدرة هذه العناصر لعمل كعوامل مؤكسدة Oxidizing agent مع انخفاض السالبية الكهربائية وارتفاع نصف القطر الذري.
- الهايدرات هي مركبات مكونة من الهايدروجينات . هاليدات الهيدروجين مثل HCl و HBr هي غازات عند درجة حرارة الغرفة وتكون محلائل حمذية معظمها قوية عند إذابتها بالماء.
- يمكن الكشف عن أيونات المجموعة السابعة (VIIA) بالتفاعل مع أيونات الفضة، ثم بتفاعل الرواسب مع محلول الأمونيا.

اختيارات متعددة

1. نصف القطر الذري لعناصر الفلور والبروم واليود هو بالتالي: 147pm و185pm و198pm. استخدم هذه المعلومات وحدد مما يأتي قيمة نصف القطر الذري لعنصر الكلور:
- .53pm .a
 - .175pm .b
 - .190pm .c
 - .200pm .d
2. أيٌ مما يأتي هو وحدة القياس الصحيحة لطاقة التأين؟
- | | |
|------------------|----------|
| kJ/mol .c | mole .a |
| لا توجد وحدات .d | g/mol .b |
3. أيٌ من المعادلات الآتية تصف بشكل صحيح طاقة التأين الثالثة للصوديوم؟
- | | |
|---|---|
| $\text{Na}^{3+}_{(s)} + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}^{4+}_{(s)}$.c | $\text{Na}^{3+}_{(s)} \rightarrow \text{Na}^{4+}_{(s)} + \text{e}^-$.a |
| $\text{Na}^{2+}_{(g)} + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}^{3+}_{(g)}$.d | $\text{Na}^{2+}_{(g)} \rightarrow \text{Na}^{3+}_{(g)} + \text{e}^-$.b |
4. أيٌ مما يأتي هو وحدة القياس الصحيحة للميل الإلكتروني؟
- | | |
|------------------|----------|
| KJ/mol .c | moles .a |
| لا توجد وحدات .d | g/mol .b |
5. أيَّةً معادلة تصف بشكل صحيح الميل الإلكتروني للكبريت؟
- | | |
|---|---|
| $\text{S}_{(s)} + \text{e}^- \rightarrow \text{S}^-_{(s)}$.c | $\text{S}_{(s)} \rightarrow \text{S}^+_{(s)} + \text{e}^-$.a |
| $\text{S}_{(g)} + \text{e}^- \rightarrow \text{S}^-_{(g)}$.d | $\text{S}_{(g)} \rightarrow \text{S}^+_{(g)} + \text{e}^-$.b |
6. ما التدرج الذي يحدث للسالبية الكهربائية بالاتجاه إلى أسفل المجموعة، وعبر الدورة على التوالي؟
- .a. تزداد، تزداد
 - .b. تزداد، تتناقص
 - .c. تتناقص، تزداد
 - .d. تتناقص، تتناقص

7. أيٌ من أزواج عناصر المجموعة الرابعة (IVA) الآتية يصف بشكل صحيح التوصيل الكهربائيّ الخاصة بها؟

- a. الجرافيت (موصل ضعيف) والقصدير (موصل جيد)
- b. السليكون (موصل ضعيف) والرصاص (موصل جيد)
- c. الجermanيوم (شبه موصل) والقصدير (موصل جيد)
- d. الجرافيت (موصل ضعيف) والماس (موصل ضعيف)

8. أيٌ أكسيد من أكاسيد المجموعة الرابعة (IVA) ليس أمفوتيريًّا؟

- d. الجermanيوم
- a. القصدير
- c. الكربون
- b. الرصاص

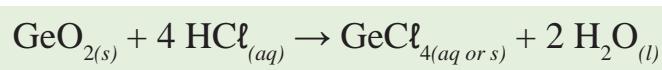
9. أيٌ صيغتين كيميائيتين مما يأتي هما لأكاسيد الرصاص الشائعة؟

- | | | | | | |
|--------------------------------|------------------|----|------------------|-----|----|
| PbO ₄ | PbO ₂ | c. | PbO ₂ | PbO | a. |
| Pb ₂ O ₃ | PbO ₄ | d. | PbO ₄ | PbO | b. |

10. ما الطبيعة المميزة التي تُظهرها أكاسيد الكربون عندما تتفاعل مع الماء أو هيدروكسيد الصوديوم؟

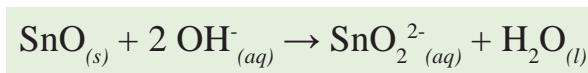
- a. قاعدية
- b. أمفوتيريّة
- c. متعادلة
- d. حمضية

11. ما الطبيعة المميزة التي يُظهرها أكسيد العنصر من المجموعة الرابعة (IVA) في المعادلة الآتية؟



- d. أمفوتيريّة
- c. متعادلة
- b. حمضية
- a. قاعدية

12. ما الطبيعة المميزة التي يُظهرها أكسيد العنصر من المجموعة السابعة (VIIA) في المعادلة الآتية؟



- d. أمفوتيريّة
- c. متعادلة
- b. حمضية
- a. قاعدية

13. أيٌ عنصر من عناصر المجموعة السابعة (VIIA) يمكنه تكوين حالة تأكسد (-1) فقط؟

- | | |
|-------|------|
| Cl .c | I .a |
| Br .d | F .b |

14. أيٌ من عناصر المجموعة السابعة (VIIA) الآتية هو أفضل عامل مؤكسد؟

- | | |
|--------------------|-------------------|
| Cl ₂ .c | I ₂ .a |
| Br ₂ .d | F ₂ .b |

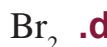
15. أيٌ من أيونات عناصر المجموعة السابعة (VIIA) لا يشكّل راسباً مع أيونات الفضة؟

- a. اليوديد
- b. الفلوريد
- c. الكلوريد
- d. البروميد

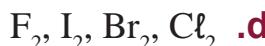
16. أيٌ من هاليدات الفضة (AgX) سيذوب في محلول الأمونيا المخفّف؟



17. ما العامل المؤكسد في التفاعل الآتي؟



18. أي مما يأتي يرتب العناصر (من اليسار إلى اليمين) وفق زيادة درجة الغليان؟



أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 1-1 توقع الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعناصر

19. اكتب معادلة كيميائية موزونة تصف طاقة التأين الأولى لليثيوم، بما في ذلك تدوين الحالة.

20. أي عنصر من عناصر الدورة الثانية يمتلك أعلى طاقة تأين أولى؟

21. هل تزداد طاقة التأين أو تنخفض عبر الدورة؟ اشرح ذلك من حيث نصف القطر الذري وعدد الإلكترونات الحاجبة.

22. اكتب معادلة كيميائية موزونة تصف الميل الإلكتروني لعنصر اليود، واكتب الحالة الفيزيائية.

23. ما الذي يشير إليه الميل الإلكتروني ذو القيمة الموجبة؟ اشرح ذلك من حيث الطاقة والاستقرار الحراري.

24. ما العلاقة العامة بين السالبية الكهربائية ونصف القطر الذري بالاتجاه إلى أسفل المجموعة في الجدول الدوري؟

25. أي عنصر من كل زوج من العناصر الآتية، له أعلى قيمة للميل الإلكتروني الأكثـر قيمة سالبة؟



* 26. يحتوي العنصر (Y) على قيم IE الآتية بوحدة kJ/mol :

$$IE_1 = 1012, IE_2 = 1903, IE_3 = 2912, IE_4 = 4956, IE_5 = 6273, IE_6 = 22233$$

اكتب التركيب الإلكتروني لأعلى مستوى طاقة مشغول في هذا العنصر.

الدرس 1-2 الكيمياء الوصفية لعناصر المجموعة الرابعة (14) VIA

* 27. لماذا يستطيع الجرافيت توصيل الكهرباء، ولا يستطيع الماس ذلك، على الرغم من أن كلّهما صور متأصلة لعنصر الكربون؟ 

28. أيٌ من عناصر المجموعة الرابعة (IVA) هو من أشباه الموصلات؟

* 29. لماذا تكون درجة انصهار القصدير أقلّ من درجة انصهار الرصاص، على الرغم من أن نصف قطر الذري للقصدير أصغر من نصف قطر الذري للرصاص؟ 

* 30. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة التي تصف تفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون مع محلول هيدروكسيد الصوديوم لتكوين كربونات الصوديوم بما في ذلك تدوين الحالات.

* 31. لماذا تكون معظم عناصر المجموعة الرابعة (IVA) أكسيد وثاني أكسيد مثل XO و XO_2 ? اشرح ذلك من حيث حالات التأكسد. 

32. أيٌ من عناصر المجموعة الرابعة (IVA) يكون أكسيدً أمفوتيبيًّا؟

33. ما نواتج التفاعل بين $SnO_{(aq)}$ و $HCl_{(aq)}$? 

34. ما الأيون الذي يُنتج عند تفاعل $PbO_{(aq)}$ مع OH^- ? 

* 35. ما نوع المادة الصلبة التي يكوّنها ثاني أكسيد السيليكون والتي تجعل درجة انصهاره عالية للغاية؟ 

الدرس 1-3 الكيمياء الوصفية لعناصر المجموعة السابعة (17) VIIA

36. في أيّة حالة (صلبة، سائلة، غازية) توجد العناصر الأربع الأوليّة من المجموعة السابعة (VIIA) في الطبيعة؟

37. ما عدد حالات التأكسد السالبة التي يمكن أن تكوّنها عناصر المجموعة السابعة (VIIA)? وما هي هذه الحالات؟ 

38. أيٌما العامل المؤكسد الأقوى، الكلور أم اليود؟ 

39. أيٌ من الـ halogenes الأربع الأوليّات استقرارًا في الحالة الصلبة؟

تقويم الوحدة

- 40.** أيُّ من أيونات عناصر المجموعة السابعة (VIIA) يوجد في محلول الذي يكون راسباً مع أيونات الفضة لا يتفاعل مع محلول الأمونيا المركّز؟ *
- 41.** اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة التي تصف تفاعل $\text{AgBr}_{(s)}$ مع $\text{NH}_{3(aq)}$ المركّز، واكتب الحالة الفيزيائية.
- 42.** ما العلاقة بين قوّة العامل المؤكسد والسلبية الكهربائيّة لعناصر المجموعة السابعة (VIIA)؟
- 43.** ما العلاقة بين قوّة العامل المؤكسد ونصف القطر الذري لعناصر المجموعة السابعة (VIIA)؟
- 44.** أيُّ أيون من أيونات عناصر المجموعة السابعة (VIIA) يوجد في محلول الذي يتفاعل مع أيونات الفضة ويكون راسباً يتفاعل مع محلول الأمونيا المركّز؟ *
- 45.** أكمل ووازن المعادلة الكيميائية الآتية : *





الوحدة 2

خصائص العناصر الانتقالية ومركباتها

Properties of the Transition Elements and their Compounds

في هذه الوحدة

C1202

الدرس 2-1: التوزيع الإلكتروني وخصائص عناصر السلسلة
الانتقالية الأولى

الدرس 2-2: تكوين الأيونات المتعددة

الدرس 2-3: استخدامات الفلزات الانتقالية وأيوناتها

2

الوحدة

مقدمة الوحدة

العناصر الانتقالية الرئيسية هي العناصر التي تقع ضمن الفئة "d" في الجدول الدوري الحديث. جميع هذه العناصر عبارة عن فلزات تتميز بوجود إلكترونات تكافؤ في المستويين الفرعيين (s) و (d) بحيث يكون المستوى الفرعي (d) ممتليء جزئياً. بعض المراجع لا تعتبر فلزات المجموعة 12 (Zn, Cd, Hg, Cn) فلزات انتقالية حقيقة، لأن إلكترونات التكافؤ تملأ كلية أفلاك d (n-1) و ns (n≥4) في مستوى الطاقة الأخير.

يوضح الدرس 1 كيفية كتابة التوزيع الإلكتروني لذرات عناصر السلسلة الانتقالية الأولى.

الدرس 2 يستقصي المقدرة الفريدة من نوعها لمعظم العناصر الانتقالية على تكوين أكثر من أيون موجب واحد، وكيفية كتابة التوزيع الإلكتروني لهذه الأيونات.

الدرس 3 يناقش الاستخدامات المتعددة لعناصر انتقالية مختارة والدور الذي تؤديه تلك العناصر الانتقالية في تكوين أيونات المركبات المعقدة عند ارتباطها بالليجنادات (المترابكتات).

الأنشطة والتجارب

1-2 العناصر الانتقالية: التوزيع الإلكتروني والخصائص.

2-2 تفاعلات الحديد والفنadiوم.

3-2 مركبات النحاس (II) المعقدة

الدرس 1-2

التوزيع الإلكتروني وخصائص عناصر السلسلة الانتقالية الأولى

Electron Configurations and Properties of the First Row Transition Elements

العناصر الانتقالية الرئيسية هي مجموعة من عناصر الجدول الدوري، والتي تكون الجسر الذي يربط بين عناصر المجموعات الرئيسية فيه: حيث تربط هذه العناصر بين عناصر المجموعتين (2-1) IA – IIA وعناصر المجموعات (18-13) VIIIA – IIIA. وقد أعطيت أرقام لمجموعات العناصر الانتقالية الخمس الأولى من VIIIB إلى IIIIB للمجموعات الثلاث التالية ثم المجموعتين IB و IIIB. أما الجدول الدوري الحديث، فيستخدم قواعد الأيوبارك (IUPAC) لترقيم مجموعات العناصر باستخدام الأعداد من 1 إلى 18، كما يبيّن الشكل 1-2.

ترقيم المجموعات بحسب IUPAC																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IA	IIA	IIIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB	VIIIB	VIIIB	IB	IIIB	IIIIA	IVIA	VIA	VIIA	VIIIA	
1 H	2 He	3 Li	4 Be	5 Na	6 Mg	7 Al	8 Si	9 P	10 S	11 K	12 Ca	13 Ga	14 Ge	15 As	16 Se	17 Br	18 Kr
19	20	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31	32	33	34	35	36

الشكل 1-2 جدول دوريٌّ يبيّن الترقيم الحديث والقديم لمجموعات.

العناصر الانتقالية هي العناصر التي ينتهي توزيعها الإلكتروني بالمستوى الفرعى (d) أو المستوى الفرعى (f) ممثلاً جزئياً في الحالة الذرية أو الأيونية. عناصر المجموعة (12) IIIB لديها توزيع إلكتروني ينتهي بأفلال المستويين الفرعيين ns و d_(n-1) (n≥4) الممثلة كلّياً بالإلكترونات، ولكنها لا تُعدُّ عناصر انتقالية في أكثر الأحيان.

المفردات



Hund's rule

قاعدة هوند

Ligand

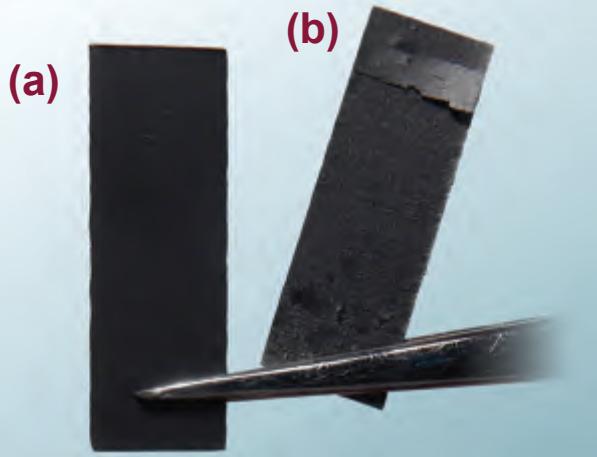
الليجند (المترافق)

مخرجات التعلم

C1202.1 يربط بين خصائص عناصر السلسلة الانتقالية الأولى والتوزيع الإلكتروني لذرارات عناصرها.

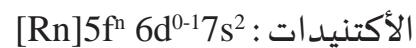
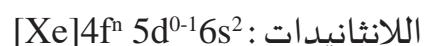
C1202.2 يدرك أن العناصر الانتقالية تكون عادة أكثر من أيون ثابت واحد، وأن خصائصها الفيزيائية والكيميائية كفلزات تكون متشابهة بشكل عام.

سلسلتا عناصر اللانثانيات والأكتينيات



الشكل 2-2 (a) عنصر الثوريوم المنقى. (b) عنصر اليورانيوم المنقى.

اللأنثانيات **2-2** سيبقى اثنين. التوزيع الإلكتروني العام لهاتين السلسلتين مع اعتبار $14 \leq n \leq 1$ هو :



جميع عناصر اللانثانيات والأكتينيات لديها إلكترونان اثنان في الفلک الخارجی (s). لذلك، فإنّها تمتلك خصائص فیزیائیة وكیمیائیة متشابهۃ تماماً. هذه العناصر هي في الحقيقة متشابهۃ إلى حدّ كبير. لذلك، فقد واجه العلماء صعوبة في ابتكار طریق للتعریف إلى بعضها بناء على الاختلافات في كتلها الذریة (انظر **الشكل 2-2**).

أمّا مجموعات فئات العناصر "s" و "p" و "d" الموجودة في الجدول الدوري، فإنّ عدد المجموعات الموجودة في كلّ فئة على الترتیب (2 و 6 و 10) يتوافق مع الحد الأقصى لعدد الإلكترونات الموجودة في مستويات الطاقة الفرعیة (s) و (p) و (d). الغریب أننا نلاحظ في كثير من الجداول الدوريّة أنّ عناصر الفئة "f" تحتوي على (15) مجموعة رأسیة (عمودیة)، أمّا مستوى الطاقة الفرعی (f) فيحتوي على (14) إلكترونًا كحدّ أقصى، لأن العنصرين التي تمت تسمیة هاتین المجموعتين بناء عليهما (اللانثنيوم La والأكتينيوم Ac) توجد ضمن عناصرهما لذا، تفحّص التوزيع الإلكتروني لعنصری اللانثنيوم والأكتينيوم ثمّ أجب بنفسك عن الأسئلة أدناه استناداً إلى التوزيع الإلكتروني لكلّ منها، وإلى ما ناقشناه سابقاً، بغضّ النظر عن الأساس المنطقيّ لتصنیف الفلزّ بأنه فلزّ انتقالی أو أحد الفلزّات الانتقالية الداخلية.



- أيصحُّ تصنیف عنصری اللانثنيوم والأكتينيوم بأنّهما من عناصر الفئة "d" ، أم إنّهما من عناصر الفئة "f" ؟ وضح إجابتك.
- ما عنوان المجموعة الذي تقتربه لسلسلة اللانثانيات والأكتينيات؟ وضح إجابتك.

التوزيع الإلكتروني لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى

تبدأ العناصر الانتقالية بالعنصر ذي العدد الذري 21، وهو السكانديوم (Sc)، انظر الشكل 3-2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	Lu 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Lr 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	Nh 113	Fl 114	Mc 115	Lv 116	Tn 117	Og 118

الشكل 3-2 العناصر الانتقالية الرئيسية الموجودة في الجدول الدوري.

يمثل التوزيع الإلكتروني للعنصر الذي يقع قبل عنصر السكانديوم (Sc)، وهو عنصر الكالسيوم (Ca)، بطريق متعددة، كما هو مبين في الجدول 1-2.

الجدول 1-2 طرق مختلفة لتمثيل التوزيع الإلكتروني لعنصر الكالسيوم.

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$	التوزيع بحسب الأفلاك (حسب مبدأ أوفباو)
$[Ar]4s^2$	التوزيع بحسب الأفلاك باستخدام ترميز الغاز النبيل
$[Ar] \begin{array}{ c } \hline 4s \\ \hline 1 \\ \hline \end{array}$	التوزيع المرربع-السهم (حسب قاعدة هوند) باستخدام ترميز الغاز النبيل

يُعد السكانديوم أول عنصر يشغل الفئة "d" من الجدول الدوري. والإلكترون الزائد الذي يمتلكه عنصر السكانديوم مقارنة بعنصر الكالسيوم سوف يأخذ توزيع حالة المستوى الاعتيادي الموجودة في المستوى الفرعي (d)، والتوزيع هو $(3d^1)$. تذكر أن لا وجود لمستويات فرعية من نوع $(1d)$ أو $(2d)$. وتذكر أيضاً أن المستوى الفرعي (s) يتكون من فلك واحد، أمّا المستوى الفرعي (p) فيتكون من ثلاثة أفلاك، ويكون المستوى الفرعي (d) من خمسة أفلاك. ويبين الجدول 2-2 طرق متعددة لتمثيل التوزيع الإلكتروني لعنصر السكانديوم.

الجدول 2-2 طرق مختلفة لتمثيل التوزيع الإلكتروني لعنصر السكانديوم.

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^1$	التوزيع بحسب الأفلاك (حسب مبدأ أوفباو)
$[Ar]4s^2 3d^1$	التوزيع بحسب الأفلاك باستخدام ترميز الغاز النبيل
$[Ar] \begin{array}{ c c } \hline 4s & 3d \\ \hline 1 & \begin{array}{ c c c c } \hline & & & \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array}$	التوزيع المرربع-السهم (حسب قاعدة هوند) باستخدام ترميز الغاز النبيل

تطبيق قاعدة هوند

تنص قاعدة هوند Hund's rule على أنَّ:

- التزاوج بين إلكترونيين في فلك من أفلاك مستوى فرعٍ لا يحدث إلا بعد أن تُشغل أفلاكه فرادى أوّلًا.
- كل إلكترون موجود في فلك مشغول بشكل منفرد يمتلك الغزل نفسه (نفس إتجاه الدوران).

باستخدام قاعدة هوند، يمكننا توقع ملء المستويات الفرعية (4s) و (3d) لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى بحسب الجدول 2-3.

الجدول 2-3 التوزيع الإلكتروني المتوقع لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى.

العنصر	التوزيع الإلكتروني المتوقع				
	الغاز النبيل	الرئيس	4s	3d	
$_{21}Sc$	[Ar]	1	1		
$_{22}Ti$	[Ar]	1	1		
$_{23}V$	[Ar]	1	1	1	
$_{24}Cr$	[Ar]	1	1	1	1
$_{25}Mn$	[Ar]	1	1	1	1

العنصر	التوزيع الإلكتروني المتوقع				
	الغاز النبيل	الرئيس	4s	3d	
$_{26}Fe$	[Ar]	1	1	1	1
$_{27}Co$	[Ar]	1	1	1	1
$_{28}Ni$	[Ar]	1	1	1	1
$_{29}Cu$	[Ar]	1	1	1	1
$_{30}Zn$	[Ar]	1	1	1	1

تمتلك ثمانية من عناصر السلسلة الانتقالية الأولى العشر توزيع إلكتروني مطابق لتوقعات قاعدة هوند، أمّا العناصران الآخريان فلا يتبعان هذه القاعدة، وهما الكروم والنحاس (انظر الجدول 2-4).

الجدول 2-4 التوزيع الإلكتروني الفعلي لعناصر الكروم، والنحاس.

العنصر	التوزيع الإلكتروني الفعلي				
	الغاز النبيل	الرئيس	(4s)	(3d)	
$_{24}Cr$	[Ar]	1	1	1	1
$_{29}Cu$	[Ar]	1	1	1	1

سوف نبيّن السبب لعدم اتباع عنصري النحاس والكروم قاعدة هوند، بعد أن نلقى نظرة عن قرب على الفلزات التي تتبع قاعدة هوند: هنالك علاقة وطيدة بين موقع العنصر في الجدول الدوري وتوزيعه الإلكتروني. وكما شاهدنا من قبل مع العناصر الأخرى، فإنَّ العناصر الانتقالية تتبع النمط الموجود في الجدول الدوري.

مثال 1

ما التوزيع الإلكتروني لذرة عنصر الحديد، اكتبه باستخدام ترميز المستوى الفرعى للغاز النبيل الرئيس.

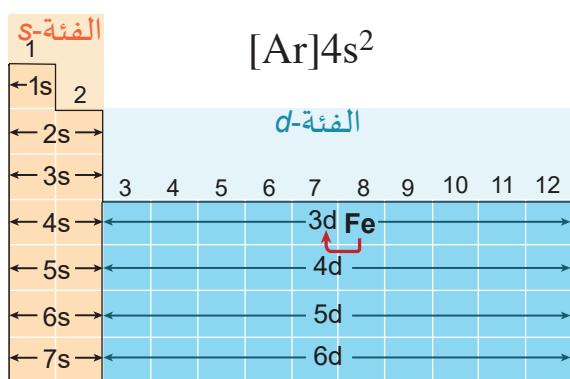
1	H
2	Be
3	Li
4	Mg
5	Na
6	Al
7	Si
8	Cl
9	Ar
10	Ne
11	B
12	C
13	N
14	O
15	F
16	Ne
17	He
18	
19	K
20	Ca
21	Sc
22	Ti
23	V
24	Cr
25	Mn
26	Fe
27	Co
28	Ni
29	Cu
30	Zn
31	Ga
32	Ge
33	As
34	Se
35	Br
36	Kr
37	Rb
38	Sr
39	Y
40	Zr
41	Nb
42	Mo
43	Tc
44	Ru
45	Rh
46	Pd
47	Ag
48	Cd
49	In
50	Sn
51	Sb
52	Te
53	I
54	Xe
55	Cs
56	Ba
57-71	La-Lu
72	Hf
73	Ta
74	W
75	Re
76	Os
77	Ir
78	Pt
79	Au
80	Hg
81	Tl
82	Pb
83	Bi
84	Po
85	At
86	Rn
87	Fr
88	Ra
89-103	Ac-Lr
104	Rf
105	Db
106	Sg
107	Bh
108	Hs
109	Mt
110	Ds
111	Rg
112	Cn
113	Nh
114	Fl
115	Mc
116	Lv
117	Ts
118	Og

الحل

- حدد أول غاز نبيل يمتلك عدداً ذرياً أدنى من العدد الذري لذرة الحديد، وضع رمزه بين قوسين مستطيلين.

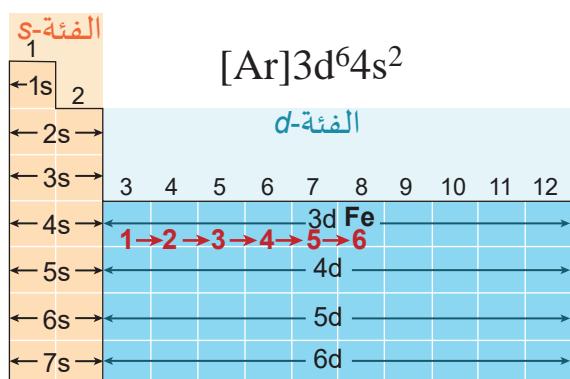


- حدد المستوى الفرعى الذى يجب ملؤه بالإلكترونات، والذي يقع قبل موقع ذرة الحديد في الجدول الدوري.



- لأن الفلك (4s) لذرة الحديد ممتلئ بالفعل بإلكترونين اثنين، فإننا نستخدم الترميز (4s)² بعد رمز الغاز النبيل الرئيس.

- حدد المستوى الفرعى الذى يتم ملؤه بالإلكترونات عند موقع ذرة الحديد في الجدول الدوري.



- ابدا العد من بداية عناصر الفئة "d" إلى أن تصل إلى ذرة الحديد، لتتوقع عدد الإلكترونات الموجودة في المستوى الفرعى (3d) باستخدام مبدأ أوفباو.

- اكتب رمز المستوى الفرعى (3d) مع (6) الإلكترونات موجودة فيه. وضعه في ترتيب تصاعدي وفقاً لمستوى الطاقة الرئيس بعد ترميز الغاز النبيل الرئيس.

توضيح التوزيع الإلكتروني لكل من الكروم والنحاس

لا يتبع التوزيع الإلكتروني لكل من الكروم والنحاس ما توقعه من استخدام قاعدة هوند (انظر الجدول 2-5)، فهذا ليس نتيجة استثناءات لقاعدة هوند. حيث أن هذه القاعدة هي النمط الأكثر شيوعاً لقاعدة ميكانيكا الكم.

تنصّ قاعدة الكم على الآتي: عندما تكون الذرة في المستوى الاعتيادي، تشغل الإلكترونات الأفلاك الأقل طاقة، بحيث تعطي الذرة توزيعاً إلكترونياً ذا طاقة كلية هي الأدنى وتصبح أكثر استقراراً. إضافة إلى ذلك، تكون الذرة ذات طاقة كلية في حدّها الأدنى، عندما تكون الأفلاك مماثلة بشكل كامل أو نصف مماثلة.

الجدول 2-5 التوزيع الإلكتروني المتوقع مقابل التوزيع الإلكتروني الفعلي لكل من الكروم والنحاس.

العنصر	المتوقع					الفعلي				
	الغاز النبيل الرئيس	4s	3d	الغاز النبيل الرئيس	4s	3d				
Cr	[Ar]	1	1 1 1 1	[Ar]	1	1 1 1 1 1				
Cu	[Ar]	1	1 1 1 1 1 1	[Ar]	1	1 1 1 1 1 1				

تبين حسابات طاقة الكم أنَّ التوزيع $Ar[4s^13d^5]$ بالنسبة إلى الكروم يُعدُّ أقل طاقة وأكثر استقراراً من التوزيع $Ar[4s^23d^4]$. وبشكل مماثل بالنسبة إلى النحاس، فإنَّ التوزيع $Ar[4s^13d^{10}]$ يُعدُّ أقل طاقة وأكثر استقراراً من التوزيع $Ar[4s^23d^9]$.

يتم تفسير الاختلافات في الطاقة بشكل جزئي من خلال عملية التمايل. لذا، قارنْ بين التوزيع الإلكتروني المتوقع والتوزيع الإلكتروني الفعلي المذكورين في الجدول 2-5. يمتلك الكروم ستة أفلاك خارجية نصف مماثلة وهذا يعطي التوزيع الإلكتروني لذرة الكروم الطاقة الأدنى. وبالتالي تكون أكثر استقراراً. أما النحاس، فيمتلك أفلاك (d) مماثلة كلية، وفلك (s) الخارجي نصف مماثلة مما يعطي التوزيع الإلكتروني لذرة النحاس الطاقة الأدنى وبالتالي تكون أكثر استقراراً.

يميل التوزيع ذو النمط الأكثر تمايلاً ($4s^13d^5$) إلى امتلاك طاقة كلية أقل من النمط الأقل

ما عناصر السلسلة الانتقالية التي تمتلك توزيعاً إلكترونياً يختلف عمّا يمكن توقعه عند استخدام قاعدة هوند بدقة؟ أهي عناصر السلسلة الانتقالية الثانية أم الثالثة؟	
أيٌ من هذه العناصر يمكن تفسيره باستخدام عملية التمايل؟	
هل يمكن ملاحظة نمط معين بالنسبة إلى العناصر الانتقالية التي تمتلك توزيعاً إلكترونياً شادداً عن القاعدة؟	

تماماً ($4s^23d^4$ ، لأنَّ الإلكترون يغزل حول محور في واحد من اتجاهين مختلفين). وهذا يفسر التوزيع الإلكتروني لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى، أما بالنسبة إلى عناصر السلسلة الانتقالية الثانية والثالثة والرابعة فإنَّ ذلك يصبح أكثر تعقيداً. في بعض الأحيان تُرجح عوامل ميكانيكا الكم عامل التمايل بالنسبة إلى هذه العناصر، ولا تجد لها نمطاً بسيطاً.

تذَكَّر أنَّ النماذج لا يُتوقع منها في العادة تفسير الطبيعة الفعلية والكافحة للنظام. وفي الواقع، فقد تم تصميم النماذج لجعل عملية توقع السلوكيات أسهل مما ستكون عليه بدون استخدام هذه النماذج.

الخصائص المميزة لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى

حالات التأكسد

إن الاختلافات في الطاقة بين فلك (s) وأفلاك (d) ضئيلة جداً في العناصر الانتقالية. لهذا السبب تكون هذه العناصر حالات تأكسد متعددة ذات شحنات موجبة (انظر الجدول 6-2). حيث تترتب الإلكترونات بالحد الأدنى من الطاقة اعتماداً على خصائص العنصر الآخر في الرابطة التساهمية. وهذا سبب آخر لتنوع حالات التأكسد الموجبة. وهذا يختلف عن العناصر الفلزية واللإفلزية من الفئة "p" والتي تميل إلى أن يكون لدى بعضها حالة تأكسد واحدة شائعة أو أكثر لتكوين أيونات.

الجدول 6-2 حالات التأكسد الشائعة لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى.

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
+3	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+1	+2
	+3	+3	+3	+3, +4	+3	+3	+3	+2	
	+4	+4, +5	+4, +6	+6, +7					

عندما تكون العناصر الانتقالية أيونات ذات شحنة موجبة، فإن أول الإلكترونات ستفقد من المستوى الفرعي (4s). فعلى سبيل المثال: عندما تفقد ذرة حديد من توزيعها الإلكتروني $[Ar] 4s^2 3d^6$ إلكترونين لتكوين أيون (Fe^{2+})، ستتم إزالة كلا الإلكترونين من المستوى الفرعي (4s).

عندما تفقد ذرة حديد ثلاثة إلكترونات، فإنها تفقد أولاً إلكترون من المستوى الفرعي (4s)، ثم تفقد إلكترون الثالث من المستوى الفرعي (3d) (انظر الجدول 7-2).

نتيجة لتكوين العناصر الانتقالية لحالات تأكسد متعددة ذات شحنة موجبة، يمكن لهذه الفلزات أن تتحدد بنسب مختلفة مع أيونات سالبة أو جسيمات ذات حالة تأكسد سالبة.

يبين الجدول (8-2) بعض الأمثلة على أكاسيد مستقرة تكونت من الكروم والحديد.

المركبات في الجدول (8-2) مركبات مستقرة ولكن ليس كل حالات تأكسد العناصر الانتقالية تكون مركبات مستقرة.

التوزيع الإلكتروني	الذرة/الأيون
$[Ar] 4s^2 3d^6$	Fe
$[Ar] 4s^0 3d^6$	Fe^{2+}
$[Ar] 4s^0 3d^5$	Fe^{3+}

الجدول 8-2 أكاسيد الكروم والحديد المستقرة.

المركب	الأيون
CrO	Cr^{2+}
Cr_2O_3	Cr^{3+}
CrO_2	Cr^{4+}
CrO_3	Cr^{6+}
FeO	Fe^{2+}
Fe_2O_3	Fe^{3+}

ما عدد الأكاسيد المختلفة التي يمكن أن يكونها عنصر المنجنيز نظرياً؟



الخصائص المميزة لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى

البلورات والمحاليل المائية الملونة

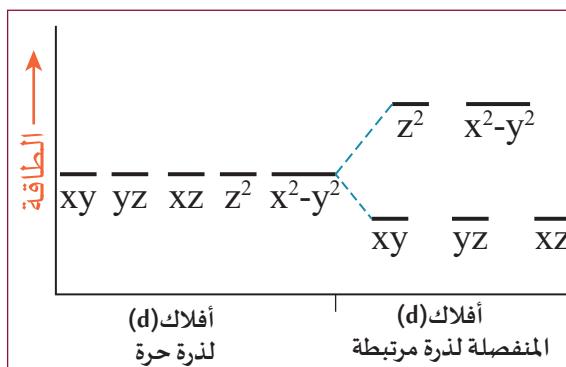


الشكل 4-2 (a) بلورات، (b) محاليل تحتوي على أيونات عناصر انتقالية.

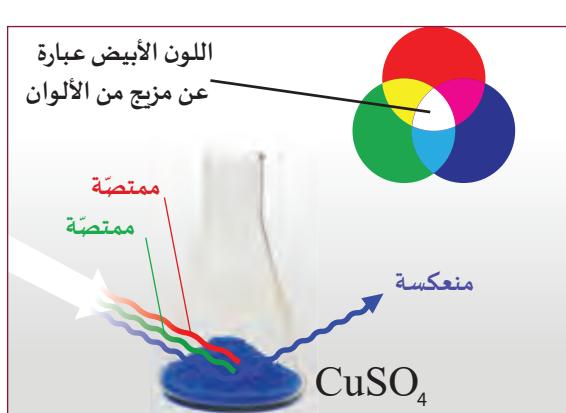
الخاصية الشائعة الملاحظة للكثير من العناصر الانتقالية هي أنّ البلورات والمحاليل المائية التي تحتوي على أيونات هذه الفلزات تكون في الغالب ملوّنة (انظر الشكل 4-2).

الألوان المختلفة والملاحظة في أيونات الفلز الانتقالي في بلوراته أو محاليله، تعود إلى أفلالك (d) الممتلئة بشكل جزئي لهذه الأيونات: تنخفض طاقات طاقات أفلالك (d) الخمسة بشكل طبيعي، وهذا يعني أن الأفلالك جميعها لديه الطاقة نفسها. ومع ذلك، فعندما ترتبط أيونات الفلز الانتقالي بجزيئات أخرى، تُسمى ليجننات (متراكبات Ligands) في طاقة أفلالك (d). تحدث عملية «انفصال» في طاقة أفلالك (d).

الليجننات (المتراكبات) هي جزيئات أو أيونات سالبة ترتبط بشكل مباشر بأيون فلز مركزي ذي شحنة موجبة.



عند تكوين الروابط مع الليجننات، تصبح بعض أفلالك (d) أكثر طاقة من الأفلالك الأخرى، حيث تختلف الطريقة التي تنفصل بها أفلالك (d) حسب نوع الليجننات التي ترتبط بأيون الفلز المركزي. ويوضح (الشكل 5-2) أحد الأمثلة على الكيفية التي يمكن أن تنفصل بها أفلالك (d) في طاقتها. ويمكن تفسير تكون ألوان مركبات العناصر الانتقالية كما يلي:



الشكل 6-2 لماذا كبريتات النحاس CuSO_4 أزرق؟

يتمّ امتصاص فوتونات لها طاقة محددة (طاقة لون محدد) من قبل إلكترونات (d)، والتي تقفز من أفلالك ذات طاقة منخفضة إلى أفلالك ذات طاقة مرتفعة. عملية انفصال أفلالك (d) يجعل الاختلافات في الطاقة ضمن مدى طاقة الضوء المرئي. لذلك فإنّ امتصاص لون محدد ومعين من الضوء يؤدي إلى ظهور الأيون بلون مميز متمم لللون الممتص. وعلى سبيل المثال، سيبدو مركب كبريتات النحاس أزرق اللون، لأنّ الألوان المكملة الحمراء والخضراء سيتمّ إمتصاصها من الضوء الأبيض (الشكل 6-2).



العناصر الانتقالية: التوزيع الإلكتروني والخصائص

1-1

هل تمتلك العناصر الانتقالية خصائص مميزة وفريدة من نوعها، بما يُمكّن من استخدام هذه الخصائص للتمييز بينها وبين العناصر الأخرى؟

سؤال الاستقصاء

جدول دوري يحتوي على التوزيع الإلكتروني، عينات لبلورات أو محاليل مائية بعضها يحتوي على أيونات فلز انتقالي، وبعضها لا يحتوي على هذه الأيونات.

المواد المطلوبة

الإجراءات



- 1.** باستخدام قاعدة هوند والجدول الدوري:
 - اكتب التوزيع الإلكتروني لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى.
 - قارن بين التوزيع الإلكتروني المتوقع والتوزيع الإلكتروني الفعلي.
 - ما العناصر التي لا تُظهر توزيعاً إلكترونياً متوقعاً؟
 - قدم تفسيراً منطقياً ومعقولاً لكل حالة شاذة عن القاعدة.

- 2.** أعطيت مجموعة من المحاليل المائية والبلورات:
 - أي منها يحتوي على أيونات عنصر انتقالي؟ وما السبب؟

- 3.** أعطيت بلورات، وصيغًا كيميائية لمركبين، وعينة فلزية واحدة لكل من الفناديوم والكروم والمنجنيز والحديد:
 - صنف ألوان البلورات في هيئة جدول.
 - ما الذي تستنتجه من الألوان التي تنقلها أيونات العنصر الانتقال إلى بلوراتها.
 - حدد حالات تأكسد لكل عنصر انتقالي موجود في كل بلورة.
 - أجري بحثاً عن قيم الكثافة وقيم درجات الانصهار لكل من هذه البلورات، ولخص هذه الخصائص.
 - أجري بحثاً عن قيم الكثافة وقيم درجات الانصهار لمركبات مشابهة تحتوي على صوديوم وكالسيوم.
 - قارن بين خصائص مركبات العنصر الانتقال وخصائص مركبات الصوديوم والكالسيوم التي تم إجراء بحث عنها، وأصدر تعميماً إذا أمكن ذلك.

- 4.** باستخدام التوزيع الإلكتروني الفعلي لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى:
 - اقترح حالات تأكسد منطقية ومعقولة لكل عنصر.
 - قدم تفسيراً منطقياً ومعقولاً يوضح السبب الذي يؤدي إلى تكون كل حالة تأكسد مقترحة.

1. أي عنصر من عناصر السلسلة الانتقالية الأولى توقع أنه يمتلك (7) إلكترونات موجودة في المستوى الفرعي (3d)؟

- a. الكوبالت
- b. النحاس
- c. السكانديوم
- d. المنجنيز

2. أي زوج من عناصر السلسلة الانتقالية الأولى الآتية لا تمتلك التوزيع الإلكتروني المتوقع؟

- a. الكوبالت والنحاس
- b. السكانديوم والخارصين
- c. الكروم والكوبالت
- d. الكروم والنحاس

3. ما التوزيع الإلكتروني المتوقع لذرة (Mn) استناداً إلى موقعها في الجدول الدوري؟ 

- a. $[Ar] 4s^2 3d^5$
- b. $[Ar] 4s^0 3d^5$
- c. $[Ar] 4s^2 3d^2$
- d. $[Ar] 4s^2 3d^4$

4. أي من الجمل الآتية تفسّر بالطريقة الأفضل الأسباب التي تجعل البّلورات والمحاليل المائية لأيونات الفلز الانتقالّي تُظہر لوناً مميّزاً في كثير من الأحيان؟ 

- a. ذرات الفلزات الانتقالية ملونة.
- b. أفلاك d جميعها تمتلك الطاقة نفسها.
- c. الإلكترونات الموجودة في أفلاك (d) الخارجية.
- d. الليجندرات المرتبطة بهذه الأيونات تفصل أفلاك (d) من حيث الطاقة.

5. أي من العناصر الآتية تكون أيوناته مكونة بلورات ذات لون أزرق؟ 

- a. الكوبالت
- b. النحاس
- c. الكالسيوم
- d. الكروم

6. أي من التوزيعين الإلكترونيين الآتيين هو الأقل طاقة : $4s^2 3d^4$ أم $4s^1 3d^5$. اعط سبباً بسيطاً لتبرّر إجابتك. 

7. أي تفسير، من حيث الطاقة، يوضح بشكل أفضل سبب عدم امتلاك بعض العناصر الانتقالية توزيعاً إلكترونياً يمكن توقعه من خلال موقعها في الجدول الدوري؟ 

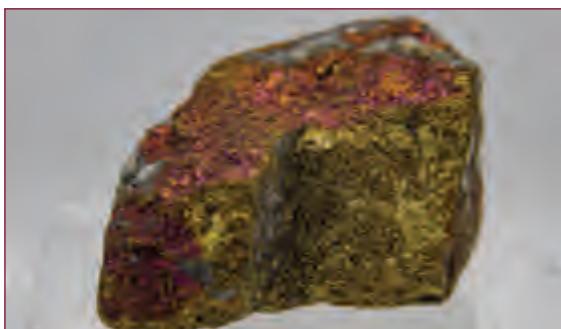
الدرس 2-2

تكوين أيونات متعددة

Multiple Ion Formation



الشكل 2-7 النحاس الخام.



الشكل 2-8 الكالكوبيرايت.



الشكل 2-9 ملاكيت مصقول.

يمكن العثور على فلز النحاس في حالته الحرّة، ويُسمى «النحاس الخام» (الشكل 2-7). لكنَّ المصدر الأكثُر شيوعاً للحصول على فلز النحاس يأتي من تنقية أكثر من عشر خامات نحاس مختلفة.

يحتوي خام النحاس الأنقى والأكثُر شيوعاً، وهو الكالكوبيرايت، CuFeS_2 , *chalcopyrite*, على عنصر النحاس في حالة تأكسد $(+1)$ (الشكل 2-8).

كان الملاكيت، $(\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2)$, *malachite* واحد من أوليات الخامات التي استُخدمت لإنتاج عنصر النحاس. في الملاكيت يوجد عنصر النحاس في حالة تأكسد $(+2)$. في الغالب لا توجد خامات الملاكيت بكميات كبيرة في الطبيعة؛ وفي الوقت الحاضر، فإنَّ للملاكيت قيمة أكبر كونه يحتوي على صبغة خضراء ويُستخدم لإنتاج منتجات للزينة (الشكل 2-9).

المفردات

Isoelectronic

متساوٍ إلكترونياً (أيزو إلكترونية)

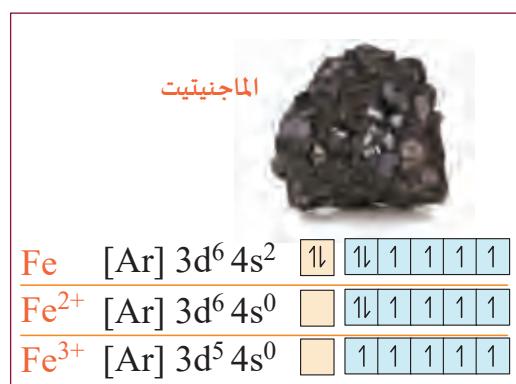


مخرجات التعلم

C1202.2 يدرك أن العناصر الانتقالية تكون عادة أكثر من أيون ثابت واحد، وأن خصائصها الفيزيائية والكيميائية كفلزات تكون متشابهة بشكل عام.

C1202.3 يفسّر كيف يؤثر تعدد حالات تأكسد أيونات العناصر الانتقالية في عملها كعوامل مؤكسدة أو عوامل مختزلة. ويعطي أمثلة على تفاعلات أكسدة واختزال لعناصر انتقالية.

المغناطيسية



يُعد الماجنيت *magnetite* (الشكل 10-2) معدناً مثيراً للاهتمام لعدة أسباب:

- يحتوي التركيب البلوري للماجنيت على الحديد في حالي تأكسد مختلفين (+2 و +3).

• الماجنيت مغناطيس بشكل طبيعي ويمكن مغнетته أيضاً. الصيغة الكيميائية المتعارف عليها للماجنيت هي Fe_3O_4 حيث يوجد لكل أيونين من أيونات (Fe^{3+})، أيون واحد من أيون (Fe^{+2}). الماجنيت.

تسبب طاقة (الغزل) الدوران للإلكترونات أن تصرف كمغناطيسات صغيرة. في معظم المركبات تزدوج الأقطاب المغناطيسية للإلكترونات بالدوران في اتجاهين متعاكسين (مع عقارب الساعة / وعكس عقارب الساعة) أو (الاتجاه إلى الأعلى / وإلى الأسفل) مما يسبب إلغاء التأثيرات المغناطيسية. ومع ذلك ، يمكن أن يؤدي المغناطيس الخارجي القوي إلى ترتيب الإلكترونات جزئياً للتناقض مع المغناطيس الخارجي، وهذا ما يسمى (الدايامغناطيسية *dimagnetism*).

تحتفظ العناصر الانتقالية النقية التي تحتوي على إلكترونات مفردة بمغناطيسية تلك الإلكترونات غير المزدوجة. تسمى هذه العناصر (البارامغناطيسية *paramagnetic*) وتجذب مغناطيساً خارجياً بضعف، ولكنها لا تحافظ بمغناطيسيتها بمجرد إزالة المغناطيس الخارجي. من الأمثلة على عناصر بارامغناطيسية هي سكانديوم وفناديوم والتيتانيوم.

أما الحديد والنikel والكوبالت فمن العناصر التي تسمى فرومغناطيسياً *ferromagnetic* إذ أنها تجذب المغناطيس الخارجي بقوة. يبيّن الشكل 10-2 أن الحديد يحتوي على كثير من الإلكترونات المفردة، حيث تقوم ذرات الحديد المجاورة بترتيب أقطابها المغناطيسية معًا بإتجاه واحد لجذب المغناطيس الخارجي.

ابحث عن عناصر مغناطيسية أخرى.

- هل كل العناصر التي يسهل ملاحظة خواصها المغناطيسية عند الظروف القياسية من الضغط ودرجة الحرارة من الفلزات؟
- ما موقع هذه العناصر في الجدول الدوري؟
- ما الصلة بين التوزيعات الإلكترونية لهذه العناصر؟
- هل تصبح العناصر غير المغناطيسية عند درجة الحرارة والضغط القياسيين مغناطيسية عند الظروف العالية جداً من الضغط؟

تم العثور على البلورات المجهريّة لمركب الماجنيت في الكثير من الأنواع المختلفة من الكائنات الحية. تنتج بعض أنواع البكتيريا هيكل تحتوي على الماجنيت. وتم التعرف أيضًا إلى بعض أنواع الطيور توجد بلورات الماجنيت بكثافة في مناقيرها، حيث يعطي الماجنيت إحساساً مغناطيسياً ويعمل كبوصلة داخلية تساعد الطيور على معرفة اتجاهاتها. حتى أنه قد تم العثور أيضًا على الماجنيت في الدماغ البشري!

مستويات الطاقة في العناصر الانتقالية

الخصائص الكيميائية للعناصر الانتقالية معقدة. عند دراسة السلسلة الأولى من العناصر الانتقالية التي لديها إلكترونات تكافؤ في المستويين الفرعيين (4s) و (3d) نجد الآتي :

- تكون طاقة المستوى الفرعي (4s) أقل من طاقة المستوى الفرعي (3d) الفارغ. حيث يمتلك المستوى الفرعي (4s) قبل (3d) لكونه أقل طاقة تبعاً لمبدأ أوفباو (Aufbau principle) كما هو موضح في الشكل (a11-2).
- عندما يصبح المستوى الفرعي (3d) مشغولاً بالإلكترونات، تتغير الطاقات النسبية للمستويين الفرعيين (4s) و (3d) وتصبح طاقة المستوى الفرعي (4s) أعلى قليلاً من طاقة (3d)، كما في الشكل (b11-2).
- عندما تفقد الإلكترونات من أفلال العناصر الانتقالية، فإنها تفقد من المستوى الفرعي (4s) أولًا كون طاقته أعلى.
- عندما تكون إلكترونات (3d) إلى الداخل من أفلال (4s) تكون طاقة أفلال (3d)، و (4s) متماثلة تقريباً. تحتوي معظم العناصر الانتقالية على إلكترونات (4s) نفسها (أي إنَّ لديها إلكترونين اثنين)؛ لذلك، فإنَّ الخصائص الكيميائية للعناصر الانتقالية متشابهة جداً.



الشكل 11-2 مستويات الطاقة في أفلال (s) و (d).

تكون العناصر التي لديها إلكترونات تكافؤ في المستويين الفرعيين (s) و (p) مركبات تحقق التوزيع الإلكتروني للغاز النبيل. حيث يمثل أمثلة أفلال (s) و (p) تماماً بالإلكترونات أفضلية من جهة الطاقة.

الجسيمات المتساوية الإلكترونية

يوضح الجدول 9-2 أمثلة لهذه القاعدة. لاحظ أنَّ Ne و Na^+ و O^{2-} و Al^{3+} جميعها تحتوي على التوزيع الإلكتروني $1s^2 2s^2 2p^6$. ويقال إنَّ هذه **الجسيمات متساوية الإلكترونية (أيزو إلكترونية)** Isoelectronic. للفلزات الانتقالية كثير من الإلكترونات التي يجب أن تخسرها لتصبح متساوية إلكترونية (أيزو إلكترونية) مع أحد الغازات النبيلة. على سبيل المثال،

يخسر عنصر الحديد (Fe) ثمانية إلكترونات ليصبح متساوياً إلكترونياً مع الغاز النبيل الأرجون (Ar). ولكن الجدول 9-2 يبيّن أنَّ الأيون (Fe^{3+}) والأيون (Mn^{2+}) هما متساويان إلكترونياً وذلك لأنَّ الأيونين لديهما التوزيع الإلكتروني $[Ar] 3d^5$. هذا يدل على أنَّ هناك توزيعات إلكترونية مستقرة ولديها طاقة منخفضة، على الرغم من أنها ليست متساوية إلكترونية مع أحد الغازات النبيلة.

الجدول 9-2 التوزيعات الإلكترونية.

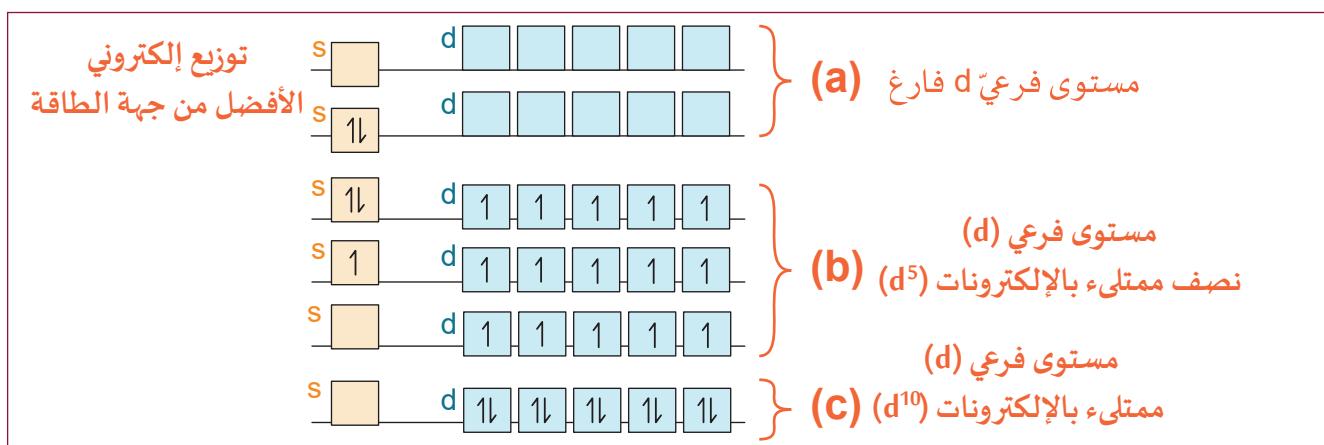
ذرة/أيون	التوزيع الإلكتروني
Ne	$1s^2 2s^2 2p^6$
Na^+	$1s^2 2s^2 2p^6$
Al^{3+}	$1s^2 2s^2 2p^6$
O^{2-}	$1s^2 2s^2 2p^6$
Fe^{2+}	$[Ar] 3d^6$
Fe^{3+}	$[Ar] 3d^5$
Mn^{2+}	$[Ar] 3d^5$

التوزيع الإلكتروني لأيونات الفلزات الانتقالية

تكون الفلزات الانتقالية حالات تأكسد متعددة (أيونات مختلفة الشحنة) لأن هناك عدة حالات وسطية عديدة تخفض الطاقة، فت تكون بالتألي أيونات أو حالات تأكسد أكثر استقراراً.

هذه الحالات هي تقريباً أقل طاقة بسبب:

- a. يكون المستوى الفرعى فارغاً كلياً.
- b. أو لأن كل فلك لديه إلكترون واحد فقط (أى مستوى فرعى نصف ممتلىء بالإلكترونات)، وبالتالي يقل التناقض بين الإلكترونات.
- c. المستوى الفرعى الممتلىء كلياً، والذي تكون فيه جميع الإلكترونات فيه مزدوجة وتتحرك في إتجاه متعاكس.



الشكل 2-12 التوزيعات الإلكترونية التي لديها أفضل (أقل) الطاقة.

- بالمقارنة مع العناصر الأخرى، تستطيع العناصر الانتقالية الوصول إلى توزيع إلكتروني أكثر استقراراً من دون أن تصبح مشابهة في تركيمها الإلكترونى لغاز نبيل.
- للعناصر الانتقالية توزيعات إلكترونية متعددة لديها طاقة أقل من خلال توزيع متماثل للإلكترونات يقلل من الطاقة عن طريق خفض التناقض بين الإلكترونات كما هو موضح في (الشكل 2-12).
- تفسر التوزيعات الإلكترونية منخفضة الطاقة المتعددة سبب امتلاك هذه العناصر حالات تأكسد متعددة، وتكون أيونات موجبة متعددة.

يوضح الشكل 13 التركيب الإلكتروني للأيونات الحديد (Fe) والمنجنيز (Mn). لكل من هذه الأيونات أحد التوزيعات الإلكترونية ذات الطاقة المنخفضة. الاختلافات في الطاقة صغيرة وتتأثر بالعناصر الأخرى في المركب وبالتركيب البلوري للمركب. وهذا يفسر العثور على كل من (Fe^{2+}) و(Fe^{3+}) في الماجنيت.

	4s	3d
Fe	1	1 1 1 1 1
Fe^{2+}		1 1 1 1 1
Fe^{3+}		1 1 1 1 1
Mn	1	1 1 1 1 1
Mn^{2+}		1 1 1 1 1

الشكل 2-13 التوزيع الإلكتروني لذرات وأيونات الحديد والمنجنيز.

كتابة التوزيع الإلكتروني للأيونات

- ابدأ بالتوزيع الإلكتروني للذرة.
- لاحظ عدد الإلكترونات التي يجب فقدانها للحصول على شحنة الأيون.
- أزل الإلكترونات الفلك (s) الخارجية قبل إزالة الإلكترونات من أفلاك (d).
- طبق قاعدة هوند لتحديد الإلكترونات المتبقية في أفلاك (d).

باستخدام موقع اليورانيوم فقط في الجدول الدوري، ما هو التوزيع الإلكتروني المتوقع لندرة اليورانيوم؟

باستخدام موقع العنصر فقط في الجدول الدوري، ما هو التوزيع الإلكتروني المتوقع لأيون Tm^{3+} ؟

الجدول 2 مثال للتوزيع الإلكتروني لبعض الأيونات.

ذرة/أيون	التوزيع الإلكتروني
V^{3+}	$[\text{Ar}] 4s^0 3d^2$
Co^{2+}	$[\text{Ar}] 4s^0 3d^7$
Mn^{2+}	$[\text{Ar}] 4s^0 3d^5$
Cr^{2+}	$[\text{Ar}] 4s^0 3d^4$
Cr^{3+}	$[\text{Ar}] 4s^0 3d^3$
Cr^{4+}	$[\text{Ar}] 4s^0 3d^2$

مثال 2

اكتب التوزيع الإلكتروني بحسب قاعدة هوند ومبدأ أوفباو لأيون Co^{3+} ؟

-
- الحل**
- ابحث أو توقع التوزيع الإلكتروني لندرة الكوبالت. (مبدأ أوفباو)
 - أيون Co^{3+} ثلاثة إلكترونات أقل مقارنة بذررة الكوبالت.
 - فقدان إلكترونين من المستوى الفرعي (s).
 - تمت إزالة الإلكترون الثالث من المستوى الفرعي (d).
 - طبق قاعدة هوند على ترميز المربع - السهم *.
-

* ملاحظة: يكون ترتيب المستويات الفرعية التقليدي وفق ترتيب ملئها لأول مرة بالإلكترونات.

أيونات العناصر الانتقالية كعوامل مؤكسدة ومحترلة

العامل المؤكسد هو مادة تنتزع الإلكترونات من مادة أخرى، وبذلك يختزل العامل المؤكسد في التفاعل ويقل عدد تأكسده.

العامل المخترل هو مادة تمنح الإلكترونات لمادة أخرى، وبذلك يتآكسد العامل المخترل في التفاعل يزداد عدد تأكسده.

يمكن أن تعمل ذرات وأيونات العناصر الانتقالية كعامل مؤكسد، أو عامل مخترل، أو كليهما معًا، وذلك اعتماداً على حالات التأكسد. ينطبق هذا على أي عنصر يمكن أن يظهر حالتي تأكسد أو أكثر بخلاف الصفر. يوضح الجدول 11-2 أمثلة على أنصاف تفاعلات لذرات وأيونات عنصر المنجنيز الانتقالية تبين كيف تعمل كعامل مؤكسد أو عامل مخترل أو كليهما معًا.

الجدول 11-2 أنصاف تفاعلات عوامل مؤكسدة ومحترلة.

	أنصاف تفاعلات	عامل مؤكسد/مخترل
1	$Mn^{+4} + 2e^- \rightarrow Mn^{+2}$	عامل مؤكسد
2	$Mn^{+4} \rightarrow Mn^{+7} + 3e^-$	عامل مخترل
3	$Mn^{+4} + e^- \rightarrow Mn^{+3}$	عامل مؤكسد
4	$Mn^{+4} + 4e^- \rightarrow Mn^0$	عامل مؤكسد
5	$Mn^0 \rightarrow Mn^{+6} + 6e^-$	عامل مخترل

- يمكن أن تعمل أيونات المنجنيز في حالة تأكسد (+4) كعامل مؤكسدة أو مخترلة عن طريق اكتساب أو فقدان الإلكترونات (1 و 2 في الجدول 11-2) وينطبق هذا على كل ذرة أو أيون يمكن أن يُظهرا حالة تأكسد أقل وأعلى من حالتها الحالية.
- تعمل بعض الجسيمات كعوامل مؤكسدة عن طريق سحب أعداد مختلفة من الإلكترونات من الجسيمات التي تعمل على أكسدتها (3 و 4 في الجدول 11-2).
- يظهر نصف التفاعل (5) أن ذرة المنجنيز (Mn^0) تعامل كعامل مخترل.
- لا تشكل العناصر الانتقالية حالات تأكسد سالبة، وبالتالي لا يمكن أن تكون ذرات العناصر الانتقالية عوامل مؤكسدة. وهذا صحيح لجميع الفلزات.

مثال 3

هل يمكن لأيون النحاس (I) (Cu^+) أن يعمل كعامل مؤكسد أو عامل مخترل أو كليهما معًا؟

الحل

- للنحاس حالات تأكسد نموذجية هي (+1) و (+2) و صفر. لذلك، يمكن لـ (Cu^+) أن يعمل كعامل مؤكسد عن طريق الحصول على إلكترون لتكون ذرة نحاس (Cu^0), وكعامل مخترل بفقدان (Cu^+) إلكترونًا لتكون أيون (Cu^{2+}) حالة تأكسده (+2).

تحديد العناصر الانتقالية وأيوناتها كعوامل مؤكسدة ومختزلة في تفاعلات الأكسدة والاختزال

تفاعل العوامل المؤكسدة والمختزلة عن طريق تبادل الإلكترونات. ولذلك، يوجد كلاهما على جانب المتفاعلات في المعادلة التي تمثل تفاعلاً كيميائياً غير انعكاسي. وللتعرف إلى العوامل المؤكسدة والمختزلة:

- يُبيّن حالات التأكسد لجميع العناصر.
- العناصر التي ازدادت حالة تأكسدها تكون قد فقدت الإلكترونات وحدث لها عملية أكسدة، فهي عوامل مختزلة.
- أمّا العناصر التي انخفضت حالة تأكسدها فقد اكتسبت الإلكترونات وحدث لها عملية اختزال، فهي عوامل مؤكسدة.

مثال 4



ما العوامل المؤكسدة والمختزلة في التفاعل الآتي؟



الحل

- عُيّن حالات التأكسد لجميع العناصر:



- ازدادت حالة تأكسد عنصر الحديد (Fe) من (0) إلى (+2) وبالتالي (Fe^0) هو عامل مختزل.
- انخفضت حالة تأكسد المنجنيز من (+7) إلى (+2). حيث مصدر (Mn^{+7}) هو KMnO_4 وبالتالي KMnO_4 هو عامل مؤكسد.

شيء للتفكير فيه: يُستخدم المصطلحان «الكسب» و«الخسارة» عند الحديث عن نقل الإلكترونات. وقد تكون العملية أفضل بأن توصف على أنها «نزع» و«فقدان» الإلكترونات، إذ لا يفقد أي جسيم الإلكترونات ما لم يكن هناك جسيم آخر جاذبيته للإلكترونات أكبر ليستطيع انتزاعها.

اشرح ما يجب أن يحدث في تفاعل واحد ليكون هناك أكثر من عامل مؤكسد أو أكثر من عامل مختزل.



مثال 5

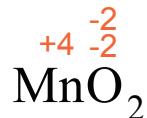


إذا عمل ثاني أكسيد المنجنيز، MnO_2 ، كعامل مؤكسد، فماذا يمكن أن تكون حالة أو حالات التأكسد الناتجة عن المنجنيز في النواتج؟

الحل

- تنزع العوامل المؤكسدة الإلكترونات من المواد الأخرى. في النتيجة تكتسب العوامل المؤكسدة الإلكترونات وتخترل.

- حالة تأكسد المنجنيز في MnO_2 هي +4.

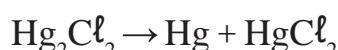


- سيؤدي اكتساب الإلكترونات إلى انخفاض حالة تأكسد المنجنيز.
- باستخدام الجدول 6-2، يمكننا تحديد حالات تأكسد المنجنيز الشائعة الأقل من (+4) لتكون (+3) و (+2). وإذا أختزل أيون المنجنيز إلى عنصر المنجنيز، فستكون حالة التأكسد المحتملة الأخرى هي صفرًا.

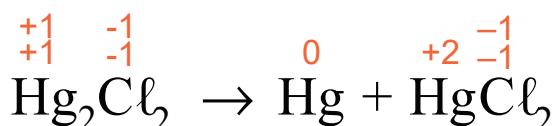
مثال 6



حدّد العامل المؤكسد والمختزل في التفاعل الآتي:



الحل



- عيّن حالات التأكسد لجميع العناصر.
- ازدادت حالة تأكسد إحدى أيونات الزئبق في Hg_2Cl_2 من +1 إلى +2 وانخفضت حالة تأكسد أيون آخر من +1 إلى الصفر.
- تم تحديد Hg_2Cl_2 كعامل مؤكسد وعامل مختزل في هذا التفاعل.

يُسمى "التفاعل"، حيث تتأكسد وتختزل المادة نفسها على حد سواء، بتفاعل عدم التناسب (أكسدة واحتزال ذاتي).





تفاعلات الحديد والفناديوم

2-2

ما ألوان أيونات الحديد والفناديوم في تفاعلات الأكسدة والاختزال	سؤال الاستقصاء
كبريتات الحديد (II) هي بيتاباهيدرات $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, برمجنات البوتاسيوم KMnO_4 , ثيوسيانات البوتاسيوم KSCN , ميتافاندات الأمونيوم NH_4VO_3 , حمض الكبريتيك H_2SO_4 , خارصين، دورق mL 100، دورق مخروطي، مخبر مدرج، ماصة.	المواد المطلوبة

الخطوات



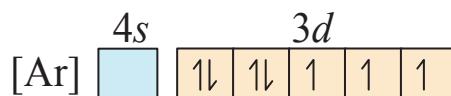
الجزء 1: تفاعل الحديد

1. أضف (25mL) من محلول كبريتات الحديد (II) إلى دورق سعة (100 mL) و(1 mL) تقريباً من محلول كبريتات الحديد (II) إلى أنبوب اختبار مُعنَون باسم "Fe²⁺" وسجّل لون محلول.
2. سجّل لون محلول برمجنات البوتاسيوم الحمضي وأضف قطرة في كلّ مرة إلى الدورق سعة (100 mL) المحتوي على محلول كبريتات الحديد (II). حرك الخليط بشكل دائري بعد إضافة كلّ قطرة.
3. بعد إضافة 5 قطرات، اسحب باستخدام الماصة (1 mL) تقريباً من هذا محلول وضعه في أنبوب اختبار ثانٍ مُعنَون «Fe³⁺».
4. استمرّ في إضافة محلول برمجنات البوتاسيوم الحمضي إلى الدورق سعة (100 mL) إلى أن تلاحظ تغييرًا دائرياً في اللون. سجّل لون هذا محلول.
5. أضف ثلاث قطرات من محلول ثيوسيانات البوتاسيوم لكلّ من أنبوب اختبار وحرك كلّ أنبوب بشكل دائري. سجّل اللون في كلّ أنبوب اختبار.
6. إذا أعطيت المعادلات الكيميائية لتفاعلات، حدد العوامل المؤكسدة والمختزلة. وبناءً على ملاحظاتك، ضع اللون الذي تظهره كلّ مادة تحت صيغتها في كلّ تفاعل.

الجزء 2: تفاعل الفناديوم

1. ضع (10 g) من الخارصين في دورق مخروطي سعة (250 mL).
2. باستخدام الماصة، اسحب (5 mL) من محلول ميتافاندات الأمونيوم وضعها في أنبوب اختبار وسجّل لون محلول.
3. أضف (150 mL) من محلول ميتافاندات الأمونيوم إلى دورق مخروطي سعة (250 mL) يحتوي على الخارصين وأبدأ بتحريك الدورق بشكل دائري.
4. بعد كلّ تغيير لون ملحوظ، اسحب باستخدام الماصة (5 mL) من محلول الموجود في الدورق المخروطي سعة (250 mL) وضعها في أنبوب اختبار جديد. قم بإنهاء التجربة عندما يصبح لون محلول أرجوانياً في أنبوب الاختبار.
5. إذا أعطيت المعادلات الكيميائية لتفاعلات التي حدثت، حدد العوامل المؤكسدة والمختزلة لكلّ تفاعل.

- 1.** أيٌ من مجموعات الجُسيمات الآتية متساوية إلكترونياً (أيزو إلكتروني) في توزيعها الإلكتروني؟ 
- | | |
|--|--------------------------|
| Co و Cr ³⁺ .c | V ³⁺ و Sc .a |
| Zn ²⁺ و Cu ²⁺ .d | Ni ²⁺ و Fe .b |
- 2.** من أيٍ فلك يتم فقد أول إلكترون من ذرة عنصرٍ انتقالٍ في السلسلة الأولى لتكوين أيون موجب؟ 
- | | |
|-------|-------|
| 3d .c | 3s .a |
| 4d .d | 4s .b |
- 3.** أيٌ مما يأتي هو التوزيع الإلكتروني الصحيح للأيون Zn²⁺؟ 
- | | |
|---|--|
| [Ar]4s ⁰ 3d ¹⁰ .c | [Ar]4s ⁰ 3d ⁸ .a |
| [Ar]4s ² 3d ¹⁰ .d | [Ar]4s ² 3d ⁸ .b |
- 4.** أيٌ من الآتي يمثل العامل المختزل في المعادلة الكيميائية الآتية؟ 
- $$\text{Cr}_{(s)} + 2\text{HCl}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Cr}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})} + \text{H}_{2(\text{g})}$$
- | | |
|---------------------|--------------------|
| Cr ²⁺ .c | Cr .a |
| HCl .d | Cl ⁻ .b |
- 5.** طبقاً للجدول 2-6، أيٌ جسيم يمكن أن يعمل كعامل مؤكسد ومختزل في الوقت نفسه؟ 
- | | |
|---------------------|---------------------|
| Sc ³⁺ .c | Ni ²⁺ .a |
| Mn ⁷⁺ .d | Cu ²⁺ .b |
- 6.** اشرح سبب عدم قدرة ذرات الفلزات على العمل كعوامل مؤكسدة؟ 
- 7.** هل يكون الحديد عاملاً مؤكسداً أو عاملاً مختزالاً إذا تغيرت حالة تأكسده في التفاعل من صفر إلى (+2)؟ اشرح إجابتك. 
- 8.** ما الذرة التي لدى أيونها (+3) توزيع إلكتروني حسب قاعدة هوند بترميز "المربع-السهم" باستخدام الغاز النبيل الآتي؟ 



استخدامات الفلزات الانتقالية وأيوناتها Uses of Transition Metals and Ions



الشكل 14-2 (a) وعاء قديم مصنوع من النحاس.
(b) نقود رومانية قديمة مصنوعة من الفضة. (c) تمثال قديم مصنوع من الذهب.

أدت الفلزات الانتقالية دوراً مهماً في تاريخ البشرية قبل أن يصمّم مندلييف أول جدول دوري، وقبل حتى أن يكون لدى الجنس البشري أيّة معرفة بمفهوم العناصر.

الذهب والفضة والنحاس فلزات انتقالية، وهي الفلزات الوحيدة التي يمكن العثور عليها في القشرة الأرضية في الحالة المنفردة وبكميات كبيرة أيضاً. ونتيجة لخصائصها المميزة والتي يُعدُّ بعضها غير نشط كيميائياً، فقد استُخدمت هذه الفلزات لآلاف السنين في صنع النقود المعدنية، والمجوهرات وغيرها من المواد الأخرى الثمينة والقيمة (انظر الشكل 14-2).

المفردات



Catalyst	عامل حفاز
Complexes	المُركّبات المعقدة
Complex ion	أيون مركب معقد
	ليجننات أحادية الترابط
Monodentate ligands	ليجننات ثنائية الترابط
Bidentate ligands	ليجننات متعددة الترابط
Polydentate ligands	
Coordination number	عدد التناسق
Counter ion	أيون مقابل

مخرجات التعلم

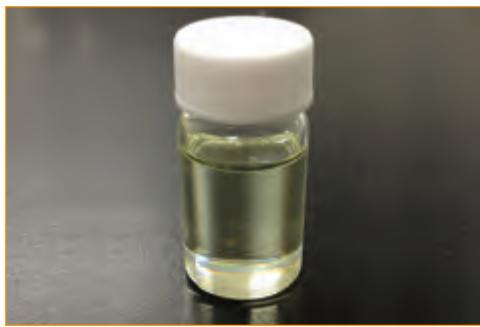
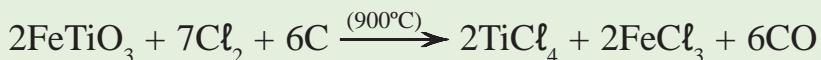
C1202.4 يذكر بعض الاستخدامات الشائعة لبعض العناصر الانتقالية، بما في ذلك أمثلة على عملها كعوامل حفازة، ويربط استخدام العناصر الانتقالية مع خصائصها.

C1202.5 يوضح أن العناصر الانتقالية تتّحد مع كلا الليجننات (المتراكبات) الأحادية والثنائية من خلال الروابط التناسقية لتكوين المُركّبات المعقدة، والتي غالباً ما تكون ملوّنة. ويعطي أمثلة على تفاعلات تبادل الليجننات (المتراكبات).

رباعي كلوريد التيتانيوم



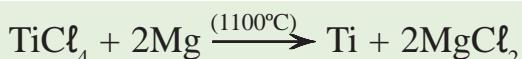
رباعي كلوريد التيتانيوم $Titanium\ tetrachloride$ ($TiCl_4$) مركب مفید للغاية وغير اعتيادي، ينبع في الغالب من تفاعل خام التيتانيوم، وهو الإليمينيت $FeTiO_3$ (Ilmenite)، مع غاز الكلور والكربون عند درجة حرارة مرتفعة، ويمثل هذا التفاعل بالمعادلة الكيميائية الآتية:



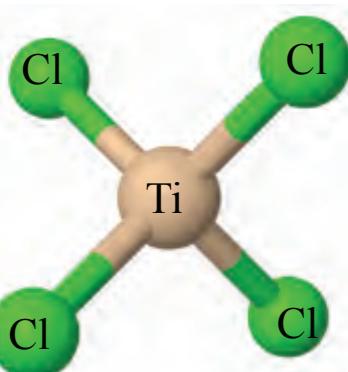
الشكل 15-2 رباعي كلوريد التيتانيوم

عند درجة حرارة الغرفة يُعد مركب $TiCl_4$ سائلاً صافياً وعديم اللون . وهو أكثر كثافة من الماء بمقدار 70% ، ومتطاير بشكل كبير (انظر الشكل 15-2). وجوده في هيئة سائل ما هو إلا مؤشر ودليل مقنع على أنّ مركب $TiCl_4$ هو مركب تساهميّ، إذ تُعد هذه خاصيّة غير اعتياديّة بشكل كبير لـهاليدات الفلزات الانتقالية، حيث أن معظم هاليدات الفلزات عبارة عن مواد أيونيّة، أو بوليمرات صلبة عند درجة حرارة الغرفة. ويرجع سبب خاصيّة تطايره هذه بشكل كبير إلى شكل جزيئه الهرمي ذي الأوجه الأربع (انظر الشكل 16-2)، ما يؤدّي إلى ضعف نسبي في قوى التجاذب البينيّة الجزيئية الناشئة عن قوى لندن التشتتية.

تنبع معظم كمية فلز التيتانيوم (انظر الشكل 17-2) عن طريق تفاعل $TiCl_4$ وفلز المغنيسيوم عند درجة حرارة مرتفعة بحسب التفاعل المبين بالمعادلة الكيميائية الآتية:



مُركب ثاني أكسيد التيتانيوم، $Titanium\ oxide$ TiO_2 ، عبارة عن صبغة ناصعة البياض تُستخدم في الدهانات والمواد البلاستيكية ومستحضرات التجميل والعناية بالبشرة. تفاعل رباعي كلوريد التيتانيوم مع الماء ينبع عنه ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 ، وغاز كلوريد الهيدروجين HCl كناتج ثانوي. كان هذا التفاعل يُستخدم من قبل الطائرات والسفن الحربية في الحرب العالمية الثانية لإنتاج ستار دخاني يحجب الأنشطة العسكريّة، بحيث يتشكّل TiO_2 في هيئة بلورات صغيرة للغاية، ويُنتج سحابة بيضاء تقاوم التشتت.



الشكل 16-2 النموذج الجُزئي الهرمي للشكل ذو الأوجه الأربع لرباعي كلوريد التيتانيوم.



الشكل 17-2 سلك قياس ثقيل من التيتانيوم.

استخدام العناصر الانتقالية كعوامل حفّازة

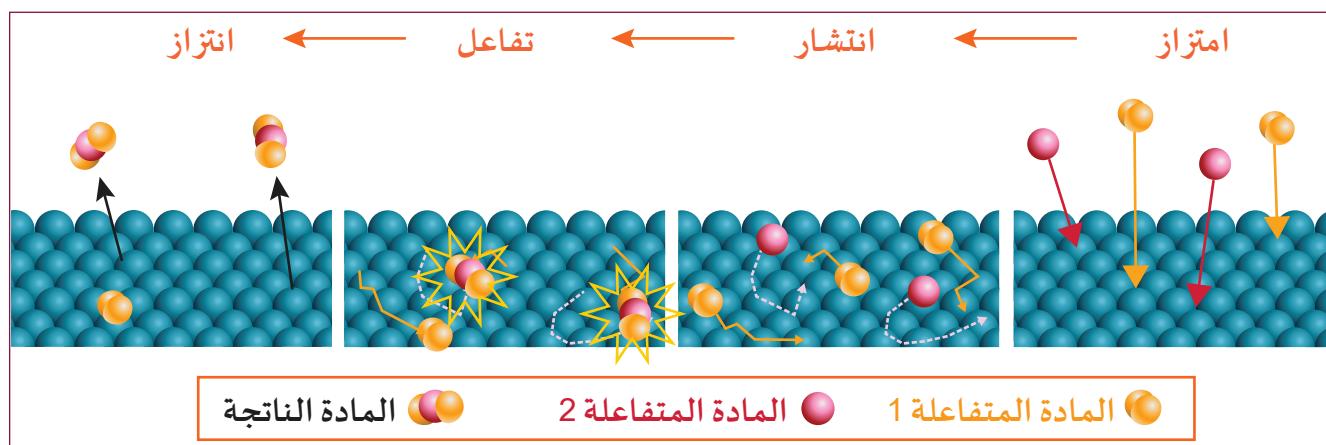
استخدام مهم للغاية للفلزات الانتقالية، ويتمثل في كونها **عوامل حفّازة Catalysts** في التفاعلات الكيميائية.

 ١- العامل الحفّاز مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي من خلال تقليل طاقة التنشيط، دون أن تستهلك في أثناءه ومن دون أن تتغير بشكل ملحوظ.

تزودنا المواد الحفّازة بآلية تفاعل بديلة يمكن من خلالها أن تتفاعل المواد المتفاعلة لإنتاج نفس المواد الناتجة التي يمكن أن تنتج عن التفاعل غير المحفّز. يسرّع العامل الحفّاز التفاعل الكيميائي من خلال خفض طاقة تنشيط التفاعل لتصبح أقل بكثير مما هي عليه في التفاعل غير المحفّز. وتبيّن الخطوات الأربع الآتية كيف تعمل المادة المحفّزة الصلبة، مثل البلاتين، على إجراء التفاعل:

١. الامتاز adsorption: يتم امترار الجزيئات المتفاعلة، مثل NO، على سطح العامل الحفّاز، مثل البلاتين بسبب التجاذبات التي تحدث بين العامل الحفّاز والجزيئات المتفاعلة.
٢. الانتشار diffusion: تنتشر (تهاجر) الجزيئات المتفاعلة على طول سطح العامل الحفّاز إلى أن تتصادم.
٣. التفاعل reaction: يُضعف التجاذب الموجود بين العامل الحفّاز والمادة المتفاعلة روابط محددة موجودة في أحد جزيئي المادتين المتفاعلين أو في كلِّيما متىحاً بذلك حدوث تفاعل سريع عند التصادم.
٤. الانتزاز (عكس الامتاز) desorption: تصبح خصائص المادة الناتجة مختلفة كلياً عن المادة المتفاعلة، ويرجع سبب التغيير في الخصائص إلى الاختلافات التركيبية التي تجعل المادة الناتجة غير منجذبة نحو سطح المادة الحفّازة كما كانت من قبل. وفي غياب هذا النوع من التجاذب تنفصل جزيئات المادة الناتجة عن سطح العامل الحفّاز.

تُعدّ الفلزات الانتقالية ومركباتها عوامل حفّازة جيّدة بسبب قدرتها على تغيير حالة التأكسد، أو امترار المواد الأخرى على سطحها، كما في حالة الفلزات الانتقالية. ويوضح الشكل 2-18 هذه العملية.



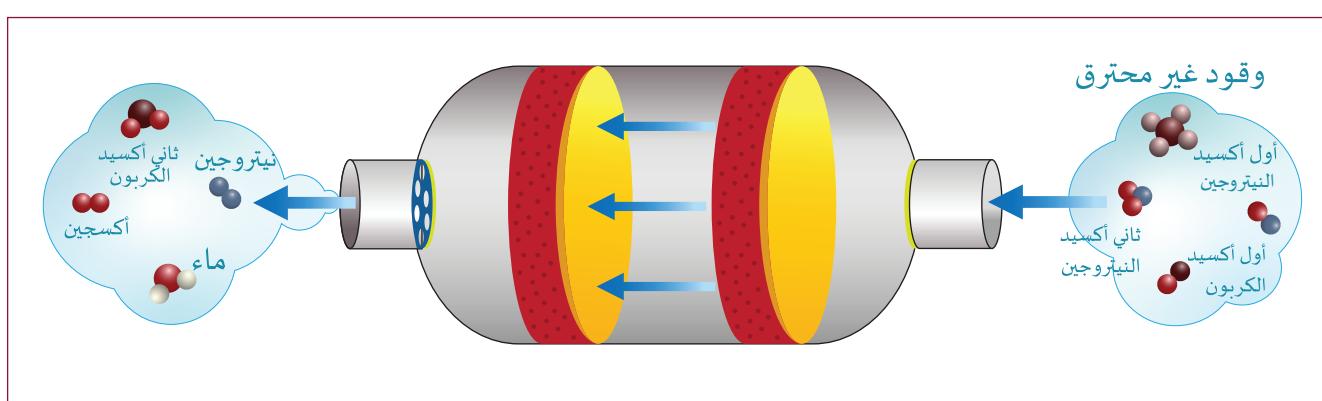
الشكل 2-18 الخطوات الأربع للتفاعل المحفّز.

المحوّلات الحفّازة



الشكل 19-2 (a) مقطع عرضي لمحوّل حفّاز. (b) قطع من مواد من السيراميك من المحوّل الحفّاز

ينتج العادم الموجود في المحركات التي تعمل بالجazoلين (البنزين) غازات خطيرة ملوثة مثل أول أكسيد النيتروجين (NO), وأول أكسيد الكربون (CO). وقبل أن ينطلق الغاز العادم إلى البيئة، فإنه يمرّ عبر جهاز يُسمّى "محوّلاً حفّازاً" (انظر الشكل 19-2a). في داخل هذا المحوّل الحفّاز مادة من السيراميك ذات مساحة سطح كبيرة مغطّاة بفلزات انتقالية مثل الروديوم، أو البلاديوم أو البلاتين (انظر الشكل 19-2b). تساعد مساحة السطح الكبيرة على معالجة الغاز العادم بسرعة كبيرة. وتتصرّف الفلزات الانتقالية كعوامل حفّازة لتعمل على تغيير الغازات الملوثة كيميائياً مع الوقود غير المتفاعلي إلى جزيئات أقلّ ضرراً، مثل N_2 و CO_2 و H_2O (انظر الشكل 20-2).



الشكل 20-2 الغازات الداخلة والخارجة عبر المحوّل الحفّاز.

المثبتات عكس العوامل الحفّازة، فهي تُبطئ التفاعلات الكيميائية من خلال جعل عملية التفاعل أكثر صعوبة. بالإضافة إلى ذلك، كيف يمكن للمادة المثبتة أن تجعل عملية اندماج المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي أكثر صعوبة.



استخدامات الفنadiوم والمنجنيز والتيتانيوم



الشكل 21-2 بورات الفناديوم ذات الألوان القزحية.

الفناديوم

عند إضافة كميات ضئيلة من الفناديوم إلى الفولاذ، فإنّ هذا يزيد من قوّته ومقاومته للتأكل على نحو كبير. يُستخدم الفناديوم أيضًا كعامل حفاز في عملية إنتاج حمض الكبريتิก المستخدم في تكرير النفط. يُعدُّ الفناديوم (انظر الشكل 21-2) من الفلزات النادرة نسبيًا، ويوجد في القشرة الأرضية بنسبة مقدارها 0.012% فقط.

مركبات الفناديوم سامة، وتؤدي إلى تآكل بعض الأوعية المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ. لذا، فإنّ وجود هذه المركبات في النفط الخام غير مرغوب فيه. وإذا كان بالإمكان تطوير طائق فعال لإزالة الفناديوم من النفط الخام، فإنّ شركات النفط ستكون قادرة على إنتاج جزء قيّم من البترول وتكرير منتج صديق للبيئة.

المنجنيز

يُستخدم المنجنيز لمنع حدوث الصدأ والتآكل على الفولاذ. يُعدُّ المنجنيز المتأين جزءًا من الأصباغ الصناعية التي تدخل في الكثير من الألوان، والتي تعتمد على حالة التأكسد لאיونات المنجنيز (Mn^{2+}). يُستخدم ثاني أكسيد المنجنيز كمادة كاثود (مستقبل الإلكترونات) في البطاريات التي تتكون من الخارصين-الكريون، والبطاريات القلوية. تُعدُّ برمجيات الفلزات القلوية والقلوية الأرضية أيضًا مواد مؤكسدة قوية. أمّا في علم الأحياء، فتُعدُّ أيونات المنجنيز (Mn^{2+}) ضرورية للكثير من الإنزيمات التي تعمل على استقلاب (أيضاً) الأكسجين، بما في ذلك عملية البناء الضوئي التي تحدث في النباتات.

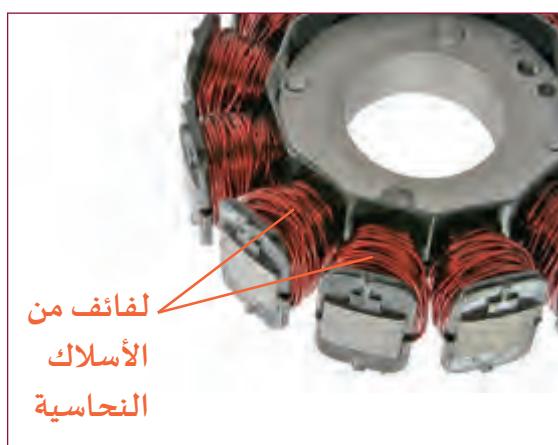


الشكل 22-2 (a) يُستخدم التيتانيوم في زراعة الأسنان.
(b) صورة أشعة للمرفق تبيّن الصنفان والبراغي المثبتة فيه والمصنوعة من التيتانيوم. (c) كرة العوض (الورك) ومقبس الزراعة المصنوعة من التيتانيوم.

التيتانيوم

يحتلّ عنصر التيتانيوم المرتبة التاسعة من حيث كثرته ووفرته في القشرة الأرضية، إذ يشكّل ما يزيد عن 0.565% من كتلتها. والتيتانيوم عنصر قويٌّ جدًا عندما يكون في هيئته الفلزية، إلا أنّه فلزٌ خفيف الوزن وأكثر قوّة من الفولاذ، غير أنّ كثافته أقلّ من نصف كثافة الفولاذ. يُعرف عن عنصر التيتانيوم بأنه مقاوم للتآكل، ولكنه في الحقيقة فلزٌ نشيط وفعال، ويتأكسد بسرعة ليشكّل طبقة قوية وقادية ومقاومة كيميائيًا. وهو فلزٌ متافق مع الأنسجة الحيوية، يُستخدم بشكل واسع في الزراعات الطبية (انظر الشكل 22-2).

استخدامات النحاس والنيوبيوم والحديد



الشكل 2-23 أحد استخدامات النحاس في أجزاء المحولات والمولدات.

النحاس

يُعد النحاس موصلًا جيدًا للكهرباء ، وهو يأتي في المرتبة الثانية بعد الفضة، وهو الفلز الأساسي المستخدم لتوصيل الكهرباء. جميع دول العالم تستخدم الموصلات الكهربائية المصنوعة من النحاس في ألواح دوائر الحاسوب، وفي داخل المنازل. وتُعد بعض سبائك النحاس مهمة أيضًا، بما فيها النحاس الأصفر (brass) والبرونز. تتكون سبيكة البرونز من النحاس والقصدير، أما سبيكة النحاس الأصفر فتتكون من النحاس والخارصين.

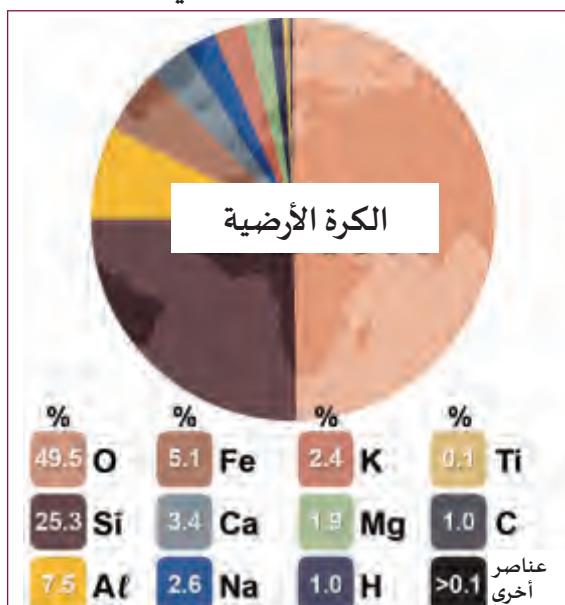
النيوبيوم

النيوبيوم فلز فضي اللون مقاوم للتأكل، يستخدم في السبائك ذات القوة الفائقة مثل الفولاذ المقاوم للصدأ. تُستخدم السبائك التي تحتوي على النيوبيوم في محركات الطائرات النفاثة والصواريخ، وفي القواطع والعوارض المستخدمة في البناء، وفي منصات النفط وخطوط أنابيب نقل البترول والغاز. يُستخدم هذا الفلز أيضًا في المغناطيسات ذات التوصيل الممتاز المستخدمة في مسرعات الجسيمات، وفي ماسحات أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي. ويزيد أكسيد النيوبيوم معامل الانكسار، مما يتيح صنع نظارات تصحيحية للنظر ذات عدسات أرق وأقل سمكًا.

الحديد

الحديد عنصر نشط في كثير من المركبات التي تستخدمها الكائنات الحية مثل بروتين الهيموجلوبين الذي ينقل الأكسجين عبر جميع أنحاء أجسامنا.

ويُعد الحديد العنصر الأكثر إنتاجًا من حيث كتلته من بين العناصر جميعها المستخدمة في التكنولوجيا



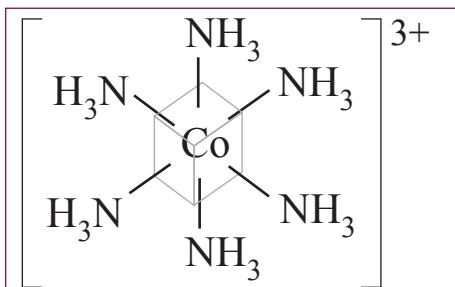
الشكل 2-24 النسب المئوية لوجود العناصر في القشرة الأرضية.

وحالياً يتم إنتاج المئات من سبائك الفولاذ التي لها سلسلة عريضة من الخصائص، بما فيها زيادة القوة، وقابلية الطرق والسحب، ومقاومة التآكل. ويُعد الفولاذ المادة التركيبية الأكثر أهمية، والتي تُستخدم في البناء وتشييد الأبراج والجسور وتصنيع هياكل السيارات والمحركات والأدوات بالإضافة إلى ملايين المنتجات المنزلية.

المُركّبات المعقّدة للفلزات الانتقالية

يمكن أن ترتبط أيونات الفلزات الانتقالية بالليجننات المتعادلة والمشحونة على حد سواء لتشكيل **مُركّبات معقّدة Complexes**. في هذه المُركّبات المعقّدة، يشغل أيون الفلز الانتقالي الموضع المركزي، بحيث يمكن أن ترتبط ليجند واحدة أو أكثر بالأيون المركزي. أما **عدد التناسق Coordination number** فهو عدد الليجننات المتصلة بأيون الفلز المركزي. واستناداً إلى شحنة الأيون المركزي والشحنة الموجودة على الليجننات، يمكن أن يكون المُركّب المعقّد متعدلاً، أو مشحوناً بشحنة موجبة أو سالبة. وعندما يكون المُركّب المعقّد مشحوناً يُسمى **أيون المُركّب المعقّد Complex ion**.

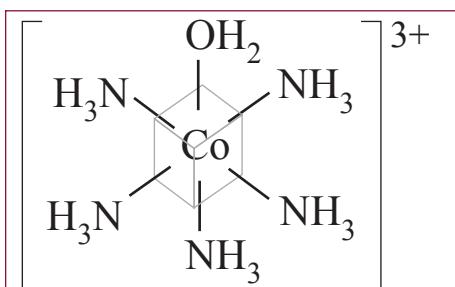
 - المُركّبات المعقّدة هي أنواع متعادلة أو مشحونة، تتكون من أيون فلز مركزي مرتبط بليجند واحدة أو أكثر.



الشكل 25-2 أيون المُركّب المعقّد $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$

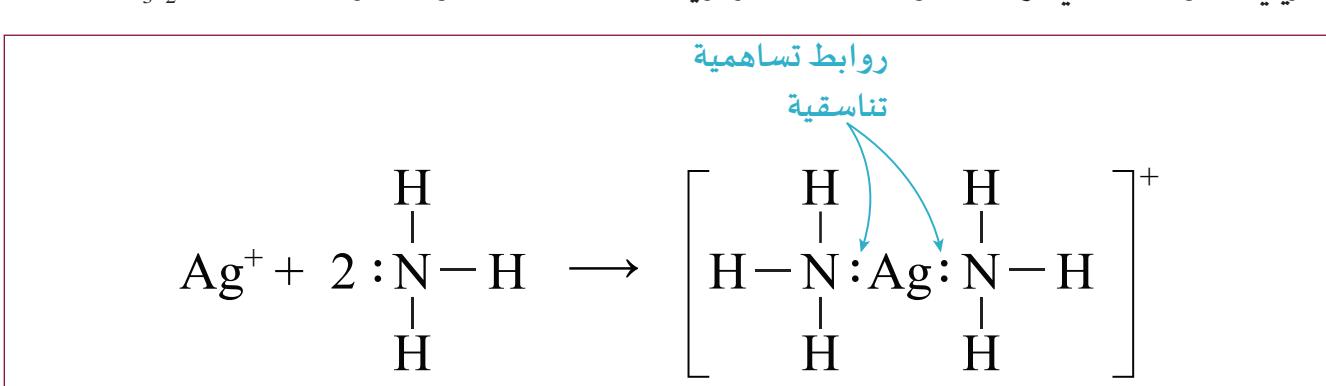
يبين الشكل 25-2 تركيب أيون المُركّب المعقّد $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$. في هذا الأيون المُركّب المعقّد، يمثل Co^{3+} أيون الفلز المركزي، حيث ترتبط به (6) جزيئات أمونيا (NH_3) بوصفها ليجننات. ويعطي هذا الأيون $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ محلول لوناً أصفر برتقاليًا.

يمكن أن يرتبط بأيون الفلز الانتقالي نفسه أكثر من نوع واحد من الليجننات في المُركّب المعقّد نفسه. ويبين الشكل 26-2 أيون المُركّب المعقّد $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{H}_2\text{O})]^{3+}$ ، حيث استبدل الماء H_2O بإحدى ليجننات الأمونيا NH_3 الستة. ويعطي هذا الأيون $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{H}_2\text{O})]^{3+}$ محلول لوناً أحمر.



الشكل 26-2 أيون المُركّب المعقّد $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{H}_2\text{O})]^{3+}$

ترتبط الليجننات من خلال الارتباط بزوج إلكترونات غير مرتبطة منها بالفلك (d) الفارغ الموجود حول الأيون المركزي. وبالتالي، فإنّ هذه الرابطة عبارة عن رابطة تساهمية تناسقية. ويبين الشكل 27-2 زوج إلكترونات المنفرد غير المرتبط الموجود على كل جزيء من جزيئي الأمونيا، والذي ارتبط بأيون الفضة المركزي (Ag^+) لتشكيل أيون المُركّب المعقّد $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$.



الشكل 27-2 الرابطة التساهمية التناسقية الموجودة في أيون المُركّب المعقّد $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$

أنواع الليجندات

يمكن أن تمتلك الليجندات أكثر من ذرة لها زوج من الإلكترونات المنفردة غير المرتبطة. ومثل هذه الليجندات يمكن أن ترتبط بأكثر من زوج من الإلكترونات المنفردة غير المرتبطة مع الأيون المركزي استناداً إلى الموقع الفراغي الهندسي لازواج الإلكترونات هذه. الذرة المنفردة الموجودة في الليجند يُمكن أن تمتلك أكثر من زوج واحد من الإلكترونات المنفردة غير المرتبطة، ولكنها ترتبط بزوج واحد فقط منها مع الأيون المركزي. وتُسمى الليجندات التي ترتبط بزوج واحد فقط من الإلكترونات المنفردة غير المرتبطة **الأحادية الترابط**. ويوجد في الجدول 2-12 بعض الأمثلة على ليجندات أحادية الترابط.

 ترتبط الليجندات الأحادية الترابط بزوج واحد فقط من الإلكترونات المنفردة غير المرتبطة مع أيون الفلز المركزي الموجود في المركب المعقد

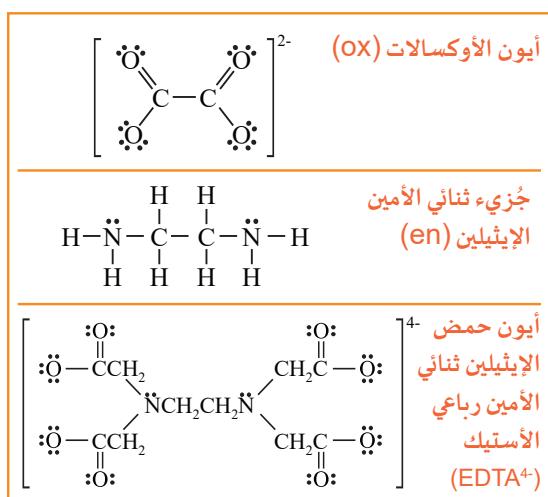
الجدول 2-12 بعض الليجندات الأحادية الترابط المختارة.

ليجندات أحادية الترابط					
الليجند	تركيب لويس	الاسم	الليجند	تركيب لويس	الاسم
F^-	:F:	أيون الفلوريد	Cl^-	:Cl:	أيون الكلوريد
Br^-	:Br:	أيون البروميد	I^-	:I:	أيون اليوديد
H_2O		الماء	NH_3		الأمونيا
OH^-	:O-H	أيون الهيدروكسيد	CO	:C≡O:	أول أكسيد الكربون
CN^-	:C≡N:	أيون السيانيد	SCN^-	:S-C≡N:	أيون الثيوسينات

يمكن أن ترتبط بعض الليجندات، مثل أيون الأوكسالات (ox) (انظر الجدول 2-13) بزوجين من الإلكترونات من ذرتين من ذرات الأكسجين الأربع التي يمتلكها هذا الأيون، وتُسمى هذه الليجندات التي ترتبط بزوجين من الإلكترونات **الليجندات الثنائية الترابط**.

جزيء ثانوي أمين الإيثيلين (en) (انظر الجدول 2-13) مثلاً، هو عبارة عن ليجند ثنائى الترابط. إذ لا يمكن أن تُشارك الإلكترونات المنفردة غير المرتبطة جماعياً

الجدول 2-13 بعض ليجندات متعددة الترابط.



الموجودة على الليجند أيون الفلز المركزي. ويرجع هذا في الغالب إلى المحددات الفراغية الهندسية الموجودة بين الأيون المركزي والليجند. يمتلك أيون حمض الإيثيلين ثانوي الأمين رباعي الأستيك (EDTA⁴⁻) الذي يحمل الشحنة (4-) المبين في الجدول 2-13 عدداً من أزواج الإلكترونات المنفردة غير المرتبطة. يرتبط هذا الأيون في العادة بستة من أزواج الإلكترونات هذه بالاعتماد على أيون الفلز المركزي. وتُسمى هذه الليجندات التي ترتبط بأكثر من زوجين من الإلكترونات **الليجندات المتعددة الترابط**.

ألوان المركبات المعقدة للفلزات الانتقالية

عندما ترتبط الليجننات بأيونات الفلزات الانتقالية، تنفصل أفلاك (d) في طاقتها. يؤدي هذا الانفصال في الطاقة إلى إنتاج عدد من المركبات المعقدة تظهر بلون مميز عند ملاحظتها في الضوء الأبيض. عندما ترتبط ليجننات مختلفة بأيون الفلز الانتقالي، تنقسم أفلاكها من نوع (d) ببطاقات مختلفة. وبالتالي، فعند استبدال الليجننات من أيون الفلز المركزي بليجننات أخرى مختلفة، يختلف لون المركب المعقد الجديد عن المركب المعقد الذي يسبقه.

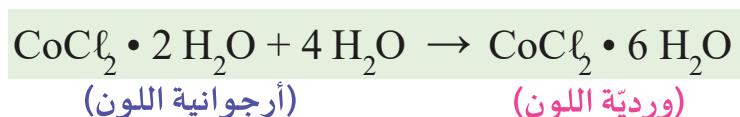
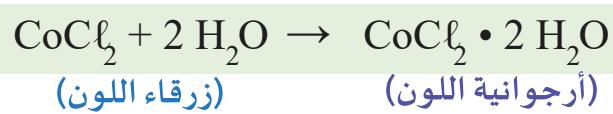


الشكل 28-2 حجر كريم مقصوص ومصفول من: (a) الياقوت، (b) الزمرد.

إن الألوان المميزة التي تظهر بها أحجار الياقوت والزمرد الكريمة يرجع سببها إلى وجود شوائب مكونة من أيونات (Cr^{3+}) في بلورات كلّ منها: أحجار الياقوت الكريمة هي بلورات من أكسيد الألومنيوم، Al_2O_3 ، أمّا أحجار الزمرد الكريمة فهي بلورات من سيليكات الألومنيوم البريليوم، $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$. وقد استبدل بما يقارب (1%) من أيونات الألومنيوم في كلتا البلورتين بأيونات الكروم (III) عندما تشكّلت هذه البلورات. والأيونات الموجودة في حجارة الياقوت تُقسم أفلاك أيونات الكروم من نوع (d) بشكل مختلف عن الأيونات الموجودة في حجارة الزمرد، ويكون الناتج عبارة عن ألوان مميزة لكلّ حجر كريم منها (انظر الشكل 28-2).

إن بلورات كلوريد الكوبالت (II)، CoCl_2 ، غير المائية (وتعني بدون ماء) ذات لون أزرق. عندما تتعرّض هذه البلورات إلى الرطوبة، سترتبط جزيئات الماء بالتركيب البلوري لبلورات كلوريد الكوبالت (II)، $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. وعندما تمتّص هذه البلورات كمية كافية من الماء لتكون مركّب ثنائي الماء، $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، تحدث إزاحة في طاقة أفلاك (d) المنفصلة بالفعل نتيجة وجود أيونات الكلوريد مما يؤدي إلى تكوين بلورات أرجوانية اللون. ومع الاستمرار بامتصاص الرطوبة، تُشكّل البلورات في النهاية مركّباً سداسي الماء، $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، فيتغيّر لون البلورات إلى اللون الوردي. والمعادلات الكيميائية التي تمثّل هذه التحوّلات هي على النحو الآتي:

وضّح كيف يمكن عكس تميّه مركب سداسي كلوريد الكوبالت (II)، وكيف يمكنك أن تعرف أنَّ عملية إزالة الماء منه كانت مكتملة.



تابع - ألوان المركبات المعقدة للفلزات الانتقالية

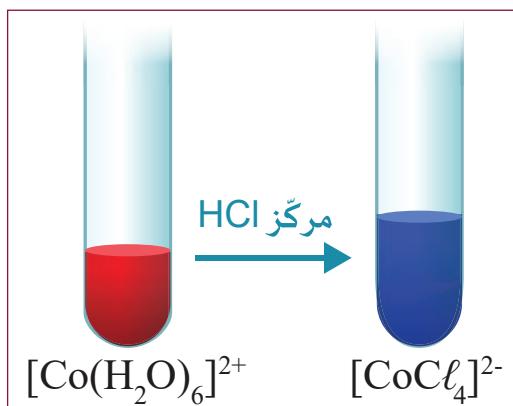


الشكل 29 مزهرية ووعاء لونهما "أزرق الكوبالت".

تنصهر أيونات الكوبالت في الزجاج فتضفي عليه لوناً أزرق جميلاً (انظر الشكل 29-2)، وينسب هذا اللون الأزرق إلى الكوبالت، لذلك يُسمى "أزرق الكوبالت". وتنصهر أيونات الفلزات الأخرى في الزجاج المنتجة بذلك ألواناً مختلفة.

عندما توضع أيونات المركبات المعقدة في المحاليل التي تحتوي على ليجنادات محتملة، يمكن أن يحدث تفاعل متبادل، حيث تتساوى الليجنادات الموجودة في المحاليل مع الليجنادات الموجودة

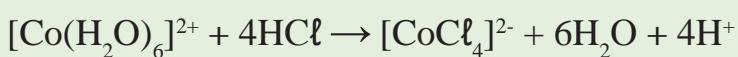
في أيونات مركبات المعقد، إذا كانت الليجننات الجديدة ستكون روابط مع أيون الفلز المركزي أقوى من الليجننات المرتبطة الموجودة أصلاً.



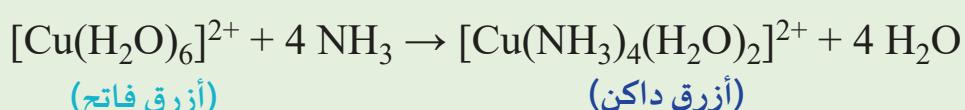
الشكل 2-30 تبادل الليجندر كوبالت (II).

على سبيل المثال، تكون أيونات الكوبالت (II) المائية Co^{2+} أيون مركب معقد الكوبالت (II) سداسي الماء، $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$: عند إضافة حمض الهيدروكلوريك المركّز إلى محلول، ستتبادل أيونات الكلوريد (Cl^-)، القادمة من حمض الهيدروكلوريك مع ليجننات جزيئات الماء المرتبطة بأيون الكوبالت (II) المركزي لتكوين أيون مركب معقد رباعي كلوريد الكوبالت (II) $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ عندها سيتغير لون محلول من اللون الوردي إلى اللون الأزرق الداكن عندما تحدث عملية تبادل الليجننات (انظر الشكل 2-30).

والمعادلة الكيميائية التي تصف هذا التفاعل هي على النحو الآتي:



في بعض الأحيان يمكن أن يحدث تبادل جزئي بين الليجننات، كما هو الحال عند حدوث تفاعل بين أيون معقد النحاس سداسي الماء، $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$ ، والأمونيا، NH_3 . في هذا التفاعل، سيحدث تبادل بين أربع من ليجننات جزيئات الماء المست وأربع جزيئات أمونيا، بحيث يكون لون محلول في البداية أزرق فاتحًا، ثم يتغير لونه بسرعة إلى الأزرق الداكن جدًا نتيجة لتكوين أيون مركب معقد جديد. تكون عملية تبادل الليجننات في الغالب غير مكتملة عندما يحدث تداخل فراغي (غير مرتبط-موضعي) بين الليجننات. هذا يعني أن عملية تبادل الليجننات تتوقف قبل أن يتم تبادل الليجننات جميعها إذا احتلت الليجننات الجديدة مساحة أكبر حول أيون الفلز المركزي من الليجننات المستبدلة.



أعداد التناصق للمركبات المعقّدة

عدد التناصق للمركب المعقد هو عدد الليجننات المرتبطة (ذرات أو جزيئات أو أيونات) بشكل مباشر بأيون الفلز المركزي. ويتم تحديد هذه الليجننات عن طريق تضمين كلٌ من الصيغة الكيميائية للإيجننات وعدد هذه الإيجننات الموجودة في داخل القوسين المريعين للصيغة الكيميائية لأيون المركب المعقد.

تكون قيمة أعداد التناسق في الغالب ضمن مدى يقع بين 2 إلى 12؛ وأكثر أعداد التناسق شيوعاً هما 4، و6، أمّا التناسق ذات القيمة الفردية ف تكون نادرة جدًا. ويمكن أن تكون أيونات المركب المعقد مركبات عن طريق الروابط الأيونية مع الأيونات المشحونة بشحنات متعاكسة أو مع أيونات مركب معقد مشحونة بشحنات متعاكسة، وهذه الأيونات تسمى **الأيونات المقابلة Counter ions**، وهي أيونات غير مربطة بشكل مباشر بأيون الفلز المركزي مثل ارتباط الليجننات به. في الصيغة الكيميائية، توضع رموز **الأيونات المقابلة** في خارج القوسين المرتبعين لصيغة أيون المركب المعقد الكيميائية.

مثال 7



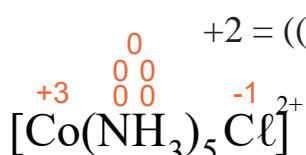
حدّد أيون المركب المعقد، والأيونات المقابلة، والشحنة الموجودة على أيون المركب المعقد، والليجندرات، وعدد التناسق لـأيون الفلز المركزي، والشحنة الموجودة على أيون الفلز المركزي للمركب



الحل

- توجد صيغة أيون المركب المعقد في داخل القوسين المربعين في الصيغة الآتية: $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{2+}$
 - الأيونات المقابلة هي أيون الكلوريد الموجودان في الصيغة: $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$.
 - يمتلك كلّ أيون من أيوني الكلوريد شحنة سالبة واحدة (Cl^{-1}). لذا، يجب أن يمتلك أيون المركب المعقد شحنة موجبة تساوي $(+2)$.

$$[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{\substack{+2 \\ -1}}\text{Cl}_2$$
 - أيون الكوبالت هو أيون الفلز المركزي، وهو مرتبط بنوعين من الليجننات، هما: (الأمونيا (NH_3))، والكلوريد (Cl^{-1}) : $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{2+}$.
 - هنالك 5 جزيئات NH_3 أحادية الترابط موجودة في الأيون المعقد: $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{2+}$ ، وأيون كلوريد واحد أحادي الترابط $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{2+}$; لذا، فإنّ عدد التناسق هو $(6) = (1 \times 1) + (1 \times 1) + (5 \times 1)$.
 - يمتلك أيون المركب المعقد شحنة موجبة تساوي $(+2)$ ، أمّا جزيئات الأمونيا فلا تمتلك أيّة شحنة، وتمتلك أيونات الكلوريد شحنة سالبة تساوي (-1) . لهذا، يمكن حساب الشحنة الموجودة على الكوبالت، وهو أيون الفلز المركزي، والتي تساوي $(+3)$:



- **تحقيق** من ذلك: $(+3) + (0 \times 5) + (0 \times 1)$



مُركّبات النحاس (II) المعقّدة

3-2

سؤال الاستقصاء

هل يمكن تطوير الكشف النوعي عن أيونات النحاس (II) من خلال الملاحظات والتجارب البسيطة في المختبر؟

المواد المطلوبة

كربيرات النحاس (II) خماسيّة الماء ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)، محلول أمونيا، محلول هيدروكسيد الصوديوم، ماء مقطر أو منزوع الأيونات، ميزان إلكتروني، دورق سعته (100 mL)، أنابيب اختبار، حامل أنابيب اختبار. ساق زجاجية.

الإجراءات المختبرية

1. زن (5g) تقريباً من بلورات كربيرات النحاس (II) خماسيّة الماء، ثمّ ضع هذه البلورات في دورق سعته (100 mL)، ولاحظ لونها.
2. أضف (50 mL) تقريباً من الماء المقطر أو المنزوع الأيونات إلى الدورق، وحرك بساق زجاجية إلى أن تذوب البلورات جميعها.
3. صبّ (5 mL) تقريباً من هذا محلول في أنبوب اختبار، وضع العنوان الآتي له: "[$\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6$]²⁺"، ثمّ ضع أنبوب الاختبار هذا على حامل الأنابيب.
4. صبّ نصف محلول في دورق آخر سعته (100 mL).
5. ابدأ بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) إلى أحد الدورقين، قطرة بعد قطرة، وحرك الخليط ببطء وحذر بعد إضافة كل قطرة. استمرّ بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى أن يحدث تغيير ملحوظ في معظم أجزاء محلول.
6. صبّ (5 mL) تقريباً من هذا محلول في أنبوب اختبار، وضع العنوان الآتي له: "[$\text{Cu}(\text{OH})_2$]"، ثمّ ضع أنبوب الاختبار هذا على حامل الأنابيب.
7. باستخدام محلول الأمونيا ($\text{NH}_3_{(aq)}$)، كرر الخطوة 5 مع محلول الموجود في الدورق الآخر الذي يحتوي على محلول كربيرات النحاس (II). في البداية، ستتمّ ملاحظة كلا التفاعلين، ثمّ سيتّم تفسير هذه الملاحظات في أوراق العمل. استمرّ بإضافة قطرات من محلول الأمونيا إلى أن يتشكّل محلول متجانس.
8. صبّ (5mL) تقريباً من هذا محلول في أنبوب اختبار، وضع العنوان الآتي له: "[$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2$]²⁺"، ثمّ ضع أنبوب الاختبار هذا على حامل الأنابيب.
9. باستخدام المحاليل الموجودة في الأنابيب الثلاثة المعنونة، دون الملاحظات التي تصف هذه المحاليل. أهي صافية أم عكرة (مشيرة إلى تشكّل راسب في محلول)؟ ما لون هذه المحاليل؟

ما الملاحظات الإضافية التي يجب إجراؤها وأخذها بالحسبان باستخدام إجراءات مشابهة لتطوير اختبار نوعيّ لأيونات النحاس (II) (Cu^{2+})؟

تقويم الدرس 3-2

- 1.** أيٌ من المجموعات الآتية تبيّن الترتيب الصحيح لخطوات عملية التحفيز؟ (A) (B)
- a. انتراز ← انتشار ← تفاعل ← امتراز
 - b. انتشار ← تفاعل ← انتراز ← امتراز
 - c. تفاعل ← امتراز ← انتشار ← انتراز
 - d. امتراز ← انتشار ← تفاعل ← انتراز
- 2.** أيٌ زوج من أزواج الليجننات الآتية يُعدُّ كُلُّ واحد منها أحادي الترابط؟ (A) (B)
- a. الأمونيا (NH_3^+)، و (EDTA^{4-})
 - b. أيون الفلوريد (F^-)، والأوكسالات (ox^-)
 - c. أيون الكلوريد (Cl^-)، والإيثيلين ثانائي الأمين (en)
 - d. أيون الهيدروكسيد (OH^-)، وأول أكسيد الكربون (CO)
- 3.** أيٌ من الأسباب الآتية يُعدُّ الأكثر احتمالاً لتغيير اللون في التفاعل الذي يتضمّن أيوناً مركباً معقداً؟
- a. حدوث تبادل للإيجنند.
 - b. تحول محلول القاعدي إلى محلول حمضي.
 - c. تحول محلول الحمضي إلى محلول قاعدي.
 - d. تغيير التوزيع الإلكتروني لأيون الفلز المركزي.
- 4.** أيٌ من الأعداد الآتية يمثل عدد التناسق الموجود في $[\text{Ni}(\text{CN})_2\text{Cl}_2]^{2-}$? (E)
- 2 .a
 - 4 .b
 - 5 .c
 - 6 .d
- 5.** حدد الأيون المركب المعقد، والأيونات المقابلة، والشحنة الموجودة على أيون المركب المعقد، والليجننات، وعدد التناسق لأيون الفلز المركزي، والشحنة الموجودة على أيون الفلز المركزي للمركب المعقد $[\text{K}_3\text{Cu}(\text{Cl}_5)]^?$
- 6.** ما الشحنة الموجودة على أيون الفلز المركزي في أيون المركب المعقد $[\text{PdCl}_4]^{2-}$? (E)
- 7.** ما عدد الليجننات الكلّي الموجودة في أيون المركب المعقد $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^+$? (E)
- 8.** حدد نوع الرابطة التي تكونت بين أيون الفلز المركزي الموجود في مركب معقد ما وليجناته.
- 9.** لماذا لا تمتلك الليجننات شحنة موجبة في العادة؟ (E)



2005-1906 Hans Albert Bethe



الشكل 31-1 هانز ألبريشت بيثي.

لقب زملاء وطلاب الدكتور هانز ألبريشت بيثي (الشكل 2-30) «بواحد من أعظم الفيزيائيين» و «الشخص الأعظم في حل المشكلات» في القرن العشرين. ولد في سترايسبورغ ، ألمانيا (الآن جزء من فرنسا)، وبتوجيه من الفيزيائي النظري الألماني الشهير ، أرنولد سمرفيلد Arnold Sommerfeld ، حصل بيث على درجة الدكتوراه في العام 1926 من جامعة ميونيخ ، ألمانيا. وكانت أطروحة الدكتوراه «تحليل حيود الإلكترون في البلورات» وصل في أطروحته إلى إظهار علاقة كبيرة بين سلوك الإلكترونات والأشعة السينية. وقد ساعد عمله هذا على إعطاء مصداقية لنظرية "ميكانيكا الموجة الكمومية".

في ثلاثينيات القرن الماضي ، تعاون بيثي مع جون هازبروك فان فليك John Hasbrouck في تشكيل نظرية المجال البلوري (CFT). وقد دمجت نظرية CFT لاحقاً في النظرية المدارية الجزيئية (MOT) لتشكيل نظرية مجال الليجنادات (LFT) والتي استخدمت في التنبؤ بالروابط الكيميائية في مركبات العناصر الانتقالية المعقدة.

في العام 1935، بدأ العمل في جامعة كورنيل في إيثاكا ، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية. وقد عاش هناك إلى أن توفي في العام 2005 عن عمر يناهز 98 سنة.



الشكل 32-1 الانفجار الذري الأول، 16 يوليو 1945

في ثلاثينيات القرن الماضي، ساعد بيثي على استنباط المعادلات النووية التي أوضحت إنتاج الطاقة في النجوم. ونتيجةً لعمله هذا، فقد منح جائزة نوبل في العام 1967. وخوفاً من أن تكون ألمانيا الدولة الأولى التي ستطور أسلحة نووية، غادر بيث كورنيل في خلال الحرب العالمية الثانية للعمل على مشروع ماينهاتن في تطوير القنبلة الذرية. وبعد انتهاء الحرب، وحتى وفاته ، عمل بيث بلا كل مع الحكومات لحظر استخدام واختبار هذه الأسلحة والحد منها.

الوحدة 2

ملخص

الدرس 2-1 التوزيع الإلكتروني وخصائص عناصر السلسلة الانتقالية الأولى

- تقع الإلكترونات الخارجية لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى في المستويين الفرعيين (4s) و (3d).
- يمكن كتابة التوزيع الإلكتروني لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى من موقعها في الجدول الدوري بتطبيق قاعدة هوند Hunds rule.
- يحتوي الكروم والنحاس على توزيع إلكتروني مختلف عن القواعد المتبعة.
- تظهر في الغالب بلورات ومحاليل العناصر الانتقالية ذات لون خاص. ينتج اللون عن «انفصال» أفالك (d) المستحدثة بواسطة جزيئات أو أيونات ترتبط بأيون العنصر المركزي، وتسمى ليجندات Ligands (متراكاتبات).

الدرس 2-2 تكوين الأيونات المتعددة

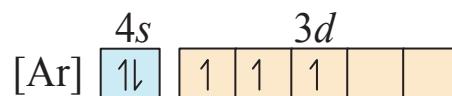
- الجسيمات التي لها التوزيع الإلكتروني نفسه تسمى متساوية إلكترونياً (آيزوإلكترونية Isoelectronic).
- تشكل العناصر الانتقالية أيونات مستقرة بتوزيع إلكتروني غير متساوٍ إلكترونياً مع أي توزيع إلكتروني لأحد الغازات النبيلة.
- يمكن أن يشكل الكثير من العناصر الانتقالية أيونات موجبة متعددة.
- يمكن لأيون العنصر ال TRANSITIONAL أن يعمل كعامل مؤكسد ومختزل إذا كان من الممكن تحقيق حالة تأكسد أصغر أو أكبر للأيون.

الدرس 2-3 استخدامات العناصر الانتقالية وأيوناتها

- يمكن استخدام بعض العناصر الانتقالية كعوامل حفازة Catalysts (عوامل مساعدة) تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية من دون استهلاكها.
- المركبات المعقدة Complexes عبارة عن جزيئات تكونت من الرابطة (التساهمية التناسقية) التي تربط ليجند أو أكثر بأيون فلز مركزي.
- تسمى المركبات المعقدة المشحونة أيونات مركبات معقدة Complex ions.
- ترتبط الليجندات بأيونات الفلز المركزي من خلال الارتباط بزوج واحد من الإلكترونات مع أيون الفلز. تسمى الليجند التي ترتبط بزوج واحد فقط من الإلكترونات مع أيون الفلز «ليجندات أحادية Monodentate ligand».
- عندما ترتبط الليجندات المختلفة بأيون الفلز المركزي، تُظهر المركبات المعقدة الناتجة تغيرات لون مميزة.
- عدد التناسق Coordination number للمركب المعقد هو عدد الليجندات المرتبطة مباشرة بأيون الفلز المركزي.
- الأيونات المقابلة Counter ion هي عبارة عن أيونات في المركب المعقد لا ترتبط مباشرة بأيون الفلز المركزي، ولها شحنة تخالف شحنة أيون المركب المعقد.

اختيارات من متعدد

1. ما العنصر الذي يمثل توزيعه الإلكتروني حسب قاعدة هوند برميز "المربع-السهم" باستخدام الغاز النبيل الآتي:



- .a. التيتانيوم
- .b. الفناديوم
- .c. الكروم
- .d. المنجنيز

2. ما العنصر الذي له التوزيع الإلكتروني $[Ar] 4s^1 3d^5$ ؟

- .a. الحديد
- .b. النحاس
- .c. سكانديوم
- .d. الكروم

3. أيٌّ من العناصر الآتية يمكن أن يتم العثور عليه في بلورات ذات لون أزرق؟

- .a. الحديد
- .b. الصوديوم
- .c. الكالسيوم
- .d. النحاس

4. ما العنصر الذي له حالات تأكسد موجبة متعددة؟

- .a. النيكل
- .b. الليثيوم
- .c. الباريوم
- .d. البوتاسيوم

5. أيٌّ عنصر يشكل كلوريدات لها الصيغة العامة XCl و X_2Cl ؟

- .a. الزنك
- .b. الكوبالت
- .c. نحاس
- .d. الكروم



6. أيٌ من الأيونات متساوٍ إلكترونياً (آيزو إلكتروني) مع Mn^{3+} ?

Fe^{3+} .a

Ti^{3+} .b

Cr^{+2} .c

Mn^{2+} .d

7. أيٌ من الأيونات الآتية لديه التوزيع الإلكتروني حسب قاعدة هوند بترميز "المربع-السهم" بإستخدام الغاز النبيل:

$[Ar]$	$4s$	1	1	1	1	1
--------	------	---	---	---	---	---

Ti^{4+} .a

Fe^{2+} .b

Ni^{2+} .c

Zn^{4+} .d

8. ما العامل المؤكسد في المعادلة الكيميائية التالية؟



$FeSO_4$.a

H_2SO_4 .b

$KMnO_4$.c

$Fe_2(SO_4)_3$.d

9. أيٌ من الآتية يمكن أن يكون عاملاً مؤكسداً أو عاملاً مخنزاً؟

Cu^0 .a

Cr^{3+} .b

Sc^{3+} .c

Zn^{2+} .d

10. ما التوزيع الإلكتروني لأيون النحاس Cu^+ ?

$[Ar]4s^13d^9$.a

$[Ar]4s^23d^8$.b

$[Ar]4s^03d^{10}$.c

$[Ar]4s^13d^{10}$.d

مراجعة الوحدة

11. أيٌّ مما يأتي هو السبب الأصحّ لعدم كتابة صيغة العامل الحفّاز كمتفاعل في المعادلة الكيميائية؟

- .a. تعمل العوامل الحفّازة على تسريع التفاعل الكيميائيّ.
- .b. يتم إنتاج العوامل الحفّازة في أثناء التفاعل الكيميائيّ.
- .c. لا تستهلك العوامل الحفّازة في أثناء التفاعل الكيميائيّ.
- .d. لا تتفاعل العوامل الحفّازة مع المواد المتفاعلة في التفاعل.

12. ماذا يحدث في خلال خطوة الامتزاز في التفاعل المحفّز؟

- .a. تخرج جزيئات الناتج من سطح العامل الحفّاز.
- .b. تنتشر جزيئات الناتج على طول سطح العامل الحفّاز.
- .c. تنتشر جزيئات المواد المتفاعلة على طول سطح العامل الحفّاز.
- .d. تُتمَّضِّن جزيئات المواد المتفاعلة على سطح العامل الحفّاز.

13. ما خصائص التيتانيوم التي تجعله مفيداً لاستخدامه في الزراعة الطبية؟

- .a. كثافة منخفضة نسبياً وقوىًّا ومتواافق بيولوجياً
- .b. كثافة منخفضة نسبياً وقوىًّا وقابل للتحلل
- .c. كثافة عالية نسبياً وقوىًّا وحيويًّا بيولوجياً
- .d. كثافة عالية نسبياً وقوىًّا وحيويًّا في التحلل

14. أيٌّ من الآتي يحدّد بشكل صحيح أيون الفلز المركزي والليجنادات في المركب المعقد $[Fe(NH_3)_5Br]^{2+}$ ؟

.a. أيون مركزي $= Br$ ؛ الليجنادات $= NH_3$

.b. أيون مركزي $= Fe$ ؛ الليجنادات $= NH_3$

.c. أيون مركزي $= Br$ ؛ الليجنادات $= NH_3$ ، Fe

.d. أيون مركزي $= Fe$ ، Br ؛ الليجنادات $= NH_3$

15. ما شحنة الأيون المركب المعقد في $[Fe(CO)_4Cl_2]Cl$ ؟

+4 .c

+1 .a

+6 .d

+2 .b

16. أيٌّ مما يأتي عدد التناسق المرتبط بأيون الفلز المركزي لا يساوي (6)؟

$[Cr(NH_3)_2(ox)_2]Br$.c

$[Co(en)_3]^{3+}$.a

$[Co(H_2O)_4(NH_3)(OH)]Br$.d

$[Cu(CN)_4]Br_2$.b

- 17.** ارسم التوزيع الإلكتروني الرئيس حسب قاعدة هوند بترميز "المربع-السهم" لغاز نبيل يمثل ذرة النحاس.
- 18.** أي عنصر له التوزيع الإلكتروني $[Ar] 4s^2 3d^1$ ؟
- 19.** معتمداً على الأفلاك (d)، اشرح السبب الذي يمنع محلول الماء لأيونات الكالسيوم من إظهار لون مميّز.
- 20.** ما عدد الأفلاك نصف الممتلئة والتي سيتم تمثيلها من خلال التوزيع الإلكتروني لذرة الكوبالت (Co)؟
- 21.** باستخدام الجدول 2-6، اكتب الصيغ الممكنة نظرياً لأكسيد الفناديوم جميعها.
- 22.*** ما عدد عناصر السلسلة الأولى الانتقالية التي تحتوي على ذرات تحتوي على إلكترون واحد غير مرتبط على الأقل في المستوى الفرعي (3d)؟
- 23.** ما الاسم الذي يُطلق على الجسيمات التي ترتبط مباشرة بأيونات الفلز المركزي؟
- 24.** ما العنصر الذي يحتوي على أيون (+2) المتساوي إلكترونياً (أيزو إلكترونية) مع أيون (Cu^+)؟
- 25.*** من حيث التوزيع الإلكتروني ، اشرح سبب قدرة الكثير من عناصر السلسلة الأولى الانتقالية على تكوين أيونات متعددة؟
- 26.** ارسم التوزيع الإلكتروني الرئيس حسب قاعدة هوند بترميز "المربع-السهم" لغاز نبيل لأيون (Mn^{4+}) .
- 27.*** أي عنصر له أيون يحمل شحنة مقدارها (+3) له توزيع إلكتروني $[Ar] 4s^0 3d^4$ ؟
- 28.*** حدد كلاً من العامل المؤكسد والعامل المخترل في المعادلة الكيميائية الآتية:
- $$4\text{CrCl}_2 + \text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 8\text{HCl} + 2\text{H}_2\text{O}$$
- 29.*** اشرح السبب في عدم قدرة (Cr^{6+}) على أن يعمل كعامل مخترل، ويستطيع (Mn^{6+}) ذلك في الوقت نفسه.
- 30.*** اشرح سبب قدرة (Fe^{2+}) العمل كعامل مؤكسد أو عامل مخترل.
- 31.** ما سبب امتصاص سطح العامل الحفاز لجزيء؟
- 32.** اذكر اسم جزيء واحد أو أكثر يقوم المحول الحفاز بتحويل الغازات الخطرة إليه .



مراجعة الوحدة

33. أي عنصر من عناصر السلسلة الأولى الانتقالية هو أيون الفلز المركزي في جزء الهيموجلوبين؟

34. أي عنصر انتقالي هو الفلز الأساس في سبائك البرونز؟

35. أي عنصر هو أكثر عناصر السلسلة الأولى الانتقالية وفرة في قشرة الأرض؟ *

36. ما الفلك الذي يتشارك إلكترونات مع الليجنادات لإيون عنصر في السلسلة الأولى الانتقالية، ولماذا يجب أن يكون هذا الفلك فارغاً؟

37. ما عدد الليجنادات المرتبطة بإيون الفلز المركزي في المركب $[Fe(CN)_6]Cl_4$ ؟

38. ما عدد التناسق لأيون الفلز المركزي في المركب $[Ni(CO)_2Cl_2]$ ؟

39. ما شحنة أيون الفلز المركزي في الأيون المركب المعقد $[MnF_6]^{4-}$ ؟ *

40. بين كيف يمكن للأيون المركب المعقد $[Co(Ox)_3]^{4-}$ أن يرتبط بثلاثة ليجنادات مع أن عدد تناصقه يساوي 6؟ *

41. ما شحنة أيون الفلز المركزي في المركب المعقد $[Co(H_2O)_4(NH_3)(OH)Cl]$ ؟ *

42. ما عدد التناسق لأيون الفلز المركزي في الأيون المركب المعقد $[Ni(NH_3)_2(en)]^{2+}$ ؟ *

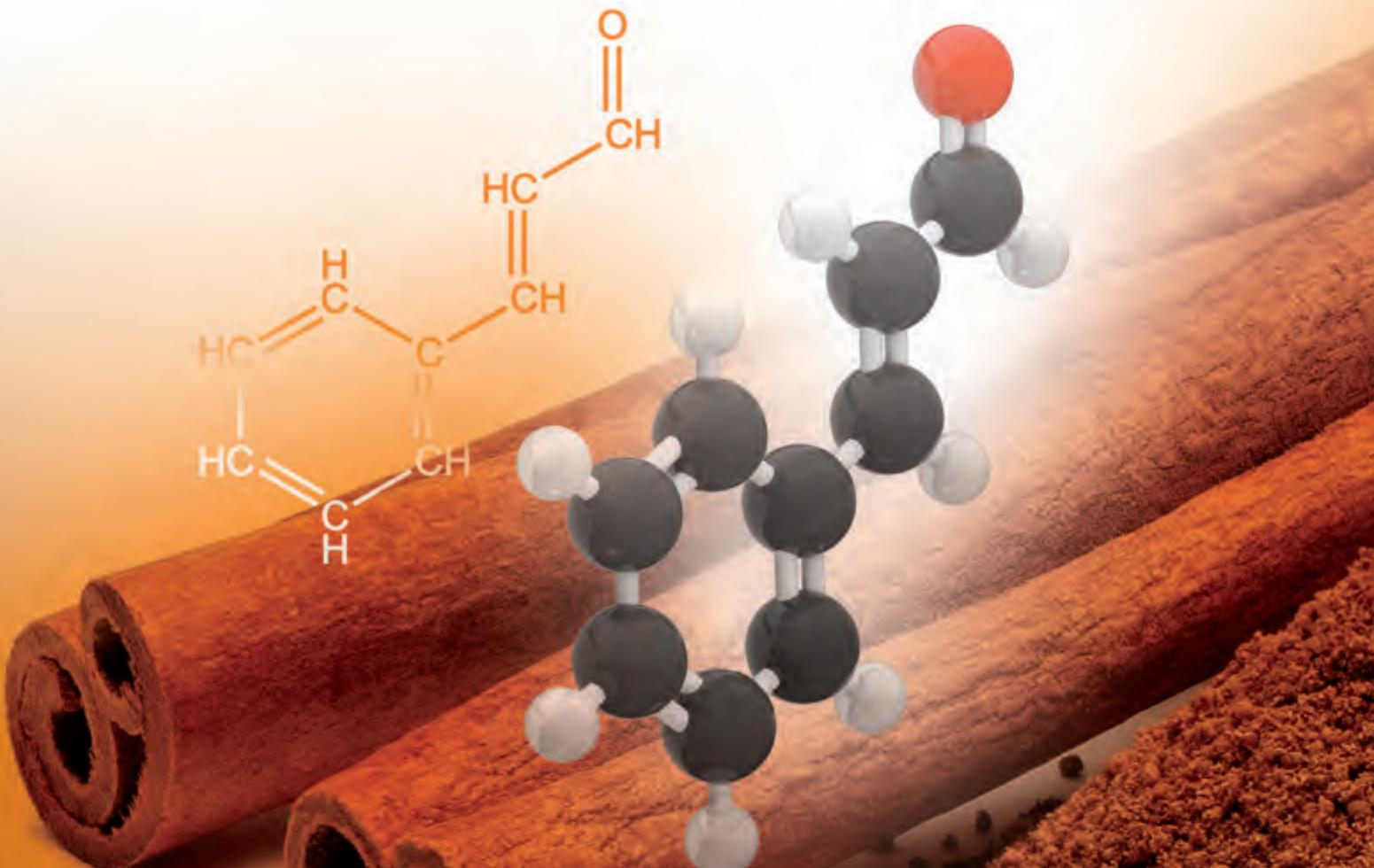
43. ناقش في مجموعات ثنائية ما إذا كان يجب تصنيف السكانديوم والخارصين على أنهما عناصر انتقالية. مستندًا إلى تعريف العناصر الانتقالية بأنها عناصر الفئة "d" وهي العناصر التي تكون أكثر من أيون مستقر واحد مع مستويات فرعية (d) مملوئة جزئياً، ادعم موقفك بشواهد أخرى.

44. يستخدم الكثير من عناصر السلسلة الأولى الانتقالية المختلفة في العمليات الصناعية في قطر. تشمل أمثلة هذه العمليات المواد الكيميائية لإنتاج وتكرير النفط. حيث يمكن استخدام هذه العناصر كعوامل حفازة، أو مواد كيميائية متفاعلة، أو لصنع الأدوات أو المعدات. ابحث عن عنصرين انتقاليين من عناصر السلسلة الأولى واتكتب فقرة قصيرة حول كل منها تتضمن:

a. العملية الصناعية التي يتم استخدامها فيها.

b. كيف يستخدم العنصر في هذه العملية - حيث يجب أن يكون واحد على الأقل من التطبيقات كحفاز؟

c. ما هي خصائص العنصر التي تجعله مفيداً في هذا التطبيق بالذات؟



الوحدة 3

الكيمياء العضوية

Organic Chemistry

في هذه الوحدة

C1203

الدرس 3-1: الأشكال الهندسية للجزئيات

C1204

الدرس 3-2: ميكانيكيّات التفاعلات العضوية

الدرس 3-3: المركّبات العضوية الأروماتية

3

الوحدة

مقدمة الوحدة

تعتمد خصائص المركبات العضوية مباشرة على الأشكال البنائية لجزيئاتها. لذلك يمكن للعلماء توقع الخصائص الجزيئية اعتماداً على فهمهم للأشكال البنائية للجزيئات وكيفية تأثيرها في السلوك الفيزيائي والكيميائي. يمكنهم أيضاً تصميم الجزيئات وتكون وفقاً للخصائص المطلوبة. الدرس 1 يناقش نظرية التنافر بين أزواج إلكترونات التكافؤ (VSEPR)؛ وهي نظرية خوارزمية مهمة لتوقع الهندسة الجزيئية.

الدرس 2 يبحث في ميكانيكية ثلاثة تفاعلات محددة: تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات، وتفاعلات الاستبدال النيوكلويوفيلي لمجموعات الكربونيل وهاليدات الألكيل والتحلل المائي لكلوريد الأسيل.

الدرس 3 يصف الشكل البنائي والتسمية وبعض التفاعلات لثمانية أنواع من المركبات العضوية الأромاتية.

الأنشطة والتجارب

1-3 الأشكال الهندسية للجزيئات والمتسلسلات

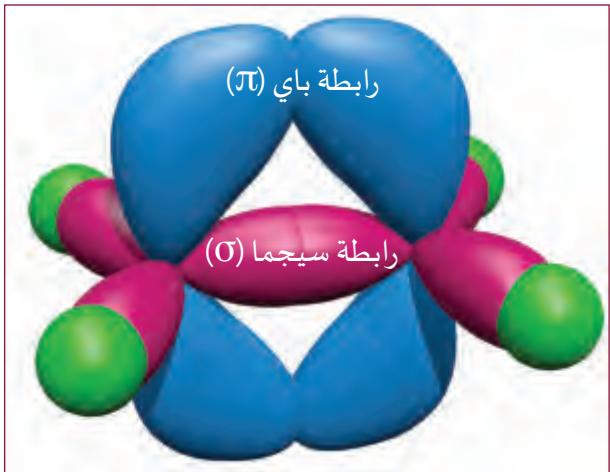
2-3 تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية والاستبدال النيوكلويوفيلي

3-3 نمذجة المركبات الأромاتية

الدرس 1-3

الأشكال الهندسية للجزئيات

Molecular Geometry



الشكل 3-3 تداخل الأفلالك في الإثنين.

معظم الروابط الكيميائية في الجزيئات العضوية روابط تساهمية. تذكر أنَّ الروابط التساهمية هي نتيجة تجاذب الإلكترونيات بين نواتين لذرَّتين في وقت واحد. وأحد نماذج توضيح المشاركة الإلكترونية هو عرض تداخل الأفلاك الذرية والأفلاك المهجنة (المناطق التي يحتمل وجود الإلكترون فيها بنسبة 95%)، كما في (الشكل 3-1) الذي يُمثِّل الروابط التساهمية في مركب الإيثين ($\text{Ethene, C}_2\text{H}_4$). حيث يُمثِّل كلَّ لون نوعاً مختلفاً من الأفلاك.

تدخل أفلاك (s) للهيدروجين (اللون الأخضر) مع أفلاك (sp^2) المهجّنة للكربون (اللون الوردي) لتكوين الروابط الأحادية من النوع سيجما (σ) بين ذرة كربون وذرة هيدروجين (H—C). أمّا التدخل بين الفلكين (اللون الوردي) في وسط (الشكل 1-3) فيشكّل رابطة أحادية من النوع سيجما (σ) بين ذرّي كربون (C—C). تمثّل المناطق الزرقاء المتداخلة مشاركة الإلكترونات من أفلاك (p) غير المهجّنة لتكوين رابطة أخرى بين ذرّي الكربون من النوع باي (π). تقع نوى ذرات الهيدروجين في وسط المناطق الخضراء، أمّا نواة كلّ من ذرّي الكربون فتقع في مكان تقاطع المناطق الوردية والزرقاء.

المفردات



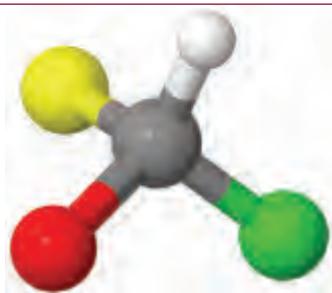
مخرجات التعلم

Electron domain	المجال الإلكتروني
Hybrid orbitals	الأفلاك المهرجنة
Electron domain geometry	المجال الهندسي الإلكتروني
Structural isomers	المتشكلات التركيبية (البنائية)
Stereoisomers	المتشكلات الفراغية
Optical activity	النشاط الضوئي
Chiral center	مركز كيرالا (غير متماثل)

C1203.1 يصف شكل المركبات العضوية بإستخدام تداخل الأفلاك وتنافر الأزواج الإلكترونية. ويقدر قيم زوايا الروابط.

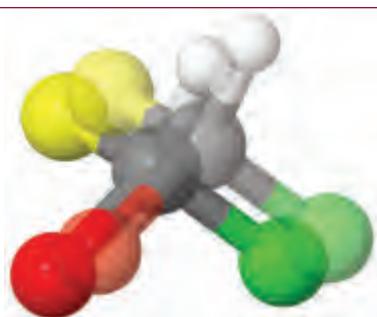
C1203.2 يصف المتشكّلات البنائية، والمتشكّلات الهندسية (E-Z) في الألكينات، وكيف تؤدي المراكز غير المتماثلة (المراكز الكيرالية) إلى التشاكل الضوئي.

تعتمد الخصائص على الأشكال البنائية

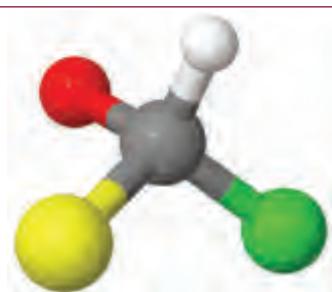


الشكل 3-2 النموذج الأول.

تعتمد خصائص الجزيئات على أشكالها البنائية: كلما كانت الجزيئات أكثر تماثلاً، كانت خصائصها أكثر تشابهًا. لذلك، فإنّ الجزيئات المتشابهة في الأشكال البنائية قد يكون لديها خصائص فيزيائية متطابقة تقريباً، كدرجة الانصهار، درجة الغليان والكتافة. ومع ذلك، فإنّ بعض الاختلافات الصغيرة تجعل جزيئات متشابهة تسلك سلوكاً مغايراً في ظروف كيميائية محددة.



الشكل 3-3 جزيئات متطابقة.



الشكل 3-4 النموذج الثاني.

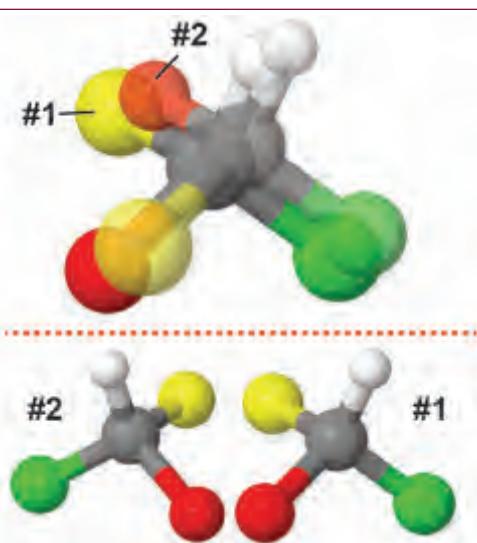
استخدم مجموعة النماذج الجزيئية لتصميم النموذج الظاهر في (الشكل 3-2). النموذج لديه خمس ذرات مختلفة. كرر العمل لتصميم نموذج جزيئي مماثل.

بعد ذلك، امسك كلا النموذجين، بحيث تكون الذرات المتماثلة في الموقع نفسه. إذا تطابق الجزيء الأول مع الجزيء الثاني تطابقاً تاماً، كما يبيّن (الشكل 3-3)، فإن هذين الجزيئين متطابقان superimposable. الجزيئات المتطابقة هي جزيئات المركب نفسه. وهذا اختبار للتحقق مما إذا كان الشكلان البنائيان للجزيئين متطابقين.

الآن، قم بتبديل أيِّ من الذرتَين المتصلتين بالذرّة المركزية. (الشكل 3-4) يوضح أنَّ موقع الذرات الحمراء والصفراء قد تمَّ تبديله. يمكن للمرء أن يظنَّ أن هذه الجزيئات لا تزال هي نفسها لأنَّ الروابط والعناصر متشابهة.

إذا حاولت أن تطابق بين النموذج الأول والنموذج الثاني، فستجد أن ذلك مستحيل، لأنَّ الروابط، وإنْ كانت هي نفسها، ولكنَّ الموضع الفراغي للذرات مختلف. إذا كانت الجزيئات غير متطابقة not superimposable، فهي جزيئات مختلفة. لذلك، يجب تسمية هذه الجزيئات بأسماء مختلفة لأنَّها قد تتفاعل بشكل مختلف.

الجزيئات رقم 1 و 2 غير متطابقة. ومع ذلك، فإنَّ النظر إلى هذه الجزيئات يوهم أنَّها متطابقة، لأنَّ الجزيء الأول صورة الجزيء الثاني في المرآة. (الشكل 3-5).



الشكل 3-5 جزيئات غير متطابقة ولكنها تبدو متطابقة وكأنها صورة الجزيء الأول للجزيء الثاني في المرآة.

نظريّة VSEPR (VSEPR) وال المجالات الإلكترونيّة

نظريّة التناافر بين أزواج إلكترونات التكافؤ (VSEPR) هي نموذج ناجح للغاية لتوقع أشكال الجزيئات وقيم زوايا الروابط باستخدام مفاهيم تداخل الأفلاك وتقليل تناافر الأزواج الإلكترونيّة.

تُسمّى مجموعات الإلكترونات في المستوى الفرعي الواحد **المجال الإلكتروني** Electron domain. يمكن أن تكون المجالات الإلكترونية عبارة عن إلكترونات مفردة (غير مشاركة) من ذرّة مركزية أو إلكترونات مرتبطة بين ذرّة مركزية وذرّة جانبية (ذرّة مرتبطة بالذرّة المركزية). هناك خمسة أنواع من المجالات الإلكترونية، كما هو موضح في الجدول 1-3، حيث تمثل «X» ذرّة مركزية و «A» تمثل ذرّة جانبية.

الجدول 1-3 أنواع المجالات الإلكترونية.

نوع المجال الإلكتروني	تمثيل لويس
غير مرتبط (مفرد، غير مشارك): إلكترون منفرد	X
غير مرتبط (مفرد، غير مشارك): زوج من الإلكترونات	:X
مرتبط (مشارك): الإلكترونات تكون رابطة تساهمية أحادية من نوع سيجما (σ)	X-A
مرتبط (مشارك): الإلكترونات تكون رابطة تساهمية ثنائية، إحداها رابطة سيجما (σ) والأخرى من نوع باي (π)	X=A
مرتبط (مشارك): الإلكترونات تكون رابطة تساهمية ثلاثة، واحدة من نوع سيجما (σ) واثنتان من نوع باي (π)	X≡A

مثال 1



مستخدماً تركيب لويس النقطي لجزيء سيانيد الهيدروجين (HCN) hydrogen cyanide، حدد عدد المجالات الإلكترونية حول ذرّة الكربون. صنّف كلّ مجال إلكتروني بحسب النوع.

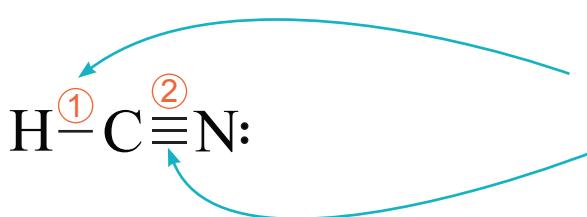
المعطى



الحل

هناك مجالان للإلكترونات حول ذرّة الكربون

- رقم 1 = مجال إلكتروني مرتبط - رابطة أحادية
- رقم 2 = مجال إلكتروني مرتبط - رابطة ثلاثة

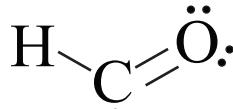


مثال 2



باستخدام تركيب لويس النقطي للشق الحر أكسوميثيل (CHO) oxomethyl radical الشديد التفاعل، حدد عدد المجالات الإلكترونية حول ذرة الكربون، ثم صنف كل مجال إلكتروني بحسب النوع.

المعطى



الحل

هناك ثلاثة مجالات إلكترونية حول ذرة الكربون

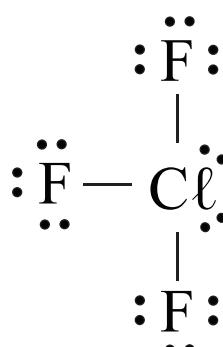
- رقم 1 = مجال إلكتروني مرتبط - رابطة أحادية
- رقم 2 = مجال إلكتروني غير مرتبط - إلكترون مفرد
- رقم 3 = مجال إلكتروني مرتبط - رابطة ثنائية

مثال 3



مستخدماً تركيب لويس النقطي لجزيء ثلاثي فلوريد الكلور (ClF₃)، حدد عدد المجالات الإلكترونية حول ذرة الكلور، ثم صنف كل مجال إلكتروني بحسب النوع.

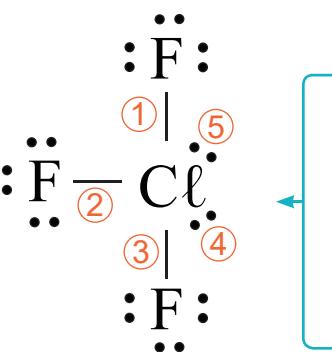
المعطى



الحل

هناك خمسة مجالات إلكترونية حول ذرة الكلور

- رقم 1 = مجال إلكتروني مرتبط - رابطة أحادية
- رقم 2 = مجال إلكتروني مرتبط - رابطة أحادية
- رقم 3 = مجال إلكتروني مرتبط - رابطة أحادية
- رقم 4 = مجال إلكتروني غير مرتبط - زوج من الإلكترونات
- رقم 5 = مجال إلكتروني غير مرتبط - زوج من الإلكترونات



تهجين الأفلاك

عندما ترتبط الذرات بذرات أخرى في جزيء، تتغير أفلاك إلكترونات التكافؤ لبعض الذرات. بعض الأفلاك حول الذرة المركزية في الجزيء تُهجن إلى أفلاك جديدة ومحولة، تُسمى **الأفلاك المهجنة**. تتوافق نظرية VSEPR تكوين خمسة أنواع من الأفلاك المهجنة عند تهجين مجموعة من المستويات الفرعية المختلفة (s) و (p) و (d). هذه الأنواع الخمسة من التهجين تشكل **المجال الهندسي الإلكتروني** (الجدول 3-2).

الجدول 3-2 المجال الهندسي الإلكتروني وتهجين الأفلاك.

مثال	المجال الهندسي الإلكتروني الفراغي	أفلاك التهجين	المجال الهندسي الإلكتروني	عدد المجالات الإلكترونية
C_2H_2		sp	خطي	2
CH_2O		sp²	مثلك مسطح	3
CH_4		sp³	رباعي الأوجه	4

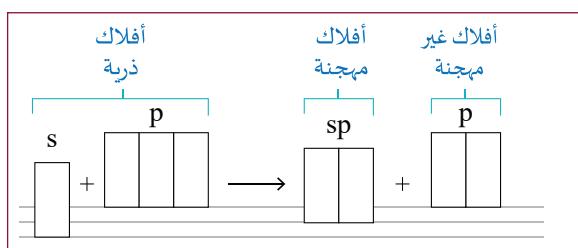
إثرائي : أنواع تهجين أخرى



هذه الأنواع من التهجين لا تطبق كثيراً على المركبات العضوية. ولكنها تحدث في بعض المركبات المهمة مثل فلزات الكربونيل.

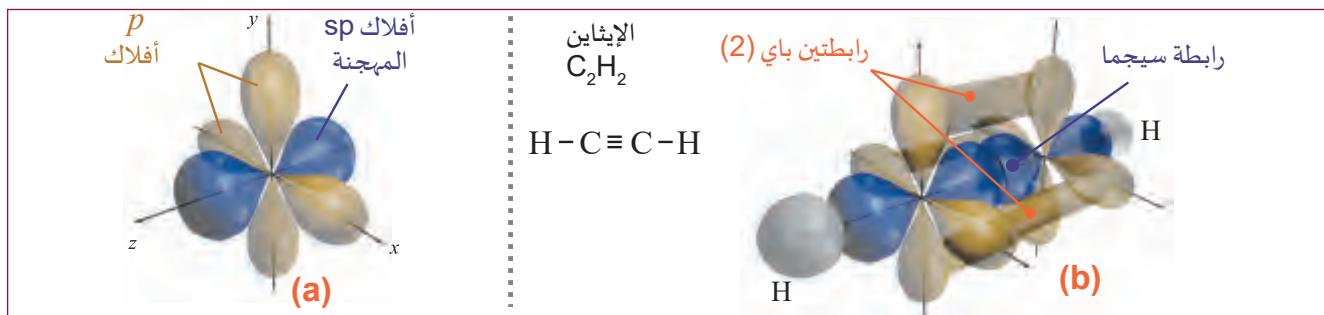
$\text{Fe}(\text{CO})_5$		sp³d	هرم مزدوج ثلاثي	5
$\text{Cr}(\text{CO})_6$		sp³d²	ثمانى الأوجه	6

أفالك «sp» المهجنة



الشكل 6-3 التهجين .sp

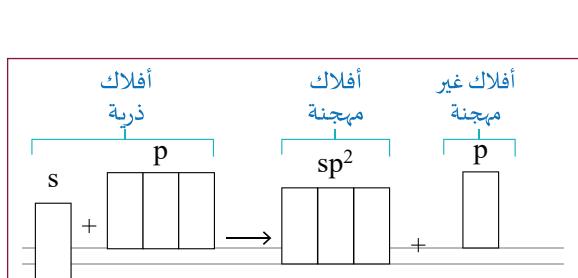
عندما يندمج فلك (s) مع فلك واحد من (p) من الذرة المركزية، يتكون فلكان مهجّنان منفصلان يُسمى كلٌّ منها فالك «sp» المهجّن كما في الألكاينات (الشكل 6-3).



الشكل 7-3 حالة التهجين (sp) لجزيء الإيثان ذي الشكل الهندسي الخطي.

عندما يتداخل الفلكان المتبقيان (p) غير المهجّنين مع فلكين (p) آخرين غير مهجّنين من ذرة أخرى تتكون رابطتان من النوع باي (π) في الرابطة التساهمية الثلاثية.

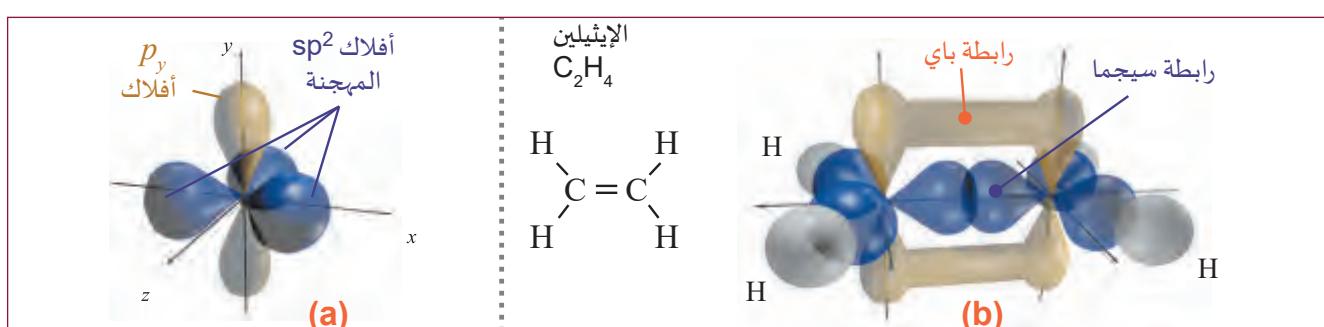
يشغل الفلكان (sp) موقعين حول الذرة المركزية بزاوية 180° من أجل تقليل تنافر الإلكترونات. هذا المجال الهندسي الإلكتروني يُسمى «الشكل الهندسي الخطي»، والمثال على ذلك جزيء الإيثان ethyne (الشكل 7-7)



الشكل 8-3 التهجين sp^2

عندما يندمج فلك (s) مع فلكين (p) من الذرة المركزية، تتكون ثلاثة أفالك مهجّنة منفصلة، يُسمى كلٌّ منها أفالك (sp^2) المهجّنة كما يوضح (الشكل 8-3). يمكن أن يؤدي تداخل الفلك (p) المتبعي غير المهجّن والفالك (p) غير المهجّن من ذرة أخرى إلى تكوين رابطة واحدة

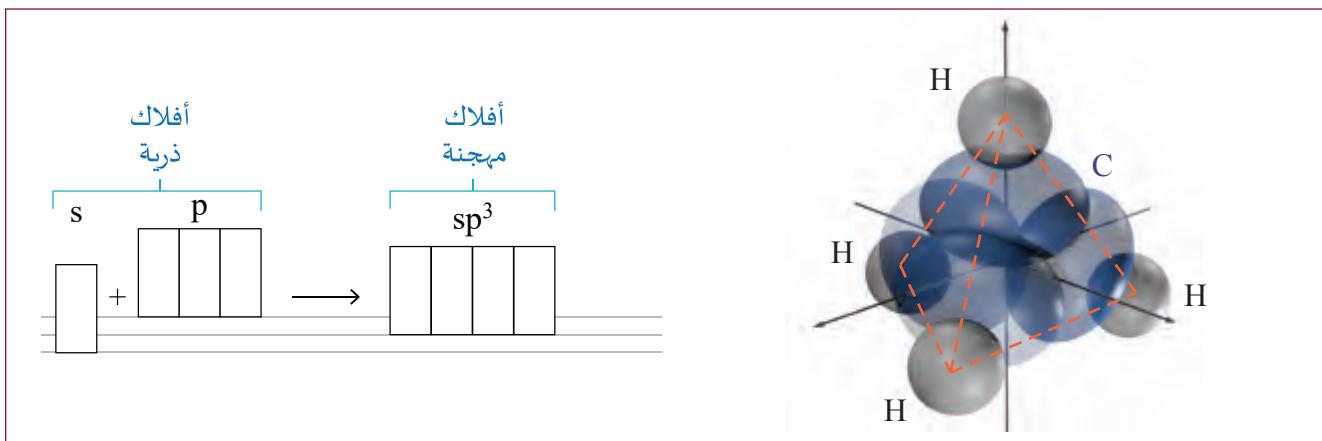
من النوع (π) في الرابطة التساهمية الثنائية، كما هي الحال في الألكينات. الأفالك (sp^2) الثلاثة المهجّنة تبتعد بزاوية 120° حول الذرة المركزية لتقليل تنافر الإلكترونات. هذا المجال الهندسي الإلكتروني يُسمى مثلث مسطّح، والمثال على ذلك جزيء الإيثيلين ethylene كما يوضح (الشكل 9-3).



الشكل 9-3 حالة التهجين (sp^2) لجزيء الإيثيلين ذي الشكل الهندسي المثلث المسطّح.

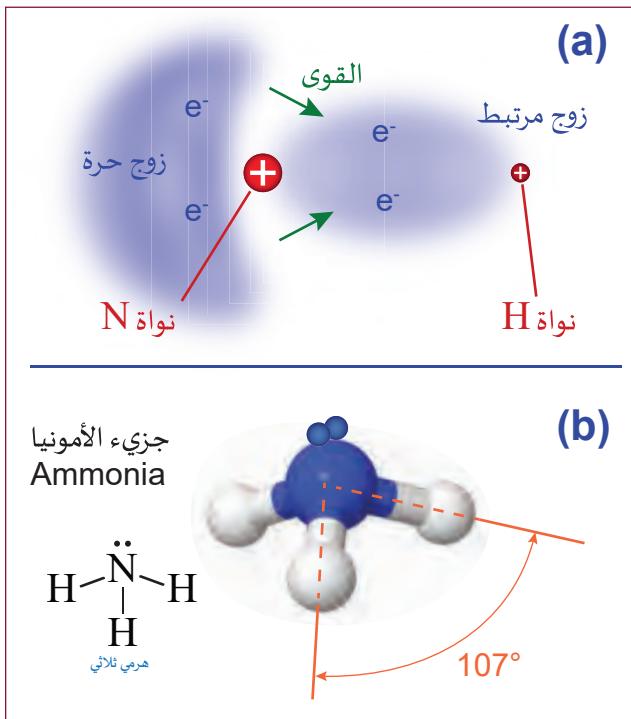
أفلالك «sp³» المهجّنة

أفلالك (sp³) المهجّنة تتكون عندما تندمج أفلالك (p) الثلاثة مع الفلك (s). تتباعد أفلالك (sp³) الأربع المهجّنة بزوايا 109.5° لتكون الشكل الهندسي رباعي الأوجه، وهو الشكل المألوف والمرتبط بذرّات الكربون في الجزيئات العضوية كما في الألkanات. وأفضل مثال على ذلك جزيء الميثان methane كما هو موضح في (الشكل 3-10).



الشكل 3-10 حالة التهجين sp³ في جزيء الميثان ذي شكل هندسي رباعي الأوجه.

الأزواج الحرة (غير المرتبطة)



الشكل 3-11 الكثافة الإلكترونية لكل من: (a) زوج إلكتروني حرّ (b) أزواج إلكترونية مرتبطة.

عندما تشغل الأفلالك المهجّنة أزواجاً حرة من الإلكترونات، تضغط زوايا الرابطة حول الفلك قليلاً، كما هي الحال في جزيء الأمونيا NH₃.

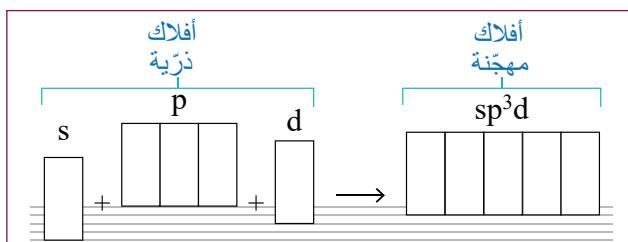
- يحتل الزوج الحرّ الوحيد مساحة أكبر من مساحة أزواج الإلكترونات المترابطة (الشكل 3-11).
- يضغط زوج الإلكترونات الحرّ على الأزواج المترابطة، مما يسبب ضغط زاوية الرابطة إلى 107° بدلاً من 109.5° كما في الشكل الهندسي الهرمي الثلاثي (الشكل 3-11).

سلوك مماثل نراه في هندسة المجالات الإلكترونية الأخرى. حيث تضغط الأزواج الإلكترونية على زوايا الرابطة المكونة من أزواج إلكترونات مترابطة.

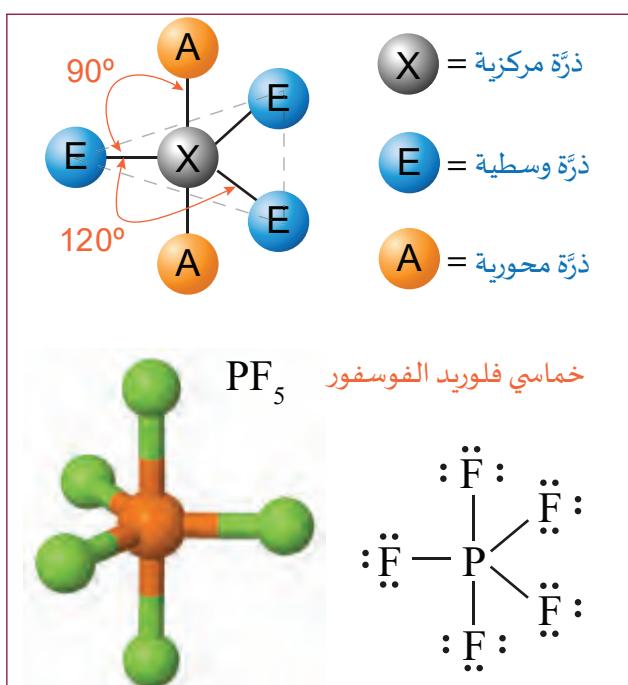
تخيل جزيء الماء الذي له شكل منحنٍ. اشرح كيف يأتي الشكل المنحنٍ من الشكل الهندسي رباعي الأوجه مستخدماً فكرة الأزواج الحرة (غير المرتبطة).



إثرائي : أفلالك «sp³d» المهجنة



الشكل 12-3 التهجين sp³d.



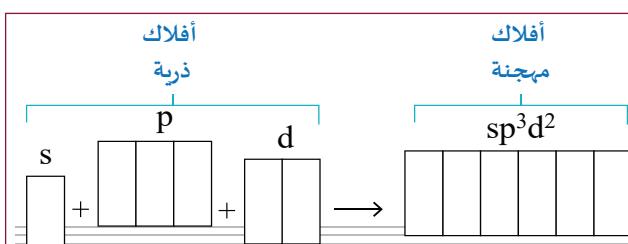
الشكل 13-3 الموضع الوسطية والمحورية في الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني هرمي مزدوج ثلاثي.

تتكون الأفلالك الخمسة «sp³d» المهجنة عندما يندمج فلك (s)، وثلاثة أفلالك (p)، وفلك واحد (d) (الشكل 12-3). أما الأفلالك (d) الذرية المتبقية فتبقي غير مهجنة.

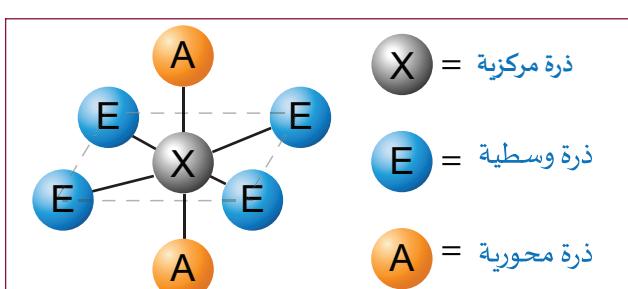
تنشر الأفلالك المهجنة الخمسة، مما يؤدي إلى الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني الذي يسمى الشكل الهرمي المزدوج الثلاثي. في هذا الشكل الهندسي، توجد ثلاثة أفلالك مهجنّة في موقع وسطي بشكل هندسي مثلث مسطّح بزوايا 120°. أما الفلكان المهجّنان المتبقيان فقد احتلّا الموضع المحوريّة بزوايا 90° من الأفلالك الوسطية كما هو موضح في (الشكل 13-3).

مثال جيد للشكل الهندسي الهرمي المزدوج الثلاثي هو جزيء خماسي فلوريد الفوسفور، PF₅. ذرة الفسفور المركزية تترابط مع ذرات الفلور الخمس من خلال خمس روابط تساهمية أحادية. لذلك، نجد أنَّ الشكل الذي يقلّل من تنافر الإلكترونات هو الذي يضع ذرات الفلور الخمس في الموضع الوسطية والمحورية.

إثرائي: أفلالك «sp³d²» المهجنة



الشكل 14-3 التهجين sp³d².



الشكل 15-3 الموضع الوسطية والمحورية في الشكل الهندسي ثمانى الأوجه.

تتكون ستة أفلالك "sp³d²" المهجنة من خلال دمج فلك (s) في ثلاثة أفلالك (p) وفلكي (d) (الشكل 14-3). وتبقى الأفلالك الذرية (d) الثلاثة المتبقية غير مهجنة.

تنشر الأفلالك المهجنة الستة لتهدي إلى شكل هندسي للمجال الإلكتروني يسمى "ثمانى الأوجه". في هذا الشكل الهندسي، توجد أربعة أفلالك مهجنّة تأخذ الموضع الوسطية في شكل مربع مسطّح بزاوية 90°. أما الفلكان المهجّنان الآخرين فيأخذان موضع محوريّة بزاوية 90° من المحور الوسطي للأفلالك، كما هو موضح في (الشكل 15-3).

الشكل الهندسي الجزيئي

الشكل الهندسي الجزيئي يمثل شكل الجزيء من خلال ملاحظة موقع الذرات في الجزيء. تُستخدم الإلكترونات الحرة لتوقع الأشكال الهندسية الجزيئية، ولكنها ليست جزءاً من الشكل الهندسي الملاحظ للجزيء.

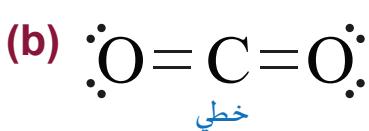
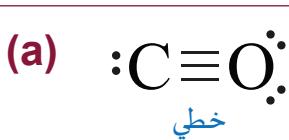
 يمكن توقع الشكل الهندسي للجزيء من الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني
وليس بالضرورة أن يكونا متشابهين.

تُستخدم الخطوات الآتية للتنبؤ بالشكل الهندسي الجزيئي للجزيء:

- حدد الذرة المركزية، وتكون في أغلب الأحيان الذرة ذات السالبية الكهربائية الأدنى.
- حدد عدد المجالات الإلكترونية حول الذرة المركزية، والذي يمكن توقعه من مخطط تمثيل لويس نقطي.
- توقع المجال الهندسي الإلكتروني حول الذرة المركزية من عدد المجالات الإلكترونية. الأفلاك المهجنة وقيم زوايا الرابطة المثلالية يتم توقعها من المجال الهندسي الإلكتروني.
- توقع الشكل الهندسي الجزيئي من المجال الهندسي الإلكتروني باستخدام عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة وغير المرتبطة حول الذرة المركزية. ويمكن توقع قيم الزوايا التي تم ضغطها عند توقع الشكل الهندسي للجزيء.

قواعد توقع الأشكال الهندسية الجزيئية من المجالات الإلكترونية وعدد المجالات الإلكترونية المرتبطة وغير المرتبطة ويتم شرحها في الصفحات القليلة القادمة.

الأشكال الهندسية الجزيئية من المجال الهندسي الإلكتروني الخطّي

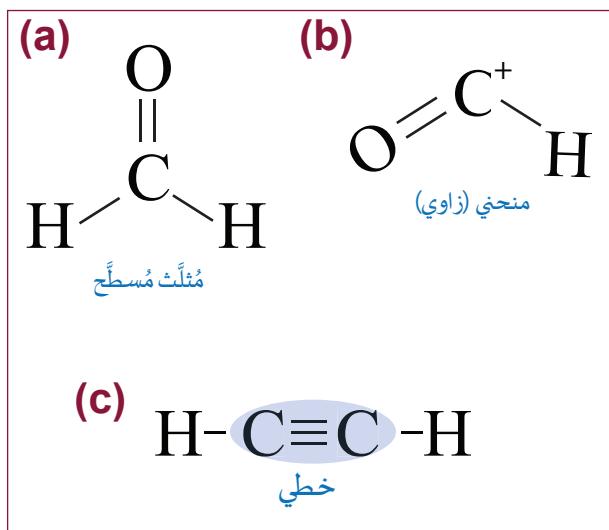


الشكل الهندسي الجزيئي الخطّي هو الشكل الهندسي الجزيئي الوحيد الذي يمكن توقعه من المجال الهندسي الإلكتروني الخطّي. شكل الجزيء يبقى خطّياً سواءً كان للذرة المركزية رابطة تساهمية واحدة أحادية أم ثنائية أم ثلاثية ومجال إلكتروني حرّ واحد (غير مرتبط) كما هو موضح في (الشكل 3-16a) أو مجالان من الإلكترونات المرتبطة كما هو واضح في (الشكل 3-16b).

الشكل 3-16 الأشكال الهندسية الجزيئية من المجال الهندسي الإلكتروني الخطّي.

الأشكال الهندسية المسطحة رباعية الأوجه

الشكل الهندسي الجزيئي من الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني المثلث المسطح

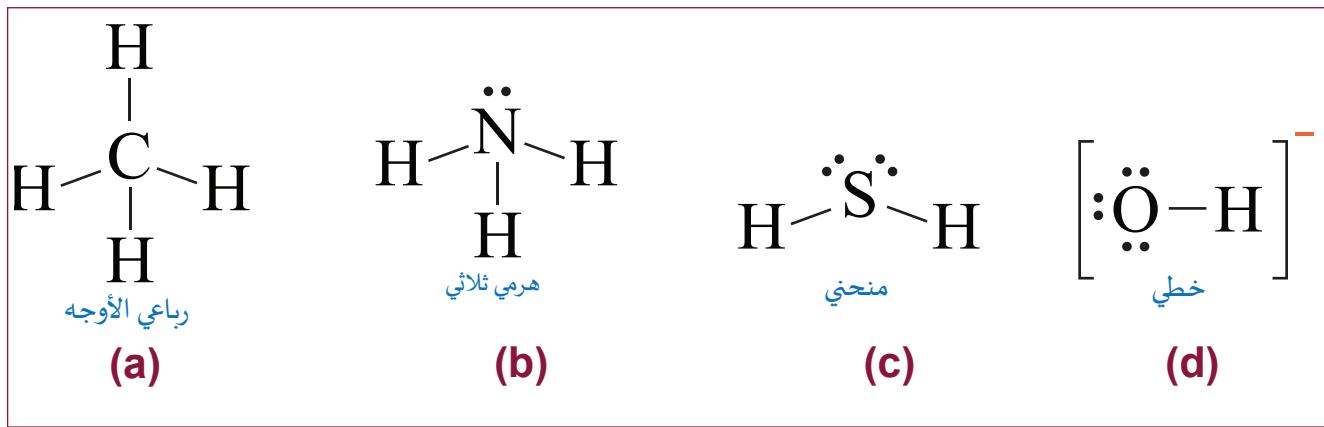


الشكل 3-17 الأشكال الهندسية الجزيئية من المجال الهندسي الإلكتروني المثلث المسطح.

ثلاثة أشكال هندسية جزيئية يمكن توقعها من المجال الهندسي الإلكتروني المثلث المسطح. إذا ترابطت المجالات الإلكترونية الثلاثة، فإنَّ الشكل الهندسي الجزيئي هو أيضًا مثلث مسطح (الشكل 3-17-a). أما إذا كان أحد المجالات الإلكترونية الثلاثة غير مرتبط (زوج حرّ)، فإنَّ شكل الجزيء يكون منحنًّا، وهو يُعرف أيضًا بالشكل الهندسي الزاوي (الشكل 3-17-b). ويمكن توقع الشكل الهندسي الجزيئي الخطّي من خلال جزيء يحتوي على رابطة تساهمية ثلاثية بين ذرتين كربون مثل تلك في الألكاينات (إيثاين) ويكون لكل ذرة مجال إلكتروني بشكل خطّي (الشكل 3-17-c).

الشكل الهندسي الجزيئي من الشكل الهندسي الإلكتروني رباعي الأوجه

يتمَّ توقع الشكل الهندسي الجزيئي رباعي الأوجه إذا كانت جميع المجالات الإلكترونية مرتبطبة (الشكل 3-18-a). أما إذا استُبدلت بالمجالات الإلكترونية المرتبطة واحدًا تلو الآخر مجالات إلكترونية غير مرتبطبة، فإنَّ الشكل الهندسي الجزيئي يتحوَّل إلى هرميٍّ ثلاثيٍّ (الشكل 3-18-b)، ثم إلى منحنٍ (الشكل 3-18-c)، وأخيرًا إلى خطٍّي (الشكل 3-18-d).



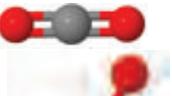
الشكل 3-18 الأشكال الهندسية الجزيئية من المجال الهندسي الإلكتروني رباعي الأوجه.

ملاحظة

- يتطابق الشكل الهندسي الجزيئي تماماً مع المجال الهندسي الإلكتروني عندما تكون جميع المجالات الإلكترونية مرتبطبة.
- أما الشكل الهندسي الجزيئي الخطّي فيكون متوقعاً إذا كان للذرة المركزية مجال إلكتروني مرتبط واحد فقط. لذلك، سيتم استبعاد هذه الحالة من الشرح التالي للأشكال الهندسية الجزيئية.

ملخص الأشكال الهندسية الجزيئية

الجدول 3-3 الأشكال الهندسية الجزئية وقيم زوايا الرابطة المثلالية.

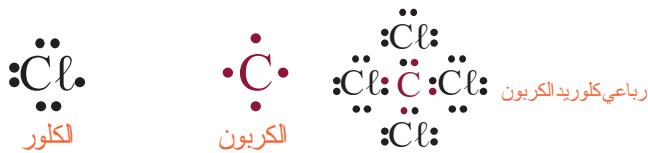
مثال جزيء أو أيون	قيمة زوايا الرابطة الفعلية	قيمة زوايا الرابطة المثلثية	الأشكال الهندسية الجزيئية	شكل المجال الهندسي الإلكتروني	المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	المجالات الإلكترونية المرتبطة	المجالات الإلكترونية
CO_2 	180°	180°	خطي	خطي	0	2	2
CO_3^- 	120° رنين	120°	مثليث مسطح	مثليث مسطح	0	3	3
SO_2 	119°	120°	منحنٍ	مثليث مسطح	1	2	3
CH_4 	109.5°	109.5°	رباعي الأوجه رباعي الأوجه	رباعي الأوجه رباعي الأوجه	0	4	4
NH_3 	107°	109.5°	هرمي ثلاثي	رباعي الأوجه هرمي ثلاثي	1	3	4
H_2O 	104.5°	109.5°	منحنٍ	رباعي الأوجه	2	2	4

مثال ۴

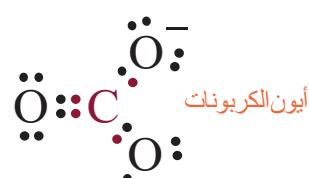
توقع نوع تهجين الأفلاك والشكل الهندسي الجزيئي للمركب رباعي كلوريد الكربون CCl_4 وأيون الكربونات (CO_3^{2-})

الحل

يحتوي الكربون على أربعة إلكترونات تكافؤ، ما يجعل له أربعة مجالات إلكترونية: نوع التهجين (sp^3) وشكل الجزيء رباعي الأوجه.



ذرة الكربون المركزية في أيون الكربونات (CO_3^{2-}) لديها ثلاثة أزواج إلكترونات مرتبطة، أي إنَّ لذرَّة الكربون ثلاثة مجالات إلكترونية: نوع الترجمين (sp^2) وشكل الجزيء مثلث مسطّح.





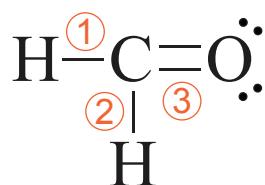
توقع نوع تهجين الأفلاك والشكل الهندسي الجزيئي لجزيء الفورمالدهيد (HCHO) formaldehyde. أرسم الجزيء بقيم زوايا تقريبية صحيحة مبيناً الإلكترونات غير المرتبطة إن وجدت.

الحل

الخطوة 1: تحديد الذرة المركزية.

يمتلك الهيدروجين أدنى سالبية كهربائية بين الذرات الثلاث المكونة لهذا الجزيء. ولكن يستحيل أيضًا أن يكون الهيدروجين هو الذرة المركزية لأنّه يشكّل رابطة تساهمية أحادية واحدة فقط. وبالتالي، فإنَّ الكربون يُحدَّد على أنه الذرة المركزية.

الخطوة 2: تحديد عدد المجالات الإلكترونية حول ذرة الكربون.

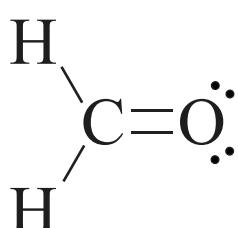


من خلال تركيب لويس النقطي للجزيء، توجد 3 مجالات إلكترونية حول ذرة الكربون. يمكن توقع حالة التهجين للأفلاك من خلال عدد المجالات الإلكترونية. ولأنَّ هناك ثلاثة مجالات إلكترونية، فإنَّ نوع تهجين ذرة الكربون هو (sp^2).

الخطوة 3: توقع الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني.

«مثُلث مسطح» هو الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني المتوقع له 3 مجالات إلكترونية حول الذرة المركزية.

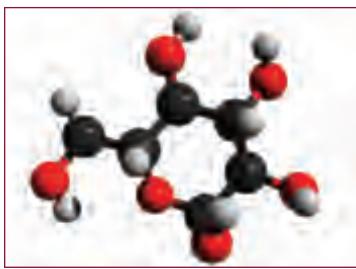
الخطوة 4: توقع الشكل الهندسي الجزيئي.



إذا كانت جميع المجالات الإلكترونية مرتبطة، فإنَّ الشكل الهندسي الجزيئي هو شكل المجال الإلكتروني نفسه. وبالتالي، فإنَّ شكل الجزيء المتوقع هو مثُلث مسطح. أمّا قيم الزوايا المثلثية بين الروابط في شكل المجال الإلكتروني لمثُلث مسطح فهي 120° .

المجالات الإلكترونية حول ذرة الكربون في الفورمالدهيد ليست متطابقة. لذلك، فإنَّ من المتوقع أن تكون قيم الزوايا بين الروابط قريبة من 120° . لذلك، فإنَّنا نتوقع أن تكون قيم الزوايا أقل أو أكثر بقليل من 120° . توقع قيمة منطقية للزوايا ثم ابحث عن قيم زوايا الرابطة المقاومة للفورمالدهيد لتقييم توقعك.





الشكل 3-19 الشكل الحلي للجلوكوز.

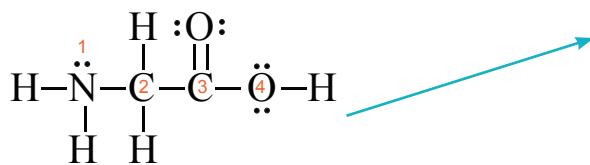
أشكال الجزيئات العضوية

الكثير من الجزيئات العضوية كبيرة، ولها أشكال معقدة، مثل الجلوکوز (الشكل 3-19). يمكن توقع أشكال هذه الجزيئات من خلال تحليل الشكل الهندسي للذرات الداخلة في تركيب سلاسلها و حلقاتها كلاً على حدة.

يتم تحليل أشكال الجزيئات الكبيرة عن طريق تحديد الشكل الهندسي الجزيئي لكل ذرة داخلية.

لوضع تصوّر مناسب لشكل جيء عضوي مُعَقَّد، نتبع الخطوات نفسها المستخدمة لجزيء بسيط ونعيid هذه الخطوات لكل ذرة داخلية. عادة ما تكون الذرات الداخلية في أكثر الأحيان ذرة كربون أو أكسجين أو نيتروجين.

على سبيل المثال لنأخذ الحمض الأميني الجلايسين $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ glycine . ارسم تركيب لويس النقطي لهذا الجزيء ورقم الذرات الداخلية لنبيان العملية بشكل أوضح.

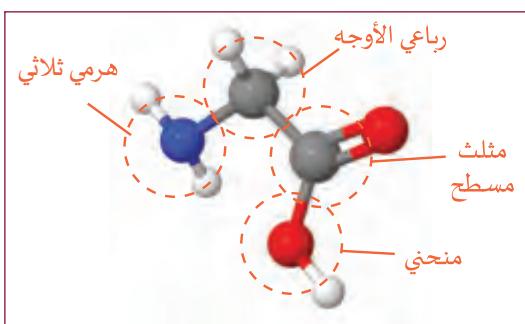


التحليل لكل ذرة داخلية مبيّن في (الجدول 4-3)

تعتبر قيم زوايا الرابطة مثالية إلى أن يثبت أنه هناك إحتمال آخر مثال في جزيء الأمونيا NH_3 حيث يضغط زوج الإلكترونات الحر على الزاوية ويغيّر قيمتها.

الجدول 4-3 جدول الشكل الهندسي الجزيئي المتوقّع.

الشكل الهندسي الجزيئي المتوقّع	عدد المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة	قيم زوايا الرابطة المثالية	الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني	عدد المجالات الإلكترونية	الذرة الداخلية
هرمي ثلاثي	1	3	109.5°	رباعي الأوجه	4	(N) : 1 رقم
رباعي الأوجه	0	4	109.5°	رباعي الأوجه	4	(C) : 2 رقم
مثلث مسطّح	0	3	120°	مثلث مسطّح	3	(C) : 3 رقم
منحنٍ	2	2	109.5°	رباعي الأوجه	4	(O) : 4 رقم



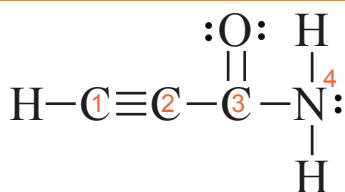
وبالجمع بين الأشكال الهندسية الفردية نصل إلى التركيب البنائي الموضّح في (الشكل 3-20).

لفهم أشمل للشكل الجزيئي، يجب أن نأخذ بعين الاعتبار تأثير المجموعات الذرية المجاورة بعضها البعض. في الجزيئات المعقدة، يمكن أن يسبّب التناحر الكهروستاتيكي من الذرات المجاورة غير المرتبطة تغيّراً في قيم زوايا الرابطة.

الشكل 3-20 الشكل الجزيئي من الأشكال الهندسية الذرية الفردية.

أشكال الجزيئات العضوية - أمثلة

مثال 6

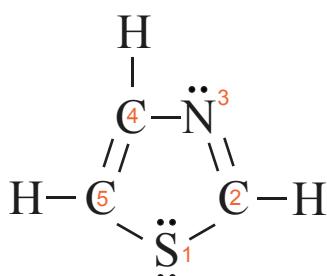


الأشكال الهندسية الجزيئية للذرّات الأربع الداخلية للبروباين اميد (CH₂CONH₂) propynamide.

الحل التحليل والأشكال الهندسية في الجدول أدناه.

الشكل الهندسي الجزيئي المتوقع	عدد المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة	قيم زوايا الرابطة المثالية	الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني	عدد المجالات الإلكترونية	الندرة الداخلية
خطي	0	2	180°	خطي	2	(C) رقم 1:
خطي	0	2	180°	خطي	2	(C) رقم 2:
مثّلث مسطح	0	3	120°	مثّلث مسطح	3	(C) رقم 3:
هرمي ثلاثي	1	3	109.5°	رباعي الأوجه	4	(N) رقم 4:

مثال 7



التركيب المكوّن لجزيء الفيتامين B1 (الثيامين thiamine) هو الثيازول thiazole. تتكون حلقة من إلكترونات غير متمرضة. أحد التراكيب الرئيسيّة للثيازول مبيّن إلى اليسار. استخدم هذا التركيب لتتوقع الشكل الهندسي الجزيئي لذرّات الحلقة الداخلية الخامسة.

الحل التحليل والأشكال الهندسية في الجدول أدناه.

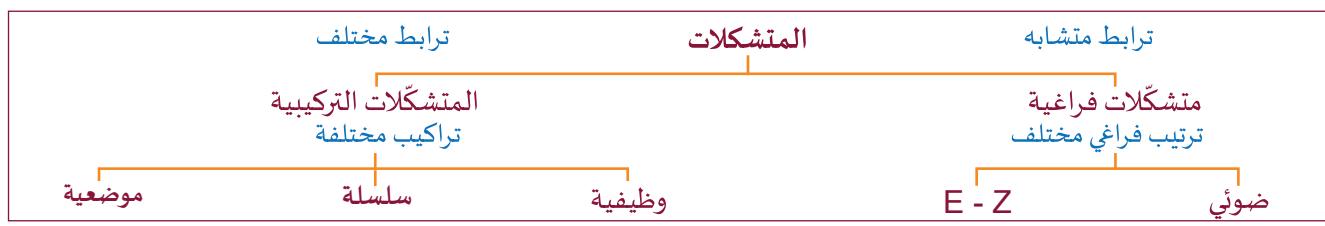
الشكل الهندسي الجزيئي المتوقع	عدد المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة	قيم زوايا الرابطة المثالية	الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني	عدد المجالات الإلكترونية	الندرة الداخلية
منحنٍ	2	2	109.5°	رباعي الأوجه	4	(S) رقم 1:
مثّلث مسطح	0	3	120°	مثّلث مسطح	3	(C) رقم 2:
منحنٍ	1	2	120°	مثّلث مسطح	3	(N) رقم 3:
مثّلث مسطح	0	3	120°	مثّلث مسطح	3	(C) رقم 4:
مثّلث مسطح	0	3	120°	مثّلث مسطح	3	(C) رقم 5:



تشير القياسات التجريبية لقيمة زاوية الرابطة C—S—C إلى أنها 109.5°. وهذا أصغر بكثير من الزاوية المثالية المتوقعة 120°. اشرح سبب هذا الفرق الكبير.

المتشكلات

المتشكلات (أيزومرات) Isomers مركبات لها الصيغة الجزيئية نفسها، لكن بتركيب بنائية مختلفة. في **المتشكلات البنائية (التركيبية) Structural isomers** تتصل الذرات بطريقة بنائية مختلفة، أي إنها تتصل وتترابط بترتيب مختلف. أما في **المتشكلات الفراغية Stereoisomers** فترتبط جميع الذرات بالترتيب نفسه، ولكن بعض الذرات المرتبطة لديها اتجاهات فراغية مختلفة مقارنة بالذرات الأخرى. أنواع المتشكلات موضحة في (الشكل 21-3).



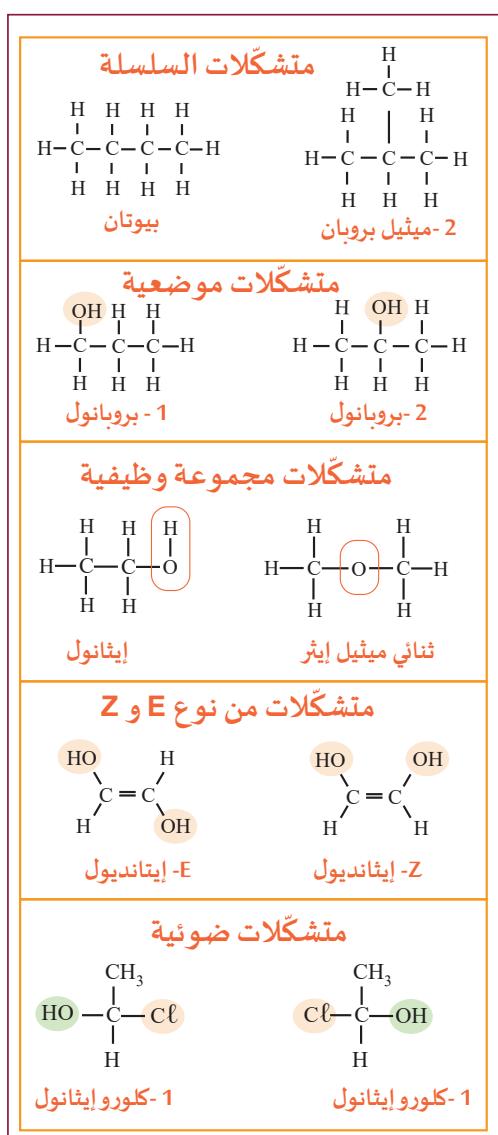
الشكل 21-3 أنواع المتشكلات.

المتشكلات البنائية (التركيبية) Structural Isomers

• **متشكلات السلسلة Chain isomers** تُرتَب سلسلة الكربون بشكل مختلف؛ مثل البيوتان، وـ 2-ميثيل البروبان.

• **المتشكلات الموضعية Position isomers** ترتبط المجموعات الوظيفية بمواقع مختلفة، مثل مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة الكربون رقم 1، أو ذرة الكربون رقم 2 في السلسلة.

• **المتشكلات الوظيفية Functional isomers** تُرتَب الذرات نفسها فيمجموعات وظيفية مختلفة، حيث يبين المثال أحد أنواع الكحول ($R-OH$)، والإثير ($R-O-R$).



الشكل 22-3 أمثلة على أنواع المتشكلات المختلفة.

المتشكلات الهندسية Stereoisomers

• **المتشكلات الهندسية من النوع (E) ومن النوع (Z)** تحتوي على الأقل رابطة ثنائية تمنع ذرَّة الكربون المرتبطتين بالرابطة الثنائية في السلسلة من الدوران بعضها حول بعض، فمن المحتمل أن تكون المجموعتان الوظيفيتان في الجانبين المتعاكسيين للسلسلة من النوع (E)، أو في الجانب نفسه للسلسلة من النوع (Z).

• **المتشكلات الضوئية Optical Stereoisomers** تحتوي على الأقل على ذرة كربون واحدة، وتسمى "المركز الكيرالي" (غير المتماثل). وترتبط بهذه الذرة مجموعات مختلفة (أو ذرات الأربعة المختلفة قد يتغير أيضًا). وعلى سبيل المثال، فإن 1-كلورو إيثانول (1-chloroethanol) يُعد متشكلاً ضوئياً.

متشكلات السلسلة الكربونية للألكانات

تمت تسمية الألكانات وفقاً لأطول سلسلة كربون، وذلك استناداً إلى الbadئات الموجودة في قواعد IUPAC. إنّ معظم الألكانات التي تحتوي على أكثر من أربعة ذرات كربون لها سلسلة جانبية، وهي تُعدّ تفرعًا من السلسلة الرئيسية: سلسلة الكربون الجانبية التي تتكون من ذرة كربون واحدة (CH_3 -). تسمى مجموعة "ميثيل". حيث تمثل (-ميث) ذرة كربون واحدة، والخاتمة (-يل) تعني أنها متفرعة من السلسلة الرئيسية، أما سلسلة الكربون الجانبية التي تتكون من ذرتين كربون فهي مجموعة "إيثيل"، وسلسلة الكربون الجانبية التي تتكون من ثلاثة ذرات كربون هي مجموعة "بروبيل".

الجدول 3-5 badئات تسمية الألكانات والسلالس الجانبية.

عدد ذرات الكربون	الbadئة بحسب IUPAC	السلالس الجانبية (مجموعات R)
1	ميث	$\text{H}-\text{C}-\text{H}$ ميثيل
2	إيث	$\text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H}$ إيثيل
3	بروب	$\text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H}$ بروبيل
4	بيوت	$\text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H}$ بيوتيل
5	بينت	
6	هيكس	
7	هيبت	
8	اوكت	
9	نون	
10	ديك	

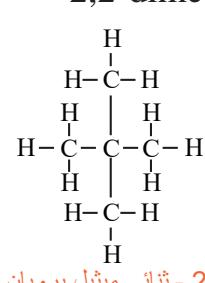
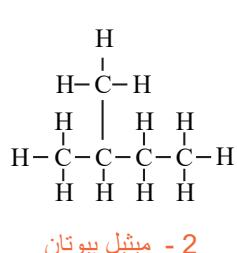
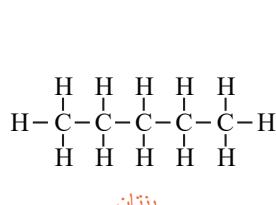
- عُدّ أطول سلسلة كربون؛ وذلك لتحديد الbadئة، ثم أضف الخاتمة (ان) لتسمية المركب.
- عين أرقام ذرات الكربون، بحيث تأخذ السلسلة المتفرعة الأولى أقل رقم محتمل.
- اذكر أسماء السلاسل الجانبية وفق ترتيب أبجدي إنجليزي مع أرقامها.
- استخدم الbadئات مثل (ثنائي)، و (ثلاثي) للسلاسل الجانبية المتعددة من النوع نفسه.

مثال 8

رسم وسم متشكلات السلسلة الكربونية الثلاثة للمركب ذي الصيغة الجزيئية C_5H_{12}

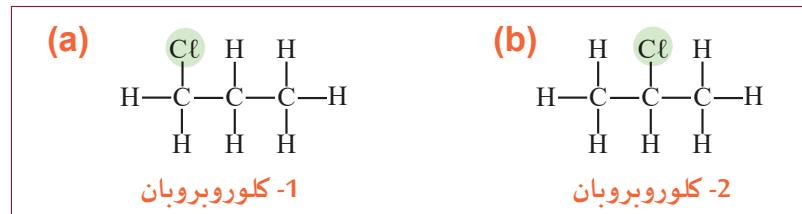
الحلّ :

- ابسط المتشكلات لسلسلة كربونية خطية تحتوي على خمسة ذرات كربون هي للمتشكل بنتان Pentane.
- المتشكل الذي لديه سلسلة من أربعة ذرات كربون ومترفع واحد هو 2-ميثيل بيوتان 2-methylbutane
- المتشكل الذي لديه سلسلة كربونية من ثلاثة ذرات كربون ومترفعين هو 2,2-ثنائي ميثيل بروبان 2,2-dimethylpropane



المتشكلات الموضعية

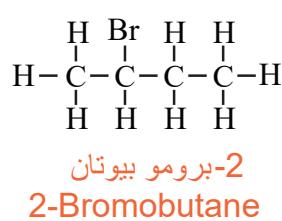
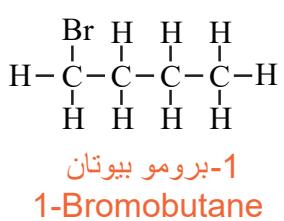
المتشكلات الموضعية مركبات لها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكن المجموعات الوظيفية فيها تكون في مواضع مختلفة. وعلى سبيل المثال، 1-كلورو بروبان (1-chloropropane) فيه ذرة كلور واحدة مرتبطة بذرة الكربون رقم 1 في السلسلة (الشكل 3-a)، أما 2-كلورو بروبان (2-chloropropane) تكون فيه ذرة كلور واحدة مرتبطة بذرة الكربون رقم 2 في السلسلة (الشكل 3-b).



الشكل 23-3 المتشكلات الموضعية (a) 1-كلورو بروبان، و(b) 2-كلورو بروبان

مثال 9

رسم وسمٌ متشكلان موضعيان للمركب ذي الصيغة الجزيئية C_4H_9Br



الحل: المتشكلان للمركب ذي الصيغة الجزيئية C_4H_9Br مبينان إلى اليسار.

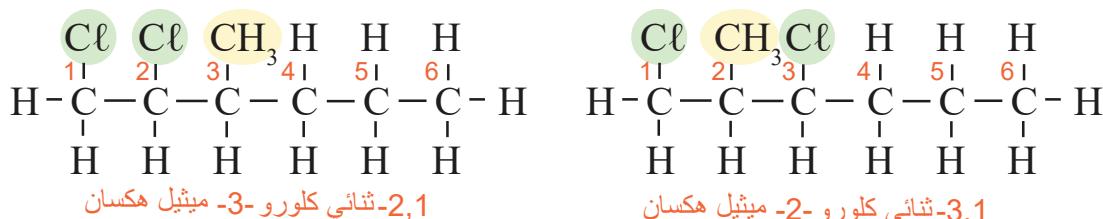
مثال 10

رسم المخلطات البنائية لكل من: 2,1-ثنائي كلورو-3-ميثيل هكسان (1,2-dichloro -3- methylhexane) و 3,1-ثنائي كلورو-2-ميثيل هكسان (1,3-dichloro-2-methylhexane) ثم حدد نوع التشاكل بين المركبين.

الحل: كلا الجزيئين هكسان، لذا فإنَّ لكل منهما سلسلة رئيسة مكونة من ست ذرات كربون. نرقم ذرات الكربون من 1-6.

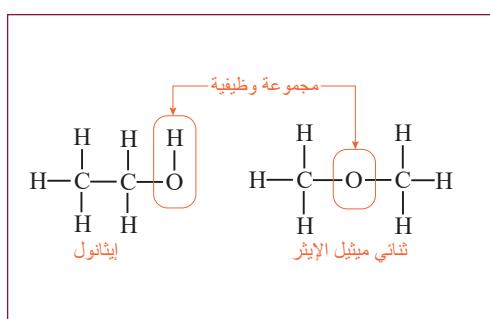


المركب "2,1-ثنائي كلورو-3-ميثيل هكسان" يعني أن ذرتى الكلور مرتبطان بذرتي الكربون رقم 1، ورقم 2، و"3-ميثيل" تعنى أن مجموعة الميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 3.



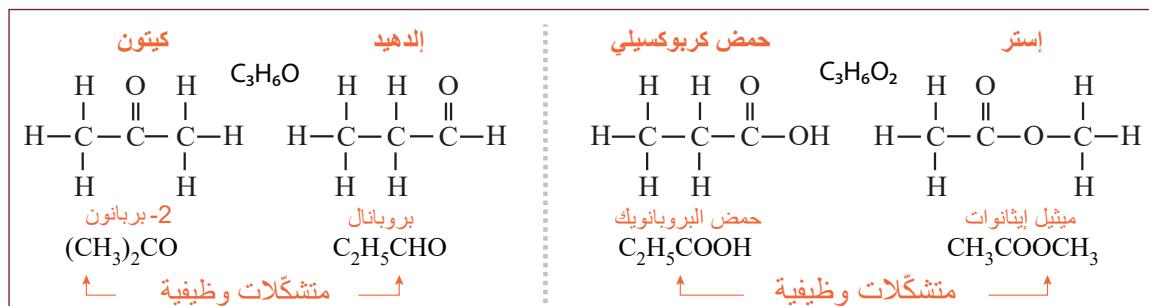
المركب "3,1-ثنائي كلورو-2-ميثيل هكسان" يعني أن ذرتى الكلور مرتبطان بذرتي الكربون رقم 1، ورقم 3، و"2-ميثيل" تعنى أن مجموعة الميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 2. هذان المركبان متتشكلان موضعيان.

المتشكلات الوظيفية



الشكل 24-3 متشكلاً وظيفيان الإيثانول والإيثر.

أحد هما يحتوي على مجموعة هيدروكسيل الوظيفية (-OH) كما في المركب الإيثانول، أمّا الآخر فيحتوي على مجموعة إيثر الوظيفية (-O-) كما في المركب ثانٍ ميثيل الإيثر. هنالك زوجان آخران من أصناف المركبات العضوية لهما متشكلاً وظيفية، وهما: الكيتونات (-CO-) والألدهيدات (-CHO)، وكذلك الأحماض الكربوكسيلية (-COOH) والإستر (-COO-) كما هو مبين في الشكل 25-3.



الشكل 25-3 مركبات عضوية شائعة لها متشكلاً وظيفية.

مثال 11



حدد المتشكل الوظيفي للبيوتانال (Butanal).

الحل :

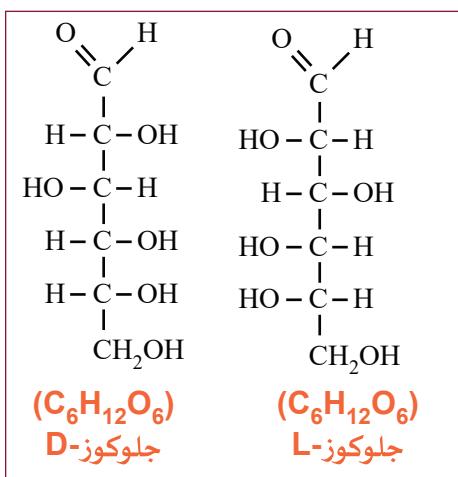
من (الشكل 25-3) نلاحظ أن الكيتونات هي متشكلاً وظيفية للألدهيدات. وقد تم تكوين المتشكل بتحريك مجموعة الكربونيل (CO) من نهاية السلسلة إلى منتصفها. إنَّ وضع مجموعة الكربونيل على أية ذرة كربون تقع في منتصف السلسلة يعطيها الاسم نفسه. لذلك، فإن 2-بيوتانون (2-butanone) هو الكيتون الوحيد الذي يُعد متشكلاً وظيفياً للبيوتانال.



المتشكلات الفراغية



الشكل 3-26 مفهوم المتشكلات الفراغية.



الشكل 3-27 متشكلان فراغيان لجزيء الجلوكوز.

يُعدُّ الجزيئان من **المتشكلات الفراغية Stereoisomers** عندما ترتبط جميع الذرات بالذرات نفسها في كل جزء، ولكن بعض الذرات المرتبطة لديها اتجاهات فراغية مختلفة مقارنة بالذرات الأخرى. لدى المتشكلات الفراغية الترابط نفسه، مع الاختلافات في التركيب. نشاط النبذة في بداية هذا الدرس بين تصميم متشكلاين فراغيين (الشكل 3-26).

لمركب الجلوكوز glucose متشكلاً فراغيان شائعان يُعرف أحدهما بالجلوكوز-D والأخر بالجلوكوز-L. ربما سمعت عن «السكر اليساري» ذي الطعم الحلو الذي لا يملك سعرات حرارية. هذا السكر اليساري هو أحد متشكلات الفراغية للجلوكوز. ومن المعروف أن الجلوكوز-L لا يمكن هضمته لأن الإنزيم سكرياز sucrase، يعمل فقط على المتشكل الفراغي الجلوكوز-D. مع ذلك، فإننا نستمتع بالطعم الحلو، لأنَّ مستقبلات «الحلوة» العصبية حساسة لكلٍ من جزيئات الجلوكوز D و L. يبيّن (الشكل 3-27) التركيب البنائي لجزيء الجلوكوز-L ولجزيء الجلوكوز-D.

هل يمكنك أن ترى الاختلاف بينهما؟

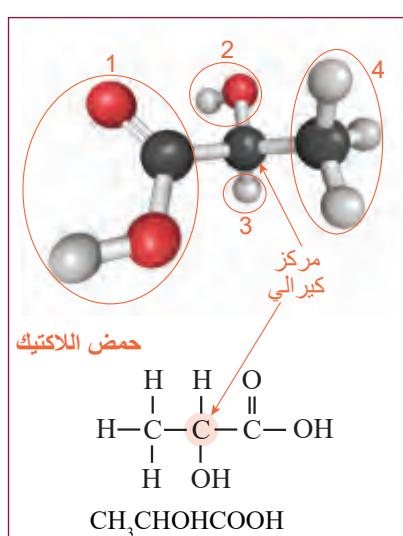
المراكيز الكيرالية (غير المتماثلة)

الجزيء الكيرالي (غير متماثل) لا يوجد في مستوى متماثل. في بعض الجزيئات العضوية، يوجد على الأقل ذرة كربون مرتبطة باربعمجموعات أو ذرات مختلفة، وهذا يُسمى **المركز الكيرالي (مرکز غير متماثل)** Chiral center.

يكون المركز كيرالي (غير متماثل) في الغالب ذرة كربون لها شكل هندسي جزئي رباعي الأوجه ترتبط بها أربعمجموعات أو ذرات مختلفة في كل من المجالات الإلكترونية الأربع. وفي (الشكل 3-27). الجزيئين الجلوكوز-D والجلوكوز-L متشكلاين فراغيان كيراليان (غير متماثلين).

المجموعات الأربع حول المركز الكيرالي يمكن أن لا تكون ذرات مفردة بل قد تكون مجموعة من الذرات كما هو موضح في جزيء حمض اللاكتيك (Lactic acid) المبيّن (بالشكل 3-28).

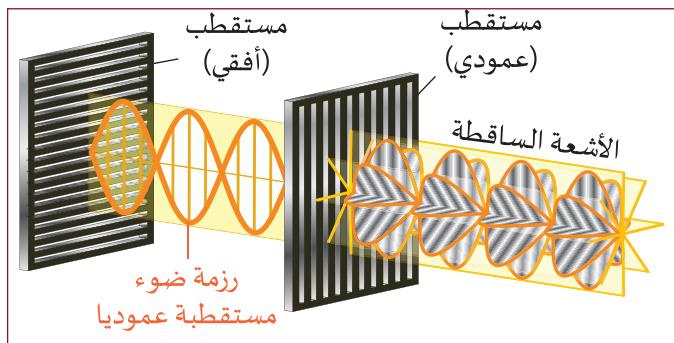
- 1 = مجموعة كربوكسيل (—COOH)
- 2 = مجموعة هيدروكسيل (—OH)
- 3 = ذرة هيدروجين (—H)
- 4 = مجموعة ميثيل (—CH₃)



الشكل 3-28 الذرة المركزية في حمض اللاكتيك هي مركز كيرالي.

النشاط الضوئي

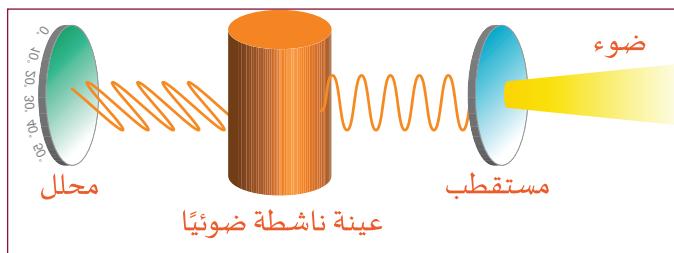
يشير النشاط الضوئي Optical activity على قابلية مركب على شكل سائل أو محلول أو بلوري على إدارة مستوى الضوء المستقطب المستوى. وتكون المركبات نشطة ضوئياً نتيجة لتأثير الضوء المستقطب بالسحب الإلكترونية الموجودة حول المركز الكيرالي (غير المتماثل)، ولهذا السبب، فإنَّ الجزيئات التي تمتلك مركزاً كيرالياً مثل الجلوكوز، وحمض اللاكتيك تُعدَّ متشكلاً ضوئية Optical isomers.



الشكل 3-29 عملية استقطاب الضوء.

الضوء المستقطب

الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية. يشتمل الضوء العادي على الكثير من الموجات التي يكون فيها مستوى الاهتزاز لكل موجة مختلفاً بشكل عشوائي. ونسمى الضوء العادي "الضوء غير المستقطب"، لأننا نجد في المتوسط خليطاً متساوياً من الاستقطابات جميعها.



الشكل 3-30 مبدأ عمل البولارميتر.



الشكل 3-31 البولارميتر المستخدم في المختبرات الكيميائية.

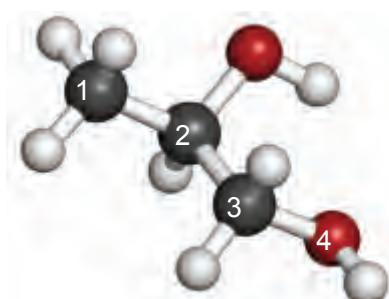
قياس الاستقطاب (البولارميتر)

يُستخدم البولارميتر polarimeter لتحديد نوعية المركب أكان نشطاً ضوئياً أم لا؟ يقارن البولارميتر استقطاب الضوء قبل مروره عبر عينة وبعد المرور، فالمركبات النشطة ضوئياً تغيّر من اتجاه الاستقطاب (الشكل 3-30).

ويقيس البولارميتر التغيير في زاوية الاستقطاب، كما يخبرنا أنَّ عملية إدارة الضوء المستقطب قد تمت باتجاه حركة عقارب الساعة أو بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وذلك بالنسبة إلى الضوء المستقطب المستوى الساقط.

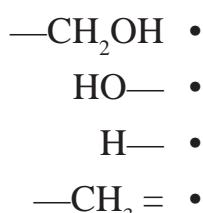
ومن الاستخدامات الشائعة لجهاز البولارميتر قياس تركيز محلولٍ لمركبٍ نشط ضوئياً، حيث تتناسب استدارة مستوى الاستقطاب مع التركيز. ويبين (الشكل 3-31) البولارميتر المستخدم في المختبرات الكيميائية.

مثال 12



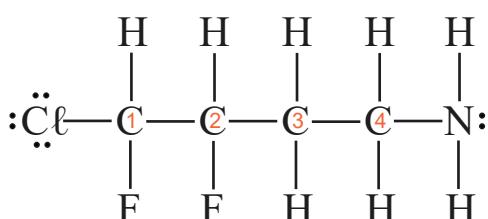
الجزئيات النشطة ضوئياً تسمى جزيئات كيرالية (لديها مركز غير对称). هل بروبيلين جليكول ($C_3H_6(OH)_2$) propylene glycol هو جزء كيرالي؟ إذا كان الأمر كذلك، فـأية ذرة كربون هي مركز كيرالي؟

المجموعات المرتبطة بالكربون رقم 2



الحل بروبيلين جليكول هو جزء كيرالي، وبالتالي، فهو نشط ضوئياً. ذرة الكربون رقم 2 هي مركز كيرالي لأنها مرتبطة بأربع مجموعات مختلفة.

مثال 13



يمكن أن تحتوي الجزيئات على أكثر من مركز كيرالي (مراكز غير对称). أيّ من ذرات الكربون الموضحة في الجزء الموجود إلى اليسار هي مراكز كيرالية؟

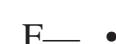
المجموعات المرتبطة

بالكربون رقم 2



المجموعات المرتبطة

بالكربون رقم 1 :

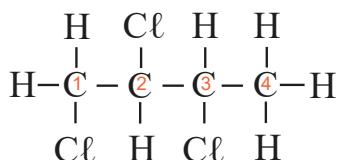


الحل ذرّتا الكربون رقم 1 ورقم 2 هما

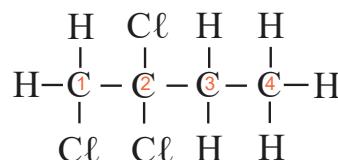
مراكز كيراليان لأنّ لكلّ منها 4 مجموعات مختلفة مرتبطة بها.

مثال 14

(a) 3,2,1-ثلاثي كلورو بيوتان



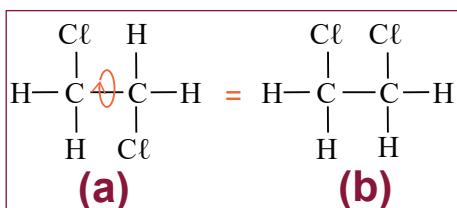
(b) 2,2,1-ثلاثي كلورو بيوتان



الجزي (a) والجزيء (b) نوعان من المتشكلات التركيبية للمركب ثلاثي كلورو البيوتان، ($C_4H_7Cl_3$) trichlorobutane. أيّ من هذين الجزيئين هو جزء كيرالي؟ اشرح اختيارك.

الحل الجزيء (a) هو المتشكل الكيرالي لأنّ لديه مراكز كيرالية على ذرّة الكربون رقم 2 وعلى ذرّة الكربون رقم 3. لهاتين الذرتين أربعة أنواع من المجموعات المختلفة مرتبطة بها. أمّا الجزيء (b) فهو غير كيرالي لعدم وجود ذرّة كربون لديها أربع مجموعات مختلفة مرتبطة بها.

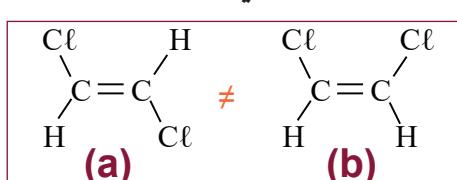
المتشكلات الفراغية وترميز Z-E في الألكينات



الشكل 3-2,1-ثنائي كلوروايثان .1,2-dichloroethane

هناك عدد قليل من الرموز المختلفة للتسميات المستخدمة للتمييز بين الاتجاهات الفراغية المختلفة للمتشكلات الفراغية. يتم استخدام الرموز المختلفة لخصائص مختلفة مثل الاتجاه الفراغي النسبي للذرارات أو لإدارة الضوء في النشاط الضوئي. حيث يتم استخدام ترميز E-Z مع المتشكلات الفراغية للألكينات. تذكر أن الألكينات تحتوي على رابطة ثنائية بين ذرتَي الكربون.

انظر في التركيب البنائي لجزيء 1,2-ثنائي كلورو إيثان (1,2-dichloroethane) كما هو موضح في الشكل (a32-3). الرابطة التساهمية الأحادية من النوع سيجما (σ) بين ذرتي الكربون تسمح بالدوران. لذلك، فإنَّ التركيبين البنائيين المبينين في (الشكل 3-a32) وفي (الشكل 3-b32) هما تركيبان متشايران، أي يمثلان الجزيء نفسه.



الشكل 3-3 المتشكلات الفاغة.

يحتوي هذا الجزيء على رابطة من النوع بـأي (π) بين ذرتي الكربون. هذا النوع من الروابط يقيّد الدوران حول محور معين. لذلك فإن التركيبين البنائيين (a) و (b) هما متشكّلان فراغيّان مختلفان ولا يمثّلان المركب نفسه. لذلك يجب إعطاؤهما اسمين مختلفين.

يمكن أن تكون هناك مجموعتان من الذرات مرتبطة بذرة كربون متحدة مع ذرة كربون أخرى برابطة ثنائية. باستخدام الرموز E-Z، يتم تعيين أولوية المجموعات المرتبطة بذرات الكربون. أعلى أولوية تذهب إلى المجموعة التي تحتوي على أكبر عدد ذري. كلّ من ذرات الكربون في **الشكل 3-33** مرتبطة بذرة هيدروجين واحدة وذرة كلور.

يمكن تعين الأولوية للمجموعات باستخدام جدول تحليل الأولوية (PAT):

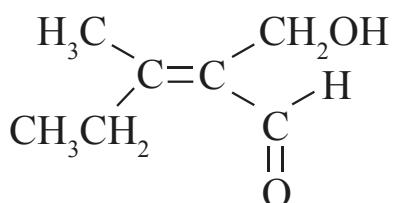
الأولوية الأدنى	العدد الذري = 1	H
الأولوية الأعلى	العدد الذري = 17	Cl

الرمز (E) - يُكتب مع بداية اسم المتشكل الفراغي عندما تكون المجموعتان اللتان لديهما أولوية عالية في اتجاهين متعاكسيْن على جانبي الرابطة الثنائية للجزيء. أما الرمز (Z) - فيُستخدم عندما تكون المجموعتان اللتان لديهما أولوية عالية في الاتجاه نفسه على جانبي الرابطة الثنائية للجزيء (الشكل 3-34).



الشكل 34-3 متشكلات E-Z للمركب 1,2-dichloroethene (كlorوايشن).

مثال 15



هل الجزيء الموجود إلى اليسار هو المتشكل الفراغي (E) أو (Z)؟

الحل

الجزيء يحتوي على رابطة ثنائية بين ذرتين كربون. كل ذرة كربون من هاتين الذرتين مترتبة بمجموعات مختلفة. لذلك، ولتحديد نوع المتشكل الفراغي، علينا أن نأخذ بالاعتبار المجموعات المرتبطة مباشرة بكل من الذرتين. ترتبط ذرة الكربون إلى اليسار بمجموعتين: الأولى هي مجموعة CH_3 —التي تحتوي على ذرة كربون واحدة مترتبة مباشرة بثلاث ذرات هيدروجين، والمجموعة الثانية هي مجموعة CH_2 —. وترتبط ذرة الكربون إلى اليمين بذرة كربون هي نفسها مترتبة مباشرة بذرتين هيدروجين وذرة كربون أخرى. ربّ الذرات في قائمة بحسب الأولوية في جدول تحليل الأولوية. المجموعة التي لديها أول ذرة مترتبة بذرة الكربون إلى اليسار ولها أعلى عدد ذري يكون لها الأولوية الأعلى. وبالتالي، فإن هذه المجموعة لديها الأولوية الأعلى.

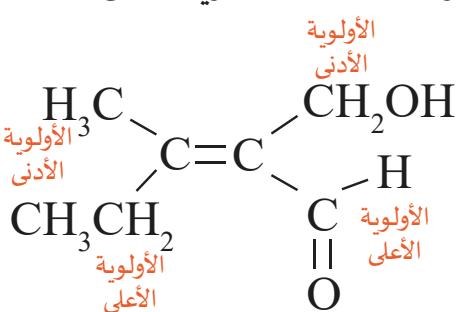
الأولوية الأدنى	العدد الذري = 1	H H H	$-\text{CH}_3$
الأولوية الأعلى	العدد الذري = 6	C H H	$-\text{CH}_2\text{CH}_3$

أما ذرة الكربون إلى اليمين فلديها أيضًا مجموعتان من ذرات كربون مترتبة بها بشكل مباشر. مرة أخرى انظر إلى الذرات المترتبة مباشرة بهذه الذرة.

يحتوي الكربون الموجود في مجموعة CH_2OH —على ذرتين هيدروجين وذرة أكسجين واحدة مترتبة به مباشرةً. يحتوي الكربون الموجود في مجموعة COH —على ذرة هيدروجين واحدة وذرة أكسجين واحدة مترتبة به مباشرةً برابطة ثنائية. تحسب الذرات المترتبة برابطة ثنائية مرتين. ربّ تلك الذرات في قائمة وفقاً للأولوية في جدول تحليل الأولوية (PAT).

الأولوية الأدنى	العدد الذري = 1	O H H	$-\text{CH}_2\text{OH}$
الأولوية الأعلى	العدد الذري = 8	O O H	$-\text{COH}$

الذرة الأولى في كل قائمة هي الأكسجين، لذلك، انتقل إلى الذرة الثانية في كل قائمة. الأكسجين لديه أولوية أعلى من الهيدروجين. لذلك، يتم إعطاء مجموعة COH —الأولوية الأعلى.



المجموعتان اللتان لديهما الأولوية الأعلى موجودتان إلى جانب نفسه من الجزيء، ولهذا يكون المتشكل الفراغي لهذا الجزء من النوع (Z).

استكشف الطائق الذي يمكن استخدامها لتذكر معنى - (E) مقابل معنى - (Z). هل يمكنك التوصل إلى طريقة خاصة بك؟





الأشكال الهندسية للجزئيات والمتشكلات

1-3

كيف يمكن أن تساعد النماذج الجزيئية في فهم الأشكال الجزيئية، المتشكلات الفراغية، ومراكز كيرالية؟ (العمل مجموعات ثنائية).

سؤال الاستقصاء

مجموعة النموذج الجزيئي

المواد المطلوبة

إجراءات مخبرية

الجزء I: الأشكال الهندسية الجزيئية المتوقعة باستخدام نظرية VSEPR

أكمل الجدول أدناه الموجود في أوراق العمل لـ CCl_4 , CO_3^{2-} , CH_3COCH_3 . قم بتصميم نماذج لكلٍ من الجزيئات والأيونات، واطلب من المعلم تقويم النموذج.

الشكل الهندسي الجزيئي المتوقع	عدد المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة	قيمة زوايا الرابطة المتوقعة	قيمة زوايا الرابطة المثلثية	الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني	عدد المجالات الإلكترونية	الذرة الداخلية

الجزء II: المتشكلات التركيبية

1. صمم نماذج لـ 5,1-ثنائي كلوروبنتان (1,5) و 3,3-ثنائي كلوروبنتان (3,3-dichloropentane).

2. صُفْ، من حيث الربط، سبب تصنيف هذين الجزيئين على أنهما متشكلان تركيبيان.

3. صمم نماذجين مختلفين للجزيء 3,1-ثنائي كلورو بروبان (1,3-dichloropropane) ولديهما التركيبيان الآتيان:

4. إذا قمت باستدارة أحد روابط الكربون – الكربون من النوع سيجما (σ) على محور 180° ، برهن أن هذين التركيبين متطابقان ويمثلان الجزيء نفسه.

الجزء III: المتشكلات الفراغية E-Z

1. صمم المتشكلين الفراغيين - (Z) - (E) للجزيء 1-كلورو-1-فلورو-2-ميثيل-1-بيوتين (1-chloro-1-fluoro-2-methyl-1-butene).

باستخدام النماذج و PAT، صُفْ للمعلم سبب تسمية أحد هذين المتشكلين الفراغيين (E) والآخر (Z).

الجزء IV: مراكز كيرالية (مراكز غير متماثلة)

1. صمم نماذجًا من سلسلة مفتوحة للمركب فركتوز (Fructose) كما التركيب الموجود في أوراق العمل. باستخدام النموذج، صُفْ للمعلم ذرات الكربون التي تُعدُّ مراكز كيرالية (مراكز غير متماثلة).

2. ضع دائرة حول جميع المراكز الكيرالية (غير المتماثلة) على التركيب الموجود في أوراق العمل للمركب بنزوات كوليستيريل (cholesteryl benzoate).

إِسْتَنْتَاج: صُفْ الفرق بين المتشكلات التركيبية والمتشكلات الفراغية.

1-3 تقويم الدرس

1. ما الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني المتوقع لذرة ذات 3 مجالات إلكترونية؟

c. مثلث مسطح

a. خطٌّ

d. هرمي مزدوج ثلاثي

b. رباعي الأوجه

2. ما نوع تهجين الأفلاك الذي ينتج عنه الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني المثلث المسطح؟

sp^3 .c

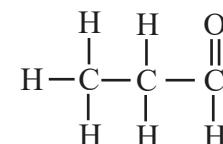
sp .a

sp^3d .d

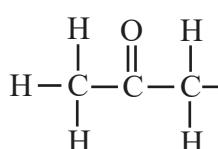
sp^2 .b

3. أيٌّ من الجزيئات الآتية هو متشكّل وظيفي للجزيء الآتي؟

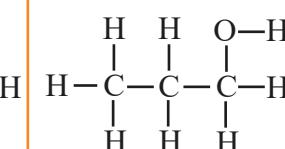
الجزيء 1



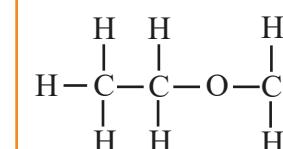
a)



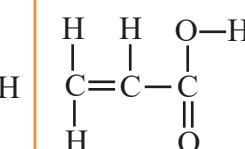
b)



c)



d)



4. ما عدد مجموعات الذرات المختلفة التي يجب أن ترتبط بالذرة لجعلها مركزاً كيراليًّا (غير متماثل)؟

3 .c

1 .a

4 .d

2 .b

5. صَفُّ، من حيث الربط، الفرق بين المتشكّلات التركيبية والمتشكّلات الفراغية.

6. ما نوع الرابطة التي يجب أن يحتوي عليها الجزيء إذا تم استخدام ترميز E-Z للتمييز بين متشكّلين فراغيين اثنين ذات صلة؟

7. صَفُّ، من حيث المجموعات ذات الأولوية الأعلى والأدنى، الفرق بين الأشكال –(E) و –(Z) لمتشكّلين فراغيين.

8. أيٌّ من المجموعات الذرات الآتية تأخذ الأولوية الأعلى لمتشكّل فراغي من النوع (E - Z) –COOH – أو CH_2Cl

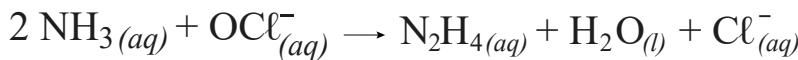
ادعم اختيارك بإظهار جدول تحليل الأولوية (PAT).



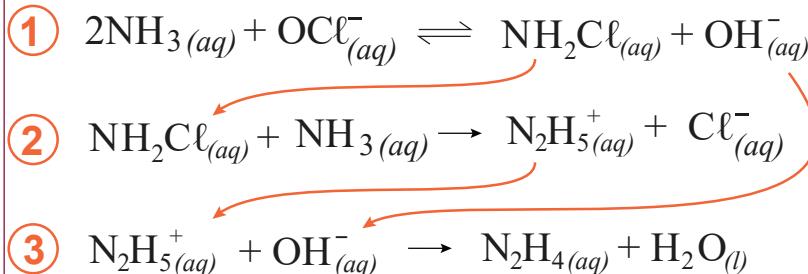
الدرس 2-3

ميكانيكيات التفاعلات العضوية Organic reactions mechanisms

التفاعل الكلي (الكامل)



ميكانيكية التفاعل



الشكل 3-35 ميكانيكية تفاعل من ثلاثة خطوات.

تصبح المواد المتفاعلة نواتج في ثلاثة خطوات. تُسمى تفاصيل التفاعل هذه «ميكانيكية التفاعل». نادراً ما يمكن ملاحظة خطوات ميكانيكية التفاعل بدون توافر المعدات المتخصصة. وفي كثير من الأحيان، لا يمكن ملاحظة الخطوات على الإطلاق. يجب استنتاج الخطوات في أغلب الأحيان بناء على الملاحظات التي يمكن توافرها (مثل الوقت)، واختبارات على المتفاعلات (مثل استبدال المواد المتفاعلة)، أو بالاعتماد على نظرية كيميائية معروفة.

المفردات



Carbocation	كاربوكاتيون
Markovnikov's Rule	قاعدة ماركوفنکوف
Leaving group	المجموعة المغادرة
Acylating	الأسيلة

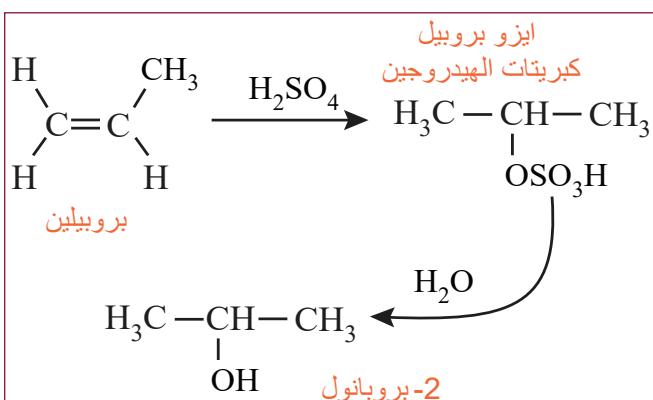
مخرجات التعلم

- C1203.3 يصف ميكانيكيات (آليات) تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات، وتفاعلات الاستبدال (الإحلال) النيوكلويوفيلية في مركبات مثل هاليدات الألكيل (مركبات الألكانات الهروجينية) C1203.4 يصف الخصائص الكيميائية لمركبات مجموعة الكربونيل من خلال ميكانيكية (آلية) تفاعل الاستبدال النيوكلويوفيلى، ويوضح كيف يعتمد نشاطها الكيميائي على السالبية الكهربائية للمجموعة أو المجموعات المرتبطة بها.

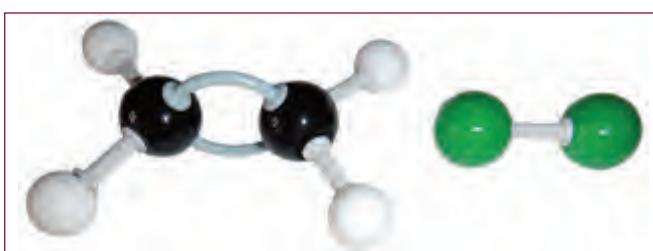
- C1203.5 يوضح التحلل المائي لكلوريد الأسيل (على سبيل المثال في كلوريد الإيثانول) ويفهم بأنها عوامل مفيدة في تفاعل أسيلة الكحولات والفينولات.



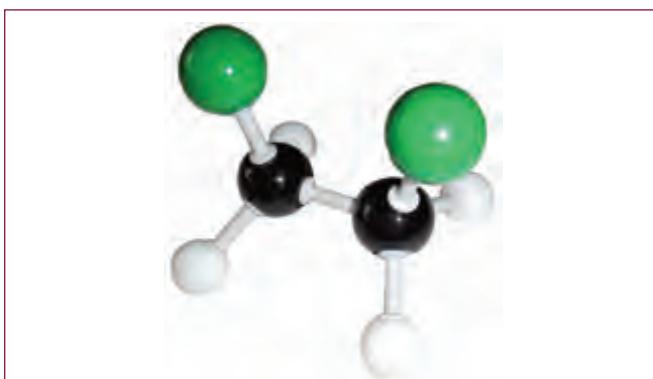
ما هي ميكانيكيات التفاعل؟



الشكل 36-3 تفاعل إنتاج 2-بروبانول.

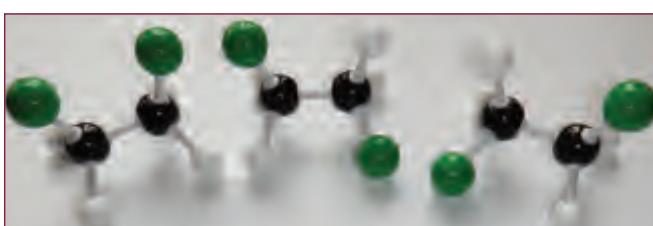


الشكل 37-3 نماذج المتفاعلات.



الشكل 38-3 نموذج الناتج.

اخبر جودة كتابة الخطوات بإعطائهما لزميل في الصف وأطلب منه اتباع تعليمات الخطوات كما هي مكتوبة. هل أنتجت الخطوات نموذجاً ناجحاً؟ تخيل أنك تقوم بهذه الخطوات لعملية لا يمكن رؤيتها. تشبه كل خطوة مكتوبة خطوة في ميكانيكيات التفاعل، حيث تتضمن بعض الميكانيكيات خطوة واحدة فقط، أمّا الميكانيكيات الأخرى فيمكن أن تتكون من خطوات متعددة.



الشكل 39-3 لماذا تتطابق هذه النماذج الثلاثة؟

تستخدم ميكانيكيات التفاعل في كثير من التخصصات وفرع المعرفة لوصف كيفية حدوث العملية، على سبيل المثال يتم الإنتاج التجاري للمركب كحول إيزوبروبيل (2-بروبانول) isopropyl alcohol من خلال تفاعلين اثنين كما يوضح (الشكل 36-3).

تستخدم ميكانيكيات التفاعل الكيميائي في كثير من الأحيان الصيغ والstrukturen. ولفهم ميكانيكيات التفاعل على نحو أفضل نقوم بالخطوات الآتية:

1. قم بإعداد النماذججزيئية كما هو مبين في (الشكل 37-3).

2. بدءاً من ذرّات صيغ هذين الجزيئين، اكتب التعليمات، ورقم كل خطوة، حول كيفية إعداد الجزيء في (الشكل 38-3). وهذا يشمل الروابط التي «ستنكسر» والروابط التي «ست تكون».

3. يمكنك استخدام أيّة روابط إضافية وليس ذرّات، من مجموعة النماذج.

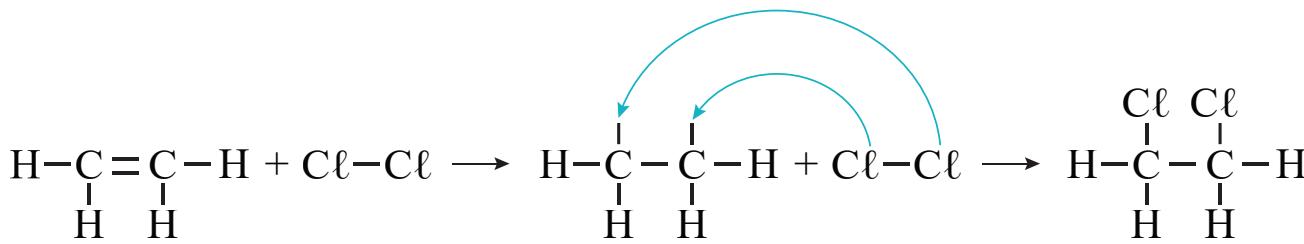
اخبر جودة كتابة الخطوات بإعطائهما لزميل في الصف وأطلب منه اتباع تعليمات الخطوات كما هي مكتوبة. هل أنتجت الخطوات نموذجاً ناجحاً؟ تخيل أنك تقوم بهذه الخطوات لعملية لا يمكن رؤيتها. تشبه كل خطوة مكتوبة خطوة في ميكانيكيات التفاعل، حيث تتضمن بعض الميكانيكيات خطوة واحدة فقط، أمّا الميكانيكيات الأخرى فيمكن أن تتكون من خطوات متعددة.

؟ باستخدام المعلومات التي نوقشت حول المتشكلات في الدرس 1، بيان السبب الذي يجعل النماذج الثلاثة في (الشكل 39-3) تمثل جزيئات متطابقة وليس متشكلات فراغية مختلفة.



تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات

الإلكتروفيل هو جسيم مشحون بشحنة موجبة (مثل: H^+ , Cl^+ , NO_2^+), وقد يكون متعادل الشحنة يستطيع قبول زوج من الإلكترونات من رابطة كيميائية (مثل: $AlCl_3$, BF_3). يوضح الشكل 3-40 أنَّ الكلور يُضاف إلى الرابطة الثنائية في الألكين. ترتبط الإلكتروفيلاط في العادة بالنوكليوفيلات. والنوكليوفيل هو نوع يستطيع منح زوج من الإلكترونات لتكوين رابطة كيميائية. وتُعدُّ ذرات الكربون في الشكل 3-40 نوكليوفيلات.



الشكل 3-40 مثال على إضافة إلكتروفيل إلى الألكينات.

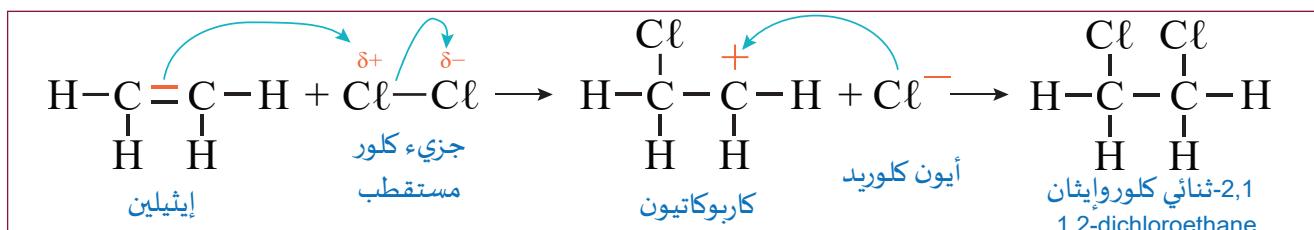


الشكل 3-41 جزء الكلور

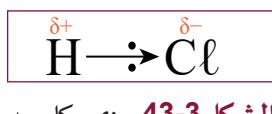
تُعدُّ الإلكترونات في رابطة (π) المكونة للرابطة الثنائية في الألكين الموقعة النوكليوفيلي في الجريء. على الرغم من أنَّ الكلور جزيء غير مستقطب، فإنَّ كثافته الإلكترونية تزاح نحو محيط الرابطة (π) لتشكُّل ثنائي القطب المستقطب (الشكل 3-41).

تندفع الكثافة الإلكترونية لذرَّة الكلور الأقرب إلى إلكترونات الرابطة (π) نحو ذرَّة الكلور الأخرى. وهذا ينبع موقعاً إلكتروفيليَا على إحدى ذرات الكلور مكوِّناً ($Cl^{\delta+}$), حيث يمكن أن يُضاف إلى رابطة (π) النوكليوفيالية. وبالتالي، فإنَّ النتيجة تكون **كاربوكاتيون Carbocation** (أيون كربوني موجب الشحنة) وأنَّيون كلوريدي (سالب الشحنة) (الشكل 3-42).

لاحظ أنَّ الأسماء المنحنية في ميكانيكيات التفاعلات تشير إلى حركة الإلكترونات وتبُدأ من زوج إلكتروني حر أو رابطة (π) نحو إلكتروفيل أو مركز لشحنة موجبة لديه قدرة استقبال لإلكترونات.



الشكل 3-42 ميكانيكية تفاعل إضافة إلكتروفيلي بين الإيثيلين والكلور.



الشكل 3-43 جزء كلوريدي

أخيراً، يُربط أيون الكلوريدي السالب بذرَّة الكربون الموجبة الشحنة في الكاربوكاتيون لإكمال تفاعل الإضافة.

تفسِّر الميكانيكية نفسها تفاعلات إضافة هاليدات الهيدروجين (HX) إلى الألكينات. ومن المعروف أنَّ هاليدات الهيدروجين بطبعتها هي ثنائية القطب (الشكل 3-43).

قاعدة ماركوفنيكوف

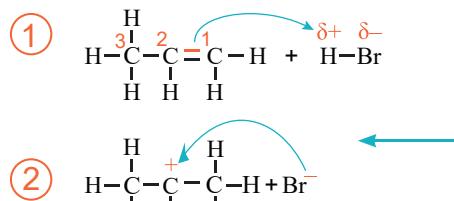
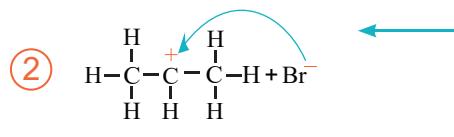
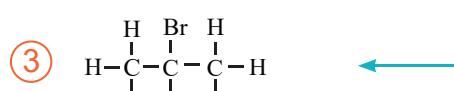
عند إضافة هاليد الهيدروجين (HX) إلى ألكين غير متماثل حول الرابطة الثنائية، تضاف ذرة الهيدروجين إلى ذرة الكربون التي ترتبط بأكبر عدد من ذرات الهيدروجين. وهذا ما يُعرف بـ**قاعدة ماركوفنيكوف** (Markovnikov's Rule). وهو يعني ضمناً أن ذرة الكربون الموجبة في الكاربوكاتيون (حيث ترتبط ذرة الهالوجين) التي تتكون عند كسر الرابطة الثنائية هي ذرة الكربون التي تحتوي على أقل عدد من ذرات الهيدروجين.

مثال 16



أكتب ميكانيكية التفاعل وحدد الإلكتروفيل لتفاعل الإضافة للمركب بروميد الهيدروجين (HBr) إلى 1-بروبين (CH_3CHCH_2).

الحل

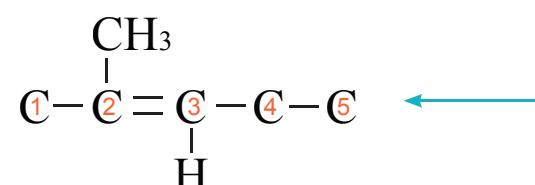
- ① 
 - ② 
 - ③ 
1. يرتبط بذرة الكربون رقم 1 عدد من ذرات الهيدروجين هو أكبر مما يرتبط بذرة الكربون رقم 2. وعند تطبيق قاعدة ماركوفنيكوف، تضاف ذرة الهيدروجين من HBr إلى ذرة الكربون رقم 1، وتضاف ذرة الهالوجين إلى الكربون رقم 2.
2. جزء HBr قطيبي يعمل فيه H^+ إلكتروفيل ليهاجم الرابطة بای ذات الكثافة الإلكترونية العالية ويتكوين الكاربوكاتيون .
3. هاجم أيون Br^- ذرة الكربون الموجبة ويكون الناتج 2-بروموبروبان (2-bromopropane).

مثال 17



توقع ناتج تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية عند إضافة كلوريد الهيدروجين (HCl) إلى 2-ميثيل-2-بنتين . $CH_3C(CH_3)=CHCH_2H_5$, (2-methyl-2-pentene)

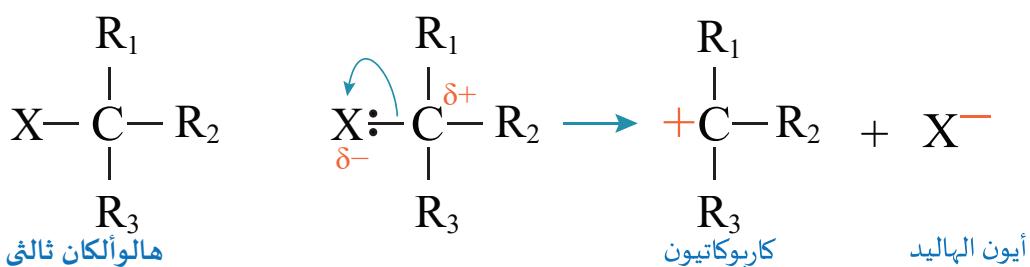
الحل

- 
 - 
- رسم الصيغة البنائية لـ 2-ميثيل-2-بنتين مع ترقيم ذرات الكربون. أظهر ذرات الهيدروجين الموجودة على ذرات الكربون المرتبطة بالرابطة الثنائية فقط.
- ذرة الكربون رقم 3 ترتبط بذرة هيدروجين واحدة، بينما لا ترتبط ذرة الكربون رقم 2 بأية ذرة هيدروجين. لذلك، سيضاف الهيدروجين إلى الكربون رقم 3، وستضاف ذرة الهالوجين إلى الكربون رقم 2. وسيكون الناتج 2-كلورو-2-ميثيلبنتان (2-chloro-2-methylpentane).

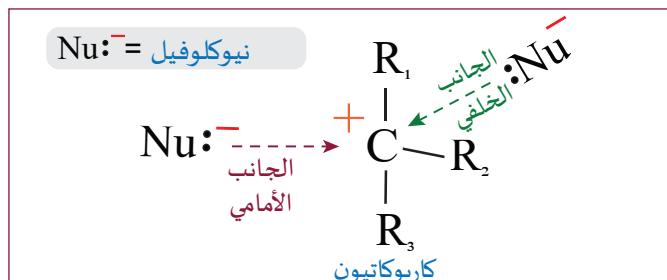
ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي S_N1

تحدث في العادة ميكانيكيتان منفصلتان لتفاعلات الاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلي في الهالوألكانات. وتُسمى هاتان الميكانيكيتان S_N1 و S_N2 . حيث ترمز الحروف « S » و « N » إلى الاستبدال (Substitution) والنيوكليوفيلي (Nucleophilic) على التوالي. وتشير الأعداد «1» و «2» إلى الخطوة الأولى للميكانيكيات التي يوجد فيها جزء واحد أو جزئيان على التوالي. لذلك، فإن حدوث أيٍ من الميكانيكيتين سيعتمد على عدة عوامل. وبتأثير بعض الظروف، يمكن أن تحدث كلتا الميكانيكيتين في وقت واحد.

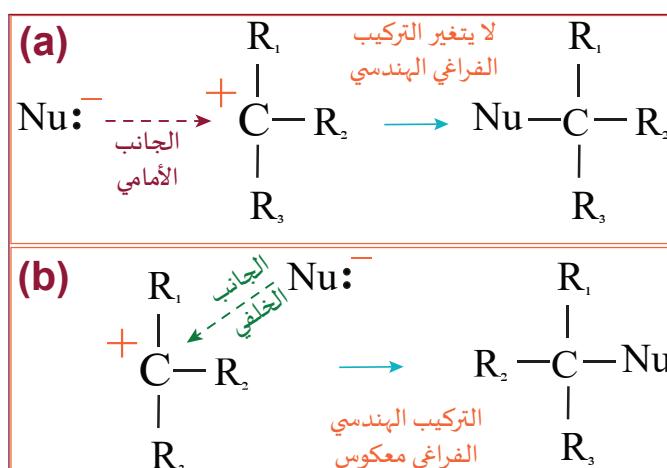
تحدث ميكانيكية S_N1 في خطوتين: الخطوة الأولى في ميكانيكية S_N1 عندما يكون الهالوألكان الثالثي ذرة كربون موجبة (كاربوكاتيون). وهذا يحدث في الغالب عندما يتفاعل هالوألكان مع مذيب، مثل الماء. كما في (الشكل 3-45)، يرمز الحرف «R» إلى مجموعة ألكيل، ويرمز الحرف «X» إلى ذرة الهالوجين.



الشكل 3-44 تشكّل كاربوكاتيون في الخطوة الأولى من ميكانيكية (S_N1) .



الشكل 3-45-3 مهاجمة الكاربوكاتيون من الجانب الأمامي والخلفي في ميكانيكية S_N1 .



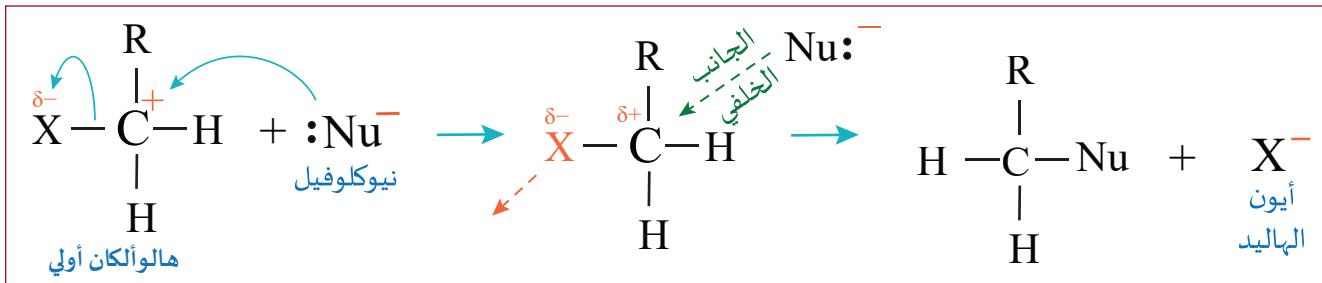
الشكل 3-46-3 (a) الشكل الفراغي كما هو عند مهاجمة الجانب الأمامي و (b) يعكس الشكل الفراغي عند مهاجمة الجانب الخلفي.

تنطوي الخطوة الثانية على مهاجمة النيوكليوفييل للكاربوكاتيون، حيث يمكن أن تحدث المهاجمة إما من الجانب الأمامي (الموقع السابق لذرة الهالوجين) على ذرة الكاربوكاتيون أو من الجانب الخلفي كما يظهر (الشكل 3-45).

هناك أهمية لمهاجمة النيوكليوفييل في الاتجاهين المحتملين في ميكانيكية S_N1 . فإذا كان لذرة الكربون في الكاربوكاتيون مركزاً كيراياً، فإنَّ مهاجمة الجانب الأمامي سينتج متشكلاً فراغياً له التركيب الهندسي الفراغي نفسه مثل الكاربوكاتيون (الشكل 3-46-3). وتنتج المهاجمة من الجانب الخلفي متشكلاً، له تركيب هندسي فراغي معكوس (الشكل 3-46-3). ويمكن أن تحدث كلتا المهاجمتين في وقت واحد، فيُنتج ذلك خليطاً من متشكلاً فراغية. أما إذا لم يكن لذرات الكربون في الكاربوكاتيون مركزاً كيراياً فلا تتكون متشكلاً فراغية.

ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكلوفيلي S_N2

تحدث ميكانيكية S_N2 في خطوة واحدة، وتتضمن جزيئين. وتكون المهاجمة من الجانب الأمامي مقيدة، لأن ذرة الهالوجين لا تزال مرتبطة بهالولكان أولى. ولأن المهاجمة من الجانب الخلفي فقط ممكنة، فإن المركب العضوي الناتج عن الاستبدال S_N2 سيُظهر بنية فراغية معكوسة مقارنة بالهالولكان الأصلي (الشكل 47-3).



الشكل 47-3 ميكانيكية S_N2 الاستبدال النيوكلوفيلي لهالولكان أولى.

يعتمد استمرار التفاعل عن طريق ميكانيكية تفاعل S_N1 أو S_N2 على عدة عوامل. تشمل بعض العوامل الأكثر شيوعاً نوع RX ، والمذيب، والمجموعة المغادرة، وطبيعة النيوكليوفيل. وبشكل عام، فإن هاليد الألكيل الثاني يخضع لميكانيكية S_N1 ، أمّا هاليد الألكيل الأولى فيخضع لميكانيكية S_N2 .

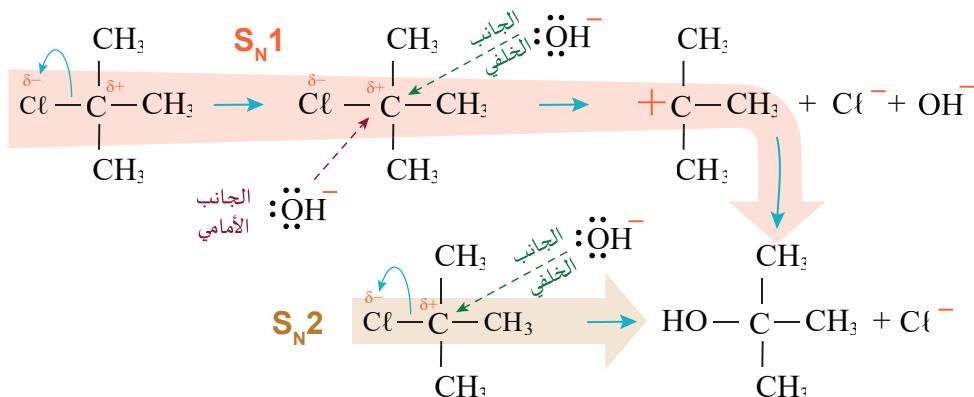
مثال 18



رسم جزيئين متطابقين للمركب 2-كلورو-2-ميثيل-بروبان (2-chloro-2-methylpropane). عَيِّن على الجزيء الأول المكان الذي يمكن أن يهاجم فيه أيون OH^- (الجانب الأمامي والجانب الخلفي) من خلال تفاعل استبدال S_N1 . وعَيِّن على الجزيء الثاني المكان الذي يمكن أن يهاجم فيه أيون OH^- من خلال ميكانيكية تفاعل الاستبدال S_N2 .

الحل

تحدث ميكانيكية الاستبدال S_N1 أولاً عن طريق تكوين كاربوكاتيون. وهذا يؤدي إلى المهاجمة من الجانب الأمامي والجانب الخلفي بوساطة أيون الهيدروكسيد.

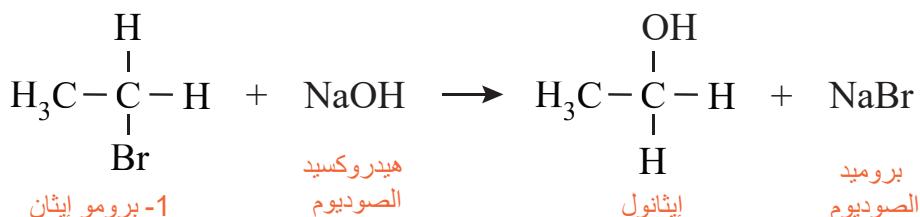


تحدث ميكانيكية الاستبدال S_N2 عن طريق مهاجمة أيون الهيدروكسيد من الجانب الخلفي فقط.

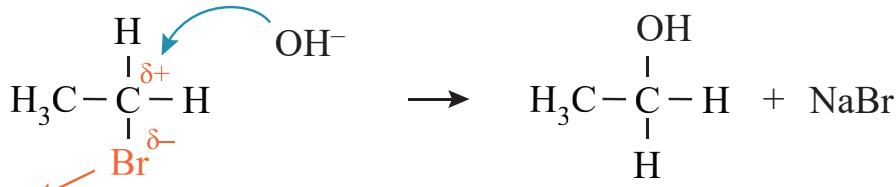
مثال 19

رسم ميكانيكية التفاعل أدناه، وحدد الإلكتروفيل والنيوكليوفيل. هل يحدث التفاعل بميكانيكية من نوع

S_N2 ، أم من نوع S_N1



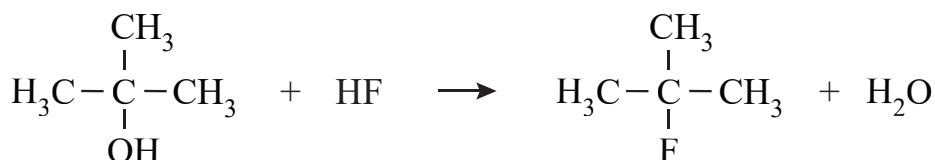
الحل



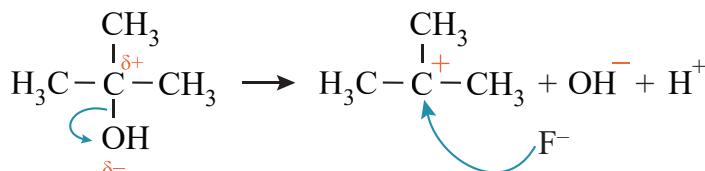
- النيوكليوفيل هو أيون الهيدروكسيل (OH^-) والذي هاجم ذرة الكربون المرتبطة بالبروم، وذرة الكربون هذه هي الإلكتروفيل.
- تشكل ذرة الكربون الإلكتروفيلية أيون كربون موجباً (كاربوكاتيون)، وتكون مجموعة البروميد هي المجموعة المغادرة.
- يتبع هذا التفاعل آلية حدوث من نوع S_N2 في هالوألكان الأولي.

مثال 20

حدّد نوع الميكانيكية للتفاعل أدناه. أيحدث بميكانيكية من نوع S_N1 ، أم S_N2 ? ثم حدد الإلكتروفيل والنيوكليوفيل.



الحل



- النيوكليوفيل هو أيون الفلور (F^-) والذي هاجم ذرة الكربون المرتبطة بالهيدروكسيل، وذرة الكربون هذه هي الإلكتروفيل.
- تشكل ذرة الكربون الإلكتروفيلية أيون كربون موجباً (كاربوكاتيون)، والتي تتم مهاجمتها من قبل أيون الفلوريد.
- يتبع هذا التفاعل ميكانيكية من نوع S_N1 في هاليد الألكان الثالثي.

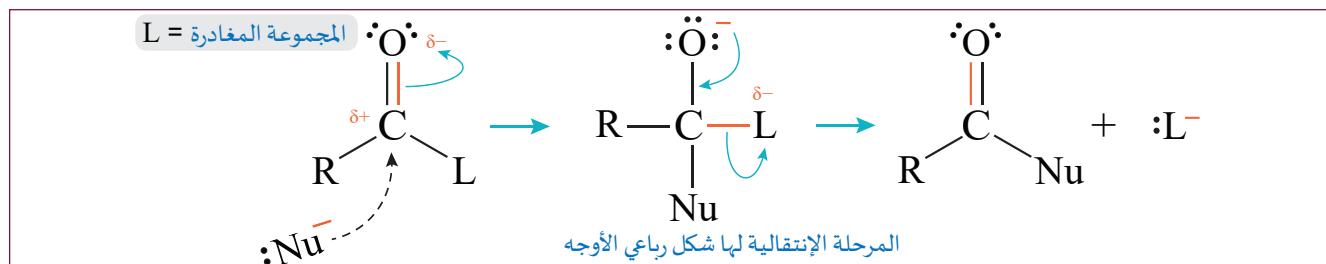
الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل

لماذا تُعدُّ مجموعة الكربونيل (-CO-) مجموعة قطبية؟

المجموعة المغادرة Leaving group هي إما ذرة أو أيون أو مجموعة كيميائية تنفصل عن جزيء وتتنزع معها زوجاً من الإلكترونات. وتُعدُّ المجموعات المغادرة طريقة مهمة لفهم تفاعلات الاستبدال النيوكليوفيلي.

- المجموعة المغادرة هي إما ذرة أو أيون أو مجموعة كيميائية تنفصل عن جزيء وتتنزع معها زوجاً من الإلكترونات.

يُبيّن (الشكل 3-48) الآلية العامة لهذا النوع من الاستبدال النيوكليوفيلي. لاحظ أن التركيب الجزيئي حول ذرة كربون مجموعة الكربونيل هو مثلث مسطّح (تهجين² sp²). ولكن، عندما يرتبط النيوكليوفيل بذرة كربون مجموعة كربونيل، فإنه ينبع مرحلة انتقالية لها شكل رباعي الأوجه (التهجين³ sp³). ولكن، عندما تنفصل المجموعة المغادرة، تعود ذرة كربون مجموعة الكربونيل إلى الشكل الهندسي الجزيئي المثلث المسطّح.

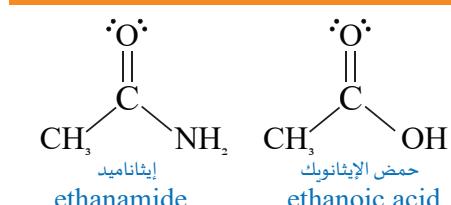


الشكل 3-48 ميكانيكية الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل.

يزداد النشاط الكيميائي لموقع مجموعة الكربونيل كلما ازدادت السالبية الكهربائية للمجموعة المغادرة. ويعود السبب في ذلك إلى قيام المجموعة المغادرة ذات السالبية الكهربائية العالية بسحب الكثافة الإلكترونية بعيداً عن ذرة كربون مجموعة الكربونيل مما يزيد من الشحنة الموجبة عليها فيسهل على النيوكليوفيل مهاجمتها (أكثر نشاطاً).

تصبح الأيونات السالبة ذات المجموعات المتميزة سالبية كهربائية عالية أكثر ثباتاً من خلال الاحتفاظ بالزوج الإلكتروني الحر عند المغادرة. والاستثناء لهذه القاعدة هو الفلور، الذي يشكّل روابط قوية مع ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل، ما يجعل كسر الرابطة صعباً.

مثال 21



أيّهما سيكون لديه نشاط كيميائي أكثر في تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي: جزء الإيثاناميد (ethanamide) أم حمض الإيثانويك (ethanoic acid). فسر إجابتك.

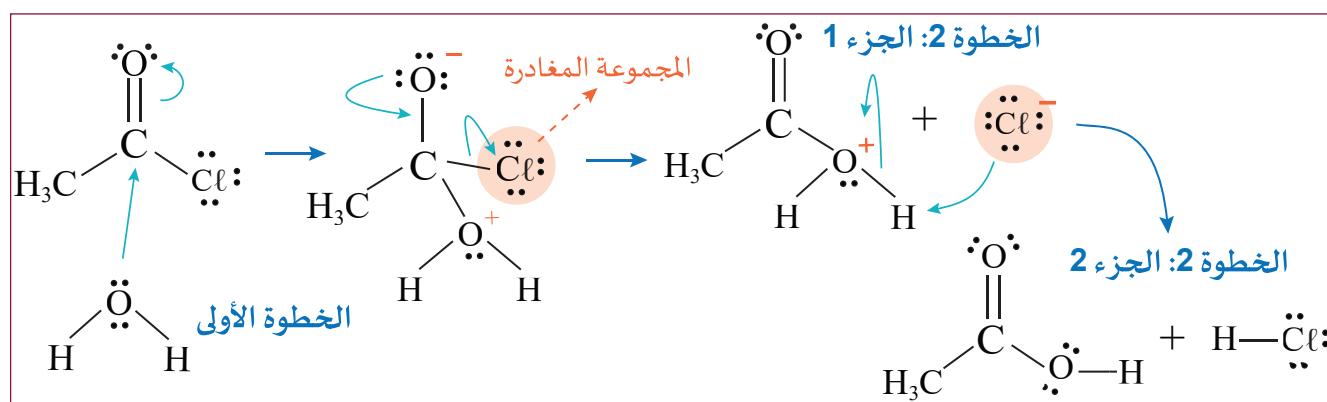
الحل

هناك ثلاث مجموعات مغادرة محتملة في المركيين، CH_3 — و NH_2 — و OH —. السالبية الكهربائية للأكسجين أكبر السالبية الكهربائية للكربون أو النيتروجين. ولذلك، فإنّ مجموعة OH — هي أفضل مجموعة مغادرة. ومن المتوقع أن يكون النشاط الكيميائي لحمض الإيثانويك خلال تفاعل استبدال نيوكليوفيلي أكبر من نشاط الإيثاناميد الكيميائي.

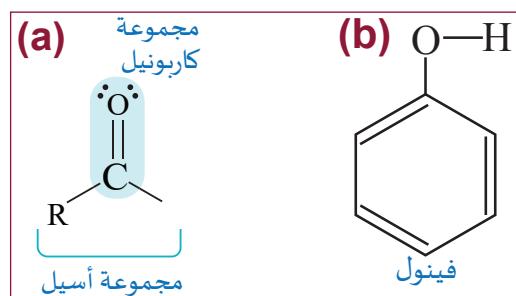
التحلّل المائي لكلوريد الأسيل

يحدث التحلل المائي (التفاعل مع الماء) لكلوريد الأسيل ($\text{R}-\text{COCl}$) على صورة تفاعل نيوكلوفيلي للماء عند ذرة كربون مجموعة الكربونيل في كلوريد الأسيل. تتكون ميكانيكية التفاعل من خطوتين، حيث يوضح (الشكل 3-49) التحلل المائي لكلوريد الإيثانول (ethanoyl chloride) مثلاً على ذلك.

- 1.** الخطوة الأولى هي إضافة الماء (النيوكليفيل) إلى كلوريد الأسيل لإنتاج حالة انتقالية مستقطبة.
 - 2.** الخطوة الثانية تحدث في جزئين: يتم التخلص أولاً من أيون الكلوريد من الحالة الانتقالية، ثم يجري التخلص من أيون الهيدروجين لإنتاج حمض الإيثانويك (ethanoic acid). يتّحد الأيونان المستبعدان ليشكلا كلوريد الهيدروجين.



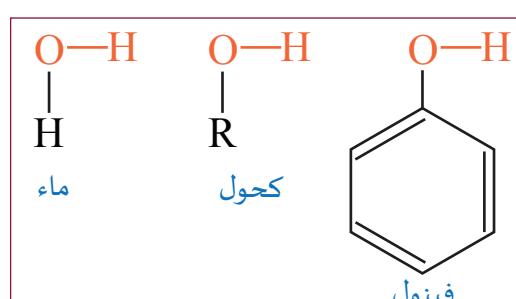
الشكل 3-49 ميكانيكية التحلل المائي لكلوريد الإيثانول.



الشكل 3-50(a) مجموعة أسيل (b) فينول.

الأسيلة Acylating هي عملية إدخال مجموعة أسيل (الشكل a50-3) إلى جزء آخر. وتُعدّ كلوريدات الأسيل عوامل مفيدة في عملية أسيلة الكحولات والفينولات (الشكل b50-3).

لاحظ مجموعة OH — المشتركة بين هذه الجزيئات والماء(الشكا، 51-3).



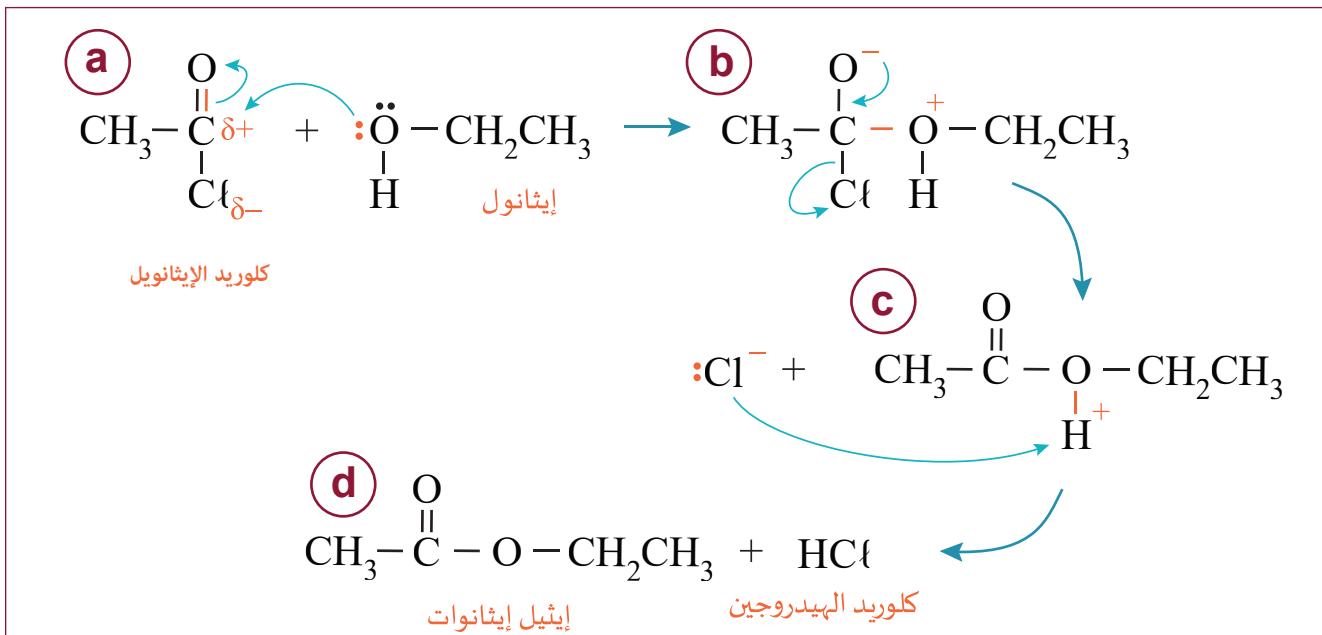
الشكل 3-51 مجموعة البيروكسيل ($\text{OH}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$)

المشتركة بين الماء والكحول، والفينولات.

تفاعل الكحولات والفينولات بسهولة مع كلوريدات الأسيل بميكانيكية مشابهة للتحلل المائي. هذا التفاعل فعال للغاية وغير انعكاسي. عند إضافة الكحولات أو الفينولات إلى مجموعة الأسيل تنتج الإسترات. وتُعدُّ الإسترات من المركبات المهمة كونها مركبات تستخدم لإنتاج المئات من المركبات الكيميائية الأخرى التي تدخل في صناعة المنكّبات والأدوية والبوليمرات.

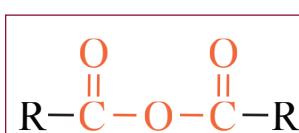
تفاعل الكحول مع كلوريد الأسيل أو أنيهيدريد الحمض

تفاعل كلوريدات الأسيل بقوة مع الكحولات في تفاعل طارد للحرارة لإنتاج غاز كلوريد الهيدروجين السام وإستر. وأفضل مثال على ذلك هو تفاعل كلوريد الإيثانول مع الإيثanol. نواتج هذا التفاعل هي إيثيل إيثانوات (استر) وحمض الهيدروكلوريك (الشكل 52-3).



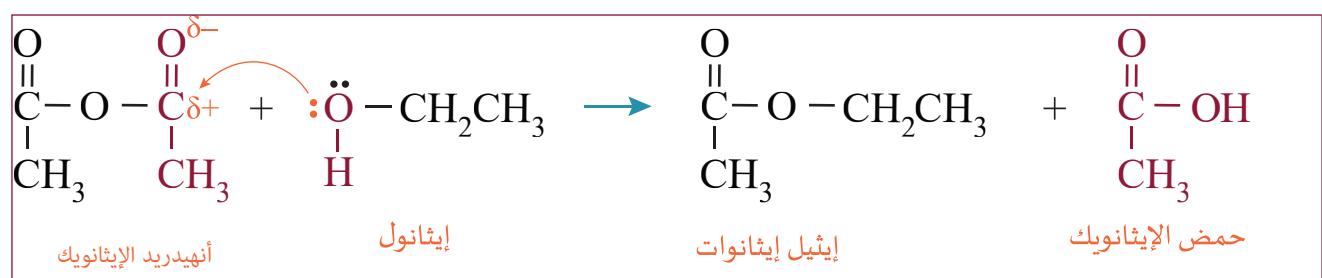
الشكل 52-3 مثال لتفاعل بين كلوريد الأسيل والكحول.

- a. يؤدي فصل الشحنات على الرابطة $\text{C}-\text{Cl}$ إلى هجوم نيوكلوفيلي من مجموعة OH في الكحول.
- b. تتكسر الرابطة الثنائية لتكوين حالة انتقالية تحمل فيها ذرات الأكسجين شحنات سالبة.
- c. أيون الكلوريد هو المجموعة المغادرة، ويتم إطلاقه.
- d. يتم تحرير أيون (Cl^-) للترابط مع (H^+) لتكوين كلوريد الهيدروجين.



الشكل 53-3 المجموعة الوظيفية

أنيهيدريد الحمض acid anhydride هو مركب يحتوي على مجموعة وظيفية من مجموعة أسيل مرتبطة بذرة الأكسجين نفسها (الشكل 53-3). يتفاعل أنيهيدريد الحمض مع الكحولات بميكانيكية تفاعل مشابهة للكلوريدات الأسيل. ويكون الناتج النهائي حمض كربوكسيلي إلى جانب الأستر. يوضح (الشكل 54-3) مثلاً على هذه العملية.



الشكل 54-3 تفاعل أنيهيدريد الحمض مع الكحول.



تفاعلات الإضافة الإلكتروفiliّة والاستبدال النيوكليوفيليّ

2-3

كيف يمكن وصف تفاعل الإضافة الإلكتروفiliّة وتفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي وتوقع حدوثهما؟ (العمل ضمن مجموعات ثنائية)

سؤال الاستقصاء

أوراق عمل لتفاعلات إضافة إلكتروفiliّة وتفاعلات استبدال نيوكلوفيلي.

المواد المطلوبة

خطوات العمل

الجزء ا: تفاعلات الإضافة الإلكتروفiliّة في الألكينات

المعلوم: يمكن أن يتفاعل الإيثين مع البروم في محلول كلوريد الصوديوم ليشكّل كلاً من 1-ثنائي بروم إيثان (1,2-dibromoethane) و 1-برومو-2-كلورو إيثان (1-bromo-2-chloroethane).

- رسم تفاعلات الإضافة الإلكتروفiliّة التي تفسّر تكون كلا الناتجين.
- رسم الميكانيكية وتوقع ناتج تفاعل كلوريد الهيدروجين مع الإيثين.

الجزء II: الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل

- رسم هيكل مجموعة الكربونيل وضع عليها رموز الاستقطاب (+δ) و (-δ).
- يجب مراعاة ثلاثة عوامل لتحديد نقاط القوة النسبية بين اثنين من النيوكليوفيلات: الحجم، السالبية الكهربائية، والاستقطاب.
- من الناحية المثالية، وعند تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل، ستكون المجموعة المغادرة مجموعة نيوكلوفييل أقوى من النيوكليوفييل المستبدل. يعيّن المعلم لكل مجموعة ثنائية زوجاً أو زوجين من النيوكليوفيلات من جدول قوة النيوكليوفيلات الموجود في أوراق العمل.
- باستخدام جدول قوة النيوكليوفيلات، حدد النيوكليوفييل الذي سيكون المجموعة المغادرة الأكثر مثالية، وما سيكون النيوكليوفييل المستبدل على مجموعة الإيثانويل.
- فيّسر سبب كون أحد النيوكليوفيلين أقوى من الآخر من حيث العوامل المبينة في الجزء b من هذا النشاط.
- رسم ميكانيكية توضح تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي الذي توقّعت. بين الناتج في الرسم.

أنشطة اختيارية

يعرض المعلم تفاعل كلوريد الإيثانويل في غرفة الأبخرة أو يعرض مقاطع فيديو لتفاعلات كلوريد الإيثانويل (ethanoyl chloride) مع المواد المتفاعلة الآتية:

- تفاعل كلوريد الإيثانويل والماء
- تفاعل كلوريد الإيثانويل والميثانول
- تفاعل كلوريد الإيثانويل مع محلول الأمونيا المركّز.
حلّ الملاحظات من حيث قوة النيوكليوفييل.

$C = C - C - C$ 1. أيٌ من ذرات الكربون تتضافر إلها ذرة الكلور في تفاعل إضافة
إلكتروفييلي حيث يُضاف HCl إلى 1-بيوتين (1-butene)?

C3 .c

C1 .a

C4 .d

C2 .b

2. أيٌ من الآتي يعبر بشكل صحيح عن الاستبدال النيوكليوفييلي لهالوألكان؟
- a. يمكن أن تحدث مهاجمة الجانب الخلفي فقط، ما يؤدي إلى الاحتفاظ بالشكل الفراغي الهندسي.
 - b. يمكن أن تحدث مهاجمة الجانب الأمامي فقط، ما يؤدي إلى عكس الشكل الفراغي الهندسي.
 - c. تؤدي مهاجمة الجانب الأمامي إلى الاحتفاظ بالشكل الفراغي الهندسي، وتؤدي مهاجمة الجانب الخلفي إلى عكس الشكل الفراغي الهندسي.
 - d. ينتج عن مهاجمة الجانب الخلفي الاحتفاظ بالشكل الفراغي الهندسي، وتؤدي مهاجمة الجانب الأمامي إلى عكس الشكل الفراغي الهندسي.

3. أيٌ من الأشكال الآتية ينتج عن الاستبدال النيوكليوفييلي لمجموعة الكربونيل؟

- a. كاربوكاتيون له شكل رباعي الأوجه على ذرة كربون الكربونيل
- b. كاربوكاتيون له شكل مثلث مسطح على ذرة كربون الكربونيل
- c. أنيون حالة انتقالية له شكل رباعي الأوجه على ذرة كربون الكربونيل
- d. أنيون حالة انتقالية له شكل مثلث مسطح على ذرة كربون الكربونيل

4. أين سيرتبط جزء الماء في تفاعل التحلل النيوكليوفييلي لـ كلوريد البروبانويل (peopanoyl chloride)؟

رسم الصيغة البنائية لجزء كلوريد البروبانويل، وعِّين على الرسم مكان ارتباط جزء الماء.

5. أين ستضاف ذرة البروم من بروميد الهيدروجين (HBr) على جزء الألكين ذي الرابطة الثنائية غير المتماثلة بين ذرتَي كربون وفقاً لقاعدة ماركوفنيكوف؟

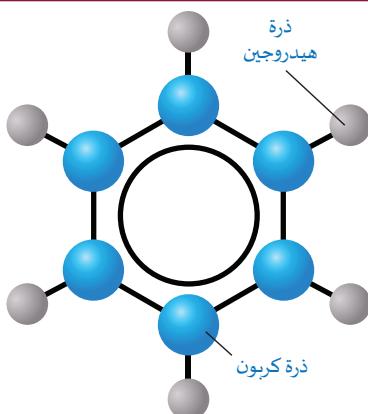
6. فسر تأثير السالبية الكهربائية للمجموعة المغادرة على النشاط الكيميائي لتفاعل الاستبدال النيوكليوفييلي لمركبات مجموعة الكربونيل؟

7. ما الذي يصف المجموعة المغادرة القوية على نحو أفضل: الكتروفيل قوي أو نيووكليوفييل قوي؟ فسر اجابتك.

الدرس 3-3

المركبات العضوية الأромاتية Aromatic Organic Compounds

يصف هذا الدرس مركبات عضوية مختارة تحتوي على حلقة البنزين، ويشرح تفاعلات هذه المركبات. الحلقة الموجودة في الداخل المبينة في (الشكل 3-55) تمثل ستة إلكترونات موجودة في ثلث روابط من نوع باي (π)، والتي تكون مشتركة بين ذرات الكربون الست جميعها المكونة لحلقة البنزين.



الشكل 3-55 البنزين.

المفردات



Arenes	الأرينات
Alkylarenes	ألكيل الأرينات
Benzylic position	الموقع البنزيوني
Benzylic hydrogen	الهيدروجين البنزيوني
Halogenoarenes	هاليدات الأريل (الأرينات الهالوجينية)
Phenol	الفينول
Phenyl	الفيينيل
Benzaldehyde	البنزالدهيد
Benzoic acid	حمض البنزويك
Benzoate	البنزوات

مخرجات التعلم

- C1204.1 يفسر ويستخدم طريقة تسمية، وكتابة الصيغ البنائية لفئات المركبات الأромاتية الآتية:
- الأرينات.
 - هاليدات الأريل (الأرينات الهالوجينية).
 - الفينولات.
 - الألدهيدات والكيتونات الأромاتية.
 - الأحماض الكربوكسيلية والأسترارات، وكلوريدات الأسيل الأромاتية.

C1204.2 يصف كيمياء الأرينات (على سبيل المثال البنزين، وميثيل البنزين)؛ كما يتضح من تفاعلات الاستبدال (الإحلال) بإلكتروفييلات مثل تفاعل نيترة وأكسدة السلسلة الجانبية.

C1204.3 يدرس ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفييلي في الأرينات، وتأثير عدم تمركز الإلكترونات في الأرينات في مثل هذه التفاعلات.

C1204.4 يصف كيمياء الفينول، كما يتضح من تفاعاته مع القواعد، وفلز الصوديوم وباستخدام تفاعلات الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفييلي في الحلقة الأромاتية (العطرية).

البنزين – استخداماته التاريخية، ومركيّاته، ومخاطره



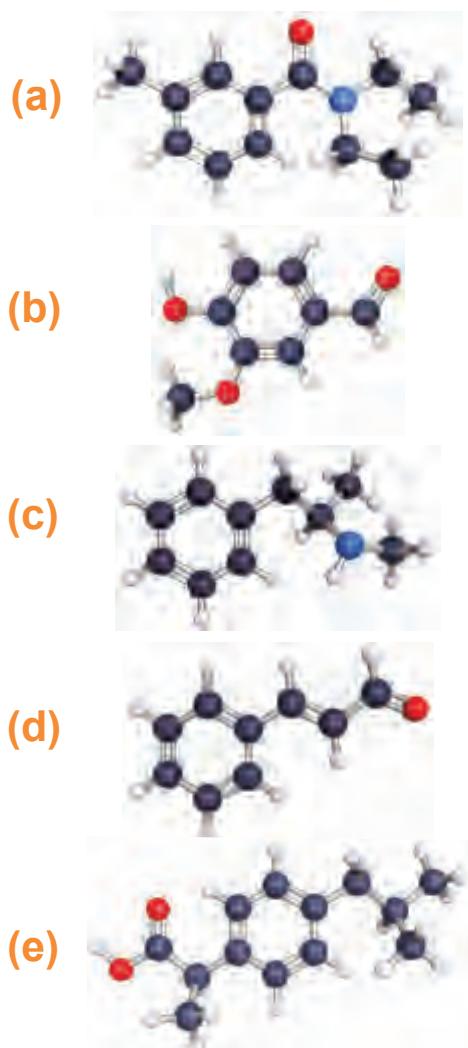
الشكل 3-56 الكثير من المحركات الموجودة في السيارات ذات الأداء العالي تتطلب وقوداً من الأوكتان ذي التصنيف العالي، مثل هذه السيارة من نوع شيفروليه كورفيت؛ والتي تم عرضها في 18 من شهر أكتوبر في العام 2018م في معرض السيارات الذي أقيم في مدينة الدوحة، قطر.

اكتُشف البنزين لأول مرة في العام 1825م من قبل العالم الإنجليزي المشهور مايكل فارادي. وقد أثبت في أواخر عشرينات القرن الماضي تسبّبه في مرض سرطان الدم. وقد كان للبنزين استخدامات كثيرة قبل أن يتم تحديد خصائصه المسببة للسرطان، والتي تتضمّن إعداد القهوة الخالية من الكافيين، والممواد المستخدمة بعد الحلاقة!

يُعدّ البنزين أحد مكوّنات الجازولين الصغيرة (بنزين السيارات)، والغاية من وجوده في الجازولين هي تعزيز تصنيف الأوكتان المستخدم في المحركات ذات الأداء العالي (الشكل 3-56). ويعمل البنزين الموجود في الجازولين على التقليل من عملية الفرقعة أو الطرق knocking، وهي عبارة عن تأثير غير مرغوب فيه لعملية الاحتراق. لهذا، تعمل الكثير من الدول على تحديد كمية البنزين التي يمكن إضافتها إلى الجازولين وتنظيمها.

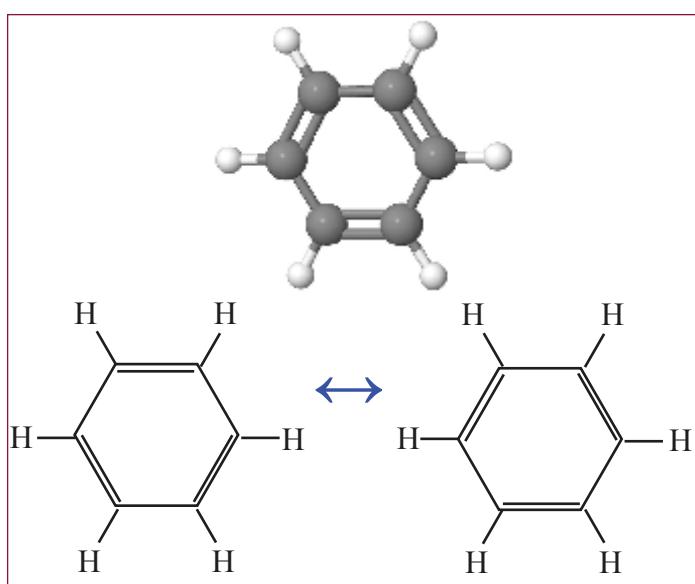
إنَّ الكثير من الجزيئات المفيدة، والأمنة والموجودة في الطبيعة تحتوي على حلقة البنزين كونها جزءاً من تراكيمها الجزيئية.

ابحث في أسماء المركيّبات الآتية، والتي تحتوي على حلقة البنزين، ثم صل هذه المركيّبات بتركيبتها (e – a) الموجود إلى اليسار.

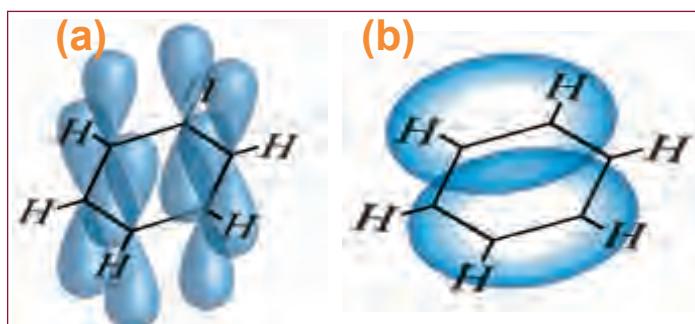


- **سينمالدهيد Cinnamaldehyde:** الجزيء الأساسي المسؤول عن رائحة القرفة ونكهتها.
- **“DEET”:** طارد حشرات البعوض.
- **الآيبوبروفين «Ibuprofen»:** دواء مضاد للالتهابات ومحفّف للألم.
- **الميثامفيتامين Methamphetamine:** منشط خطير للغاية للجهاز العصبي المركزي.
- **الفانيلين Vanillin:** الجزيء الأساسي المسؤول عن رائحة الفانيلا ونكهتها.

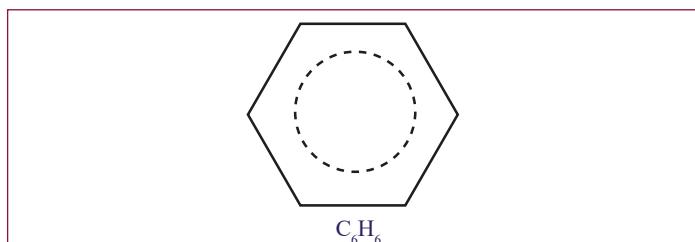
حلقة البنزين والأرينات



الشكل 3-57 تراكيب مكافئة للبنزين.



الشكل 3-58 (a) أفلالك من نوع «p»، و(b) الرنين للإلكترونات الروابط من نوع π للبنزين.



الشكل 3-59 الرمز الحديث للبنزين.

يمتلك البنزين (C_6H_6) شكلاً بنائياً في هيئة حلقة تتكون من 6 ذرات كربون مرتبطة بروابط ثنائية وأحادية بشكل متبادل، بحيث ترتبط ذرة هيدروجين واحدة بكل ذرة كربون، كما هو مبين في (الشكل 3-57).

يُظهر التحليل الذري للبنزين بأنَّ الروابط الموجودة بين ذرات الكربون جمِيعها متطابقة، ويتم تفسير هذا بمفهوم الرنين: الإلكترونات الستة الموجودة في الروابط الثلاث من نوع باي (π) غير متمركزة بين ذرات الكربون الستة الموجودة في الحلقة. أما في الواقع، فتشترك ذرات الكربون الست في هذه الإلكترونات الستة؛ وهذا يعني أنَّ التراكيب البنائية الموجودة في (الشكل 3-57) متكافئة.

يبين (الشكل 3-58) الأفلالك غير المهجنة من نوع (p) الموجودة في البنزين، وبين (الشكل 3-58) الرنين لـ الإلكترونات الروابط من نوع باي (π) والتي تكونت من الأفلالك غير المهجنة من نوع (p)، فالرنين يجعل حلقة البنزين ثابتة بشكل كبير.

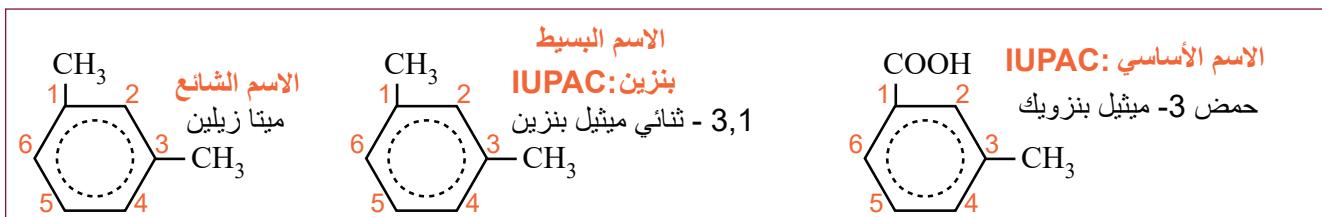
تعد حلقة البنزين مكوناً تركيبياً للكثير من الجزيئات العضوية، وقد أُعطيت رمزاً خاصاً، بحيث يتم تمثيل إلكترونات الرنين الستة التي تدور في هيئة دائرة ذات خطوط متقطعة (الشكل 3-59).

- الأرينات عبارة عن جزيئات عضوية تحتوي على حلقة بنزين، وتُعرف أيضاً بالمركبات الأروماتية.

تُسمى المركبات العضوية التي تحتوي على حلقة بنزين واحدة أو أكثر **الأرينات Arenes**. وهذه المركبات نفسها تُسمى أيضاً «المركبات الأروماتية». وتأتي كلمة «أروماتي» من الملاحظات التي تفيد بأنَّ الكثير من الأرينات لها رائحة قوية ونفاذة. بعض هذه الروائح تكون زكية وجذابة تشبه رائحة الفاكهة والأزهار، ويمتلك بعضها الآخر رائحة نفاذة مُنفرة، مثل: المواد المخففة للدهانات والجازولين التي تحتوي على مذيبات أروماتية.

تسمية الأرينات البسيطة (المركبات الأروماتية)

توصف التركيب البنائي للميدروكربونات الأروماتية الأبسط من خلال المجموعات الوظيفية التي تحل محل ذرات الهيدروجين الموجودة على حلقة البنزين الواحدة. فالأرينات التي تحتوي على مجموعات ألكيل وظيفية تُسمى **ألكيل الأرينات Alkylarenes**، أمّا الأرينات التي تحتوي على مجموعات هالوجين وظيفية فتُسمى **هاليدات الأريل (الأرينات الهايوجينية Halogenoarenes)**. بعض المركبات الأرينية لديها أسماء شائعة مثل زيلين (Xylene).



الشكل 3-60 إستراتيجيات التسمية للمركبات الأروماتية.

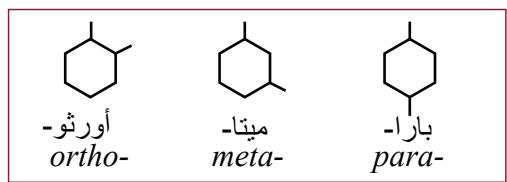
توحد استراتيجيات التسمية للمركبات الأروماتية (الشكل 3-60)، وكلتاها مستخدمنا بشكل واسع.

- تتم تسمية ألكيلات الأرينات، وهاليدات الأريل من خلال استراتيجية تسمية البنزين البسيط، وذلك باستخدام البادئات، وكلمة «بنزين».

- تتم تسمية الأحماض الكربوكسيلية والألدهيدات والإسترات والكيتونات وكلوريد الأسيل من خلال استراتيجية الاسم الأساسي، وذلك باستخدام اللاحقات مثل «ويك» كما في حمض البنزويك (benzoic acid).

- بعض الأسماء الشائعة قد تستخدم البادئات : ارثو وميتا وبارا للدلالة على موقع المجموعات الوظيفية على حلقة البنزين (الشكل 3-61).

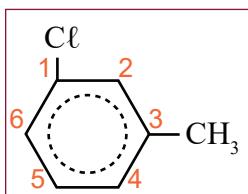
الشكل 3-61 بادئات الأسماء الشائعة للأرينات.



طريقة اسم البنزين البسيط

استخدم كلمة «بنزين» لإظهار التركيب البنائي الأساسي لحلقة، ثم اذكر أسماء المجموعات الوظيفية جميعها مستخدماً البادئات كما هو مبين في (الجدول 3-5) صفحة 19. فالمثال 1- كلورو-3-ميثيل بنزين (1-chloro-3-methylbenzene) الموجود في (الشكل 3-62) يتبع هذا المصطلح.

الخطوة 1: تحديد ذرة الكربون رقم 1: إن المجموعة الوظيفية التي تأتي أولاً والتي لديها الأولوية الأعلى تحدّد ذرة الكربون رقم 1 على حلقة البنزين. جدول الأولوية موجود بالتفصيل في الصفحة القادمة (الجدول 3-6)، «الكلورو chloro» له أولوية على «ميثيل methyl». لهذا، فإنّ مجموعة الكلور هي التي تحدّد ذرة الكربون رقم 1.



الشكل 3-62 مثال على طريقة اسم البنزين البسيط الشائعة للأرينات.

الخطوة 2: ترقيم ذرات الكربون: بعد ذلك، تتم عملية ترقيم حلقة البنزين بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقل.

الخطوة 3: أضف أسماء المجموعات الوظيفية: تتم تسمية المجموعات الوظيفية الإضافية وفق الترتيب الأبجدي، بحيث تسبق كلمة «بنزين»: وعلى سبيل المثال، تأتي كلمة «إيثيل» قبل كلمة «ميثيل». في المثال 1- كلورو-3-ميثيل بنزين، يُظهر المقطع «-3-ميثيل» أنّ هناك مجموعة ميثيل وظيفية واحدة تقع على ذرة الكربون رقم 3.

أولوية التسمية بحسب قواعد الأيوبال IUPAC

هناك الكثير من المركبات يرتبط فيها كثير من المجموعات الوظيفية بالحلقة نفسها. ولتجنب الإرباك في عملية التسمية، فقد حددت الأيوبال IUPAC قائمة بالأولويات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار في عملية التسمية. فالمجموعة الوظيفية التي لها الأولوية الأعلى وفقاً (لجدول 3-6) سوف:

a. تحديد خاتمة الاسم لجزيء.

b. تحديد ذرة الكربون التي ستحمل رقم 1 عند تسمية الحلقة.

الجدول 6-3 أولوية تسمية الأرينيات بحسب الأيوبال IUPAC

أولوية الاسم	النوع	المجموعة الوظيفية	الخاتمة	مثال
1	أحماض كربوكسيلية	-COOH	حمض "ويك."	حمض بنزويك Benzoic acid
2	إستر	-COO-R	"وات.."	بنزوات الميثيل methylbenzoate
3	كلوريدات الأسيل	-COCl	"ويل-.."	كلوريد البنزويل benzaoyl chloride
4	الأدھید	-CHO	"ال" - (بنزالدھید)	بنزالدھید benzaldehyde
5	كیتون	-CO-R	"ون"	فينيل إيثانون phenylethanone
6	فينول	-OH	"فينول"	فينول phenol

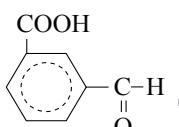
دائماً ما تتم تسمية المجموعات الوظيفية الآتية ببادئات:

برتيب أبجدي : بروموم-كلورو-فلورو-ایودو	-X	هاليدات	7
برتيب أبجدي : بيوتيل، إيثيل، ميثيل، بروبيل	-C _n H _{2n+1}	ألكيل	8
نيترو	-NO ₂	نيترو	9

مثال 22



ما اسم المركب الهيدروكربوني الأروماتي الذي إلى اليسار بحسب قواعد IUPAC .



الحل

توجد في هذا المركب مجموعتان وظيفيتان، هما الحمض الكربوكسيلي -COOH ، والأدھید -CHO . الأولوية الأعلى هنا هي لمجموعة -COOH ؛ وذلك لتحديد الخاتمة وذرة الكربون رقم 1. وتحمل مجموعة الأدھید البادئة "فورمیل" وترتبط بذرة الكربون رقم 3. لذا، يكون اسم هذا المركب: حمض 3-فورمیل البنزویك $(3\text{-Formylbenzoic acid})$.

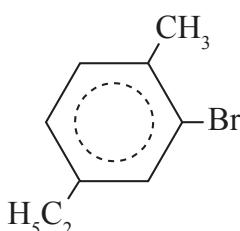
المجموعات الوظيفية الأحادية والمتعددة

عند كتابة أرقام المجموعات المستبدلة على حلقة البنزين، نجد أن الرقم (1) لا يكتب مع اسم المركب إلا عندما يكون هنالك اثنان أو أكثر من المجموعات الوظيفية نفسها: على سبيل المثال، تكون كتابة المقطع «1-كلورو» غير صحيحة، أمّا كتابة المقطع «2,1-ثنائي كلورو» فهي صحيحة.

تُستخدم البادئات «ثنائي»، و«ثلاثي»، و«رباعي» عندما يكون هنالك مجموعات وظيفية متعددة من النوع نفسه، بحيث يتم تدوين أرقام موقع هذه المجموعات باستخدام أرقام يفصل بينها بفواصل، وهذه الطريقة مشابهة لعملية تسمية الألkanات والهيدروكربونات الأليفاتية الأخرى بطريقة الأيوبارك.

تذَكَّرُ أنَّ عدد البادئات لا يتم حسابها ضمن الترتيب الأبجدي للاسم: على سبيل المثال، يوضع المقطع «رباعي إيثيل» قبل المقطع «ميثيل».

مثال 23



اذكر اسم المركب الهيدروكربوني الأروماتي الموجود إلى اليسار.

الحل

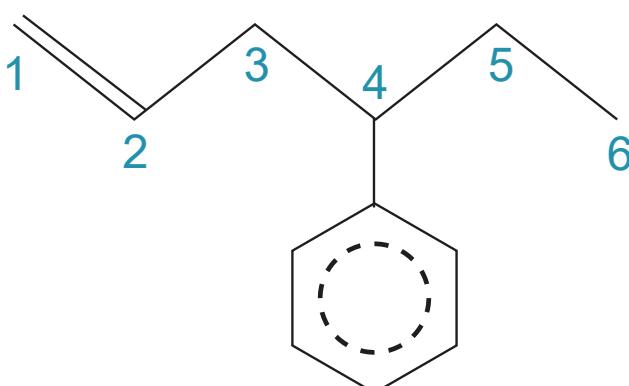
هنالك ثلاثة أنواع من المجموعات الوظيفية المرتبطة بحلقة البنزين، وهم: مجموعة ميثيل، ومجموعة إيثيل، ومجموعة البروم. يتم تعين ذرة البروم على الكربون رقم 1 في حلقة البنزين وذلك بحسب قواعد الأيوبارك للأولوية الأعلى. ثم تستمر عملية الترقيم باتجاه عكس حركة عقارب الساعة لإعطاء الرقم الأقل لمجموعة الميثيل الأقرب إلى مجموعة البروم. بعد ذلك، يتم تدوين مجموعة الإيثيل أولاً وفق الترتيب الأبجدي، فنحصل على اسم المركب، ويكون على النحو الآتي:

1-برومو-5-إيثيل-2-ميثيل بنزين (1-bromo-5-ethyl-2-methylbenzene).

مثال 24

ارسم التركيب البنائي للمركب 4- فينيل-1-هكسين (4-phenyl-1-hexene)

الحل



"هكسين" تعني أنَّ هناك 6 ذرات كربون في سلسلة تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتى الكربون رقم 1 ورقم 2.

"فينيل" تعني أنَّ هناك حلقة بنزين على الكربون رقم 4 من سلسلة الهكسين. ذرة الكربون رقم 1 من حلقة البنزين هي التي ترتبط بالكربون رقم 4 من سلسلة الهكسين.

مثال 25



رسم التركيب البنائي للمركب 1-ثنائي كلورو-2-ميثيل بنزين (1,4-dichloro-2-methylbenzene).

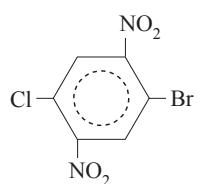
الحل

- مجموعة الكلور لها الأولوية الأعلى من مجموعة الميثيل بحسب قواعد الأيوبياك IUPAC. لذا، تكون مرتبطة بذرة الكربون رقم 1.
- يمكن ترقيم الحلقة باتجاه عقارب الساعة لتقع المجموعتين الأخريتين على ذرتي الكربون رقم 2 ورقم 4.
- وبذلك تأخذ مجموعة الميثيل رقم 2 وذرة الكلور الأخرى تأخذ رقم 4.

مثال 26



ما اسم المركب الذي إلى اليسار بحسب قواعد الأيوبياك IUPAC؟



الحل

- ذرة البروم لها الأولوية الأعلى في الترقيم بحسب قواعد الأيوبياك IUPAC. لذا، فإن ذرة البروم تكون مرتبطة بذرة الكربون رقم 1.
- يتم ترقيم الحلقة باتجاه عقارب الساعة لتعطي أقل رقم لأقرب مجموعة وظيفية.
- مجموعة الكلور تكون مرتبطة بذرة الكربون رقم 4، تلها مجموعة النيترو اللتان ترتبطان بذرتي الكربون رقم 2، ورقم 5.
- يكون اسم هذا المركب هو: 1-برومو-4-كلورو-2,5-ثنائي نيترو بنزين (1-bromo-4-chloro-2,5-dinitro benzene).

مثال 27

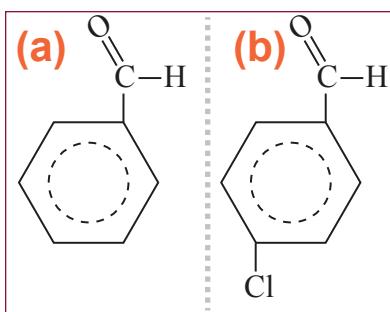


رسم التركيب البنائي لـ 2-إيثيل-5-ميثيل فينول (2-ethyl-5-methylphenol).

الحل

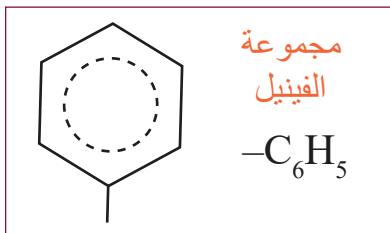
- الاسم "فينول" يخبرنا بأن هناك مجموعة هيدروكسيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 1 على حلقة البنزين.
- يمكن ترقيم الحلقة باتجاه حركة عقارب الساعة أو بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة.
- "ـ2-إيثيل" تعني أن مجموعة الإيثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 2.
- "ـ5-ميثيل" تعني أن مجموعة الميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 5.

تسمية وتركيب الألدهيدات الأروماتية



الشكل 3-63 بنزالديهيد،
و-4-كلورو فينيل المياثانال

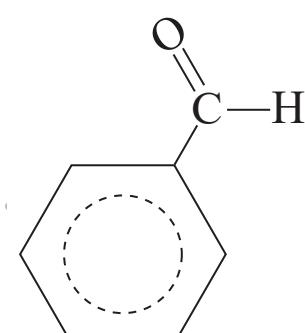
أبسط الألدهيدات الأروماتية هي التي لها مجموعة الألدهيد وظيفية (مجموعة الفورميك CHO-) مربطة بالحلقة. هذا المركب يُسمى **بنزالديهيد** (الشكل 3-63)، حيث تضيف المجموعات الوظيفية الأخرى بادئات لاسم. على سبيل المثال 4-كلورو بنزالديهيد له مجموعة كلور واحدة مربطة بذرة الكربون رقم 4 الموجودة في حلقة البنزين، أما ذرة الكربون رقم 1 فقد حددت بأنها ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الألدهيد (الشكل 3-63).



الشكل 3-64 مجموعة الفينيل.
و-4-كلورو فينيل مياثانال

يتيح نظام الأيونات IUPAC في التسمية معاملة حلقة البنزين، وهي في ذلك مثل أية مجموعة وظيفية أخرى، بحيث تصبح صيغتها الكيميائية (C₆H₅-)، وأعطيت الاسم فينيل Phenyl (الشكل 3-64). ينتهي اسم الألدهيد بالخاتمة "ال" مثل المياثانال، يتم دائمًا تحديد ذرة الكربون الموجودة في مجموعة الكربونيل للألدهيد بأنها ذرة الكربون رقم 1، وباستخدام اسم مجموعة الفينيل، يكون اسم المركب المبين في (الشكل 3-63) هو 4-كلورو فينيل مياثانال (4-chlorophenylmethanal).

مثال 28



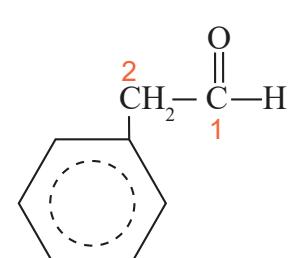
اذكر اسم الألدهيد الأروماتي الذي إلى اليسار باستخدام الbadine "فينيل، والذى يُعد أبسط الألدهيدات الأروماتية.

الحل

- الألدهيد الذي يتكون من ذرة كربون واحدة هو المياثانال.
- المجموعة الوظيفية الوحيدة هي مجموعة الفينيل.
- اسم المركب حسب نظام الأيونات IUPAC هو: **فينيل مياثانال** (phenylmethanal).

مثال 29

رسم التركيب البنائي للمركب فينيل إيثانال (phenyl-ethanal).



الحل

- الإيثانال هو ألدهيد يتكون من ذرتين كربون، بحيث ترتبط ذرة الكربون رقم 1 بمجموعة الألدهيد، أما مجموعة الفينيل فترتبط بذرة الكربون رقم 2.

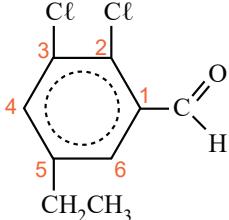
مثال 30



رسم التركيب البنائي للمركب 3,2-ثنائي كلورو-5-إيثيل بنزالدهيد (2,3-dichloro-5-ethylbenzaldehyde).

الحل

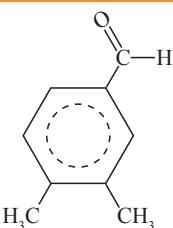
- يُظهر الاسم بنزالدهيد أن حلقة البنزين مرتبطة بمجموعة الألدهيد، بحيث يتم تعيين ذرة الكربون المرتبطة في مجموعة الكربونيل للألدهيد على أنها ذرة الكربون رقم 1.
- من هذا الموقع، رقم الحلقة بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة، لكي تأخذ المجموعة الأقرب المرتبطة بحلقة البنزين الرقم الأقل.
- تضع مجموعة كلورو على ذرة الكربون رقم 2، ومجموعة الكلورو الأخرى على ذرة الكربون رقم 3.
- ضع مجموعة الإيثيل على ذرة الكربون رقم 5.



مثال 31



اذكر اسم المركب الموجود إلى اليسار.



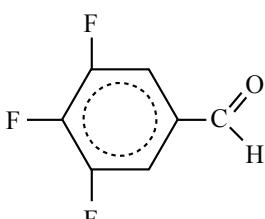
الحل

- سوف نستخدم اسم المجموعة الوظيفية فينيل، رغم أن المقطع بنزالدهيد واضح جدًا في هذا التركيب. اسم الألدهيد هنا هو المياثانال.
- عَيِّن ذرة الكربون التي تحمل رقم 1 على حلقة البنزين على أنها تلك الذرة المرتبطة بمجموعة الكربونيل للألدهيد، ثم رقم حلقة البنزين باتجاه حركة عقارب الساعة، وذلك لتعيين الأرقام الأقل لمجموعتي المياثيل المرتبطة بحلقة البنزين.
- توجد مجموعتا المياثيل على ذرتى الكربون اللتين تحملان الرقمين 3 و 4.
- عندما، يكون اسم المركب على النحو الآتى: (4,3-ثنائي مياثيل) فينيل مياثانال
(3,4-dimethyl)phenylmethanal

مثال 32



اذكر اسم المركب الموجود إلى اليسار.

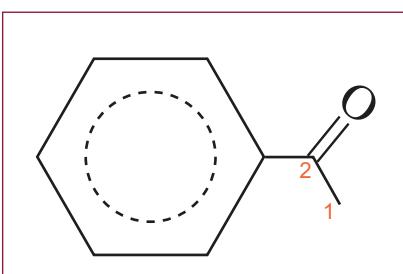


الحل

- لاحظ أن المقطع بنزالدهيد يُعد جزءاً من هذا الجزيء.
- عَيِّن ذرة الكربون التي تحمل رقم 1 على حلقة البنزين على أنها تلك الذرة المرتبطة بمجموعة الكربونيل للألدهيد.
- إذا كانت موقع ذرات الفلور الثلاث متماثلة على حلقة البنزين، فرقم حلقة البنزين بالاتجاه الذي تريده.
- عندما، يكون اسم المركب بحسب الأيوبارك هو: 5,4,3-ثلاثي فلورو بنزالدهيد
(3,4,5 -trifluorobenzaldehyde)

تسمية وتركيب الكيتونات الأروماتية البسيطة

الكيتونات الأروماتية مركبات تحتوي مجموعة كربونيل ($-C=O$) تتصل بحلقة بنزين مباشرة. تُسمى هذه المركبات باستخدام البادئة فينيل، وبطريقة مشابهة للألدهيدات الأروماتية.



الشكل 3-65 التركيب البنائي لفينيل إيثانون.

إن أبسط الكيتونات الأروماتية هو الذي يحتوي على مجموعة ميثيل توجد على إحدى جهات المجموعة الكربونيل ($-C=O$)، ومجموعة فينيل على الجهة الأخرى لها: المجموعة COCH_3 تُسمى إيثانون Ethanone، فيكون اسم المركب فينيل إيثانون (phenylethanone) (الشكل 3-65).

قواعد التسمية

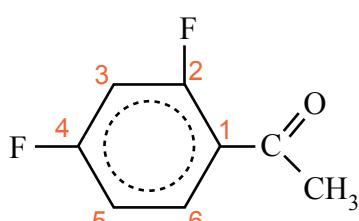
- ذرة الكربون رقم 1 في حلقة البنزين هي تلك الذرة المرتبطة بمجموعة الكربونيل للكيتون.
- يتم ترقيم حلقة البنزين بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقل.
- بعد ذلك، يتم إدراج المجموعات الوظيفية وفقاً لجدول الأولوية بحسب قواعد الأيونات IUPAC.
- تُستخدم البادئات «ثنائي»، و«ثلاثي»، و«رباعي» عند وجود مجموعات وظيفية متعددة من النوع نفسه.

مثال 33

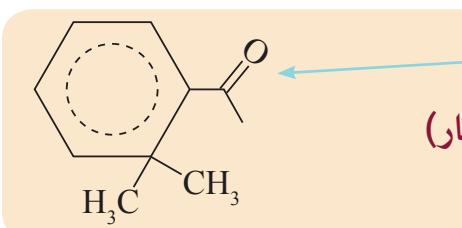


رسم التركيب البنائي للمركب (2,4-difluoro)phenylethanone (2,4-ثنائي فلورو)فينيل إيثانون.

الحل



- تكون ذرة الكربون في حلقة البنزين التي تحمل رقم 1 هي الذرة المرتبطة بمجموعة الكربونيل للكيتون.
- ثم يتم ترقيم الحلقة بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة.
- المقطع «2,4-ثنائي فلورو» يعني وجود ذرتين فلور على ذرتين الكربون اللتين تحملان الرقمان 2 و 4.

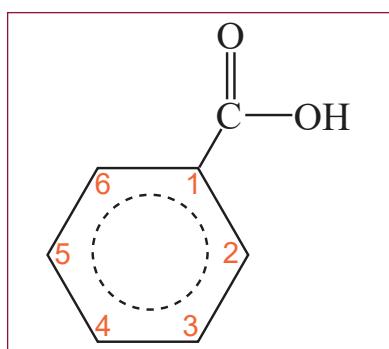


لماذا يُعد المركب (2,2-ثنائي ميثيل) فينيل إيثانون (2,2-dimethyl phenyl ethanone) (المعروف إلى اليسار)

مركباً غير محتمل؟



تسمية وتركيب الأحماض الكربوكسيلية البسيطة



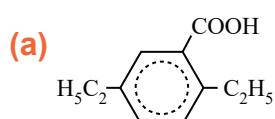
الشكل 3-66 حمض البنزويك.

تحتوي أبسط الأحماض الكربوكسيلية الأروماتية على مجموعة كربوكسيل (-COOH) مرتبطة بحلقة البنزين كما هو مبين في (الشكل 3-64).

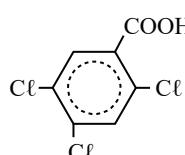
تحدد قواعد IUPAC للتسمية المقطع «ويك» للأحماض الكربوكسيلية، بحيث يصبح اسم المركب حمض البنزويك Benzoic acid. ولتسمية المجموعات الوظيفية، يتم تعيين ذرة الكربون لحلقة البنزين المرتبطة بذرة كربون مجموعة الكربوكسيلي على أنها تحمل رقم 1 (الشكل 3-66).

أما عندما تكون مجموعة الكربوكسيلي مرتبطة بسلسلة، والتي بدورها تكون مرتبطة بحلقة البنزين، فإن طريقة التسمية تكون عند ذلك مشابهة بشكل كبير للألدهيدات الأروماتية، بحيث يتم تعيين ذرة كربون مجموعة الكربوكسيلي على أنها تحمل رقم 1 في السلسلة، ويتم عندها تحديد حلقة البنزين على أنها مجموعة فينيل، ويتم تحديد موقعها على السلسلة.

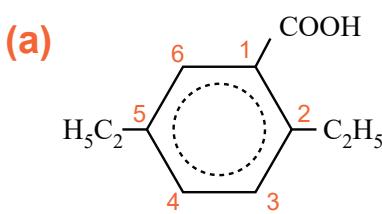
مثال 34



اذكر اسم الحمضين الكربوكسيليدين الأروماتيين الآتيين (a,b):

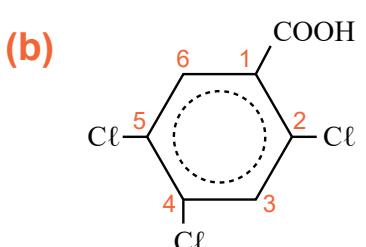


الحل



(a) يتم ترقيم حلقة البنزين باتجاه حركة عقارب الساعة ابتداءً من ذرة الكربون المرتبطة بذرة كربون مجموعة الكربوكسيلي، بحيث تُعطى رقم 1. ثم يُعطى رقم 2 لذرة الكربون المرتبطة بأقرب مجموعة وظيفية. هناك مجموعة إيثيل على ذرتين الكربون تحملان الرقمين 2 و 5، عندها، يكون اسم الجزيء:

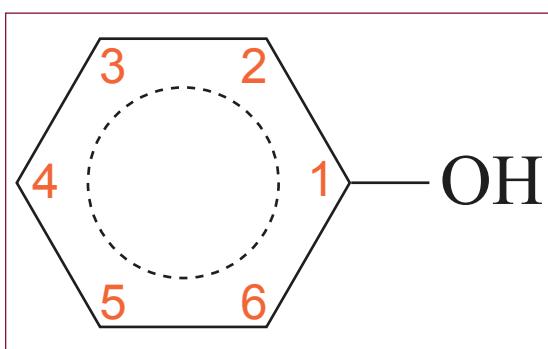
حمض 2,5-ثنائي إيثيل بنزويك، (2,5-diethyl)benzoic acid



(b) يتم ترقيم حلقة البنزين بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة ابتداءً من ذرة الكربون المرتبطة بذرة كربون مجموعة الكربوكسيلي، بحيث تُعطى رقم 1. ثم يُعطى رقم 2 لذرة الكربون المرتبطة بأقرب مجموعة وظيفية، بحيث تأخذ المجموعات الوظيفية الأخرى الأرقام الأقل. هناك ثلاثمجموعات كلور على ذرات الكربون تحمل الأرقام 2 و 4 و 5، عندها، يكون اسم الجزيء:

حمض 2,4,5-ثلاثي كلورو بنزويك، 2,4,5-trichlorobenzoic acid

تسمية وتركيب الفينولات



الشكل 36-3 مركب الفينول.

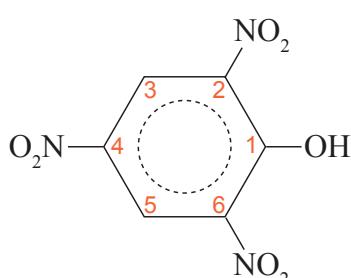
الفينول Phenol هو الاسم المعطى لحلقة البنزين التي ترتبط بها مجموعة هيدروكسيل وظيفية (-OH) (الشكل 36-3). بحيث تُعطى ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل رقم 1 أما إذا وجدتمجموعات وظيفية أخرى فتتبع عندئذ التسمية الأولوية في قواعد أيوباك IUPAC المدرجة في الجدول صفة 45.

مثال 35



رسم التركيب البنائي للمركب 2,4,6-trinitrophenol. 6,4,2-ثلاثي نيترو فينول.

الحل

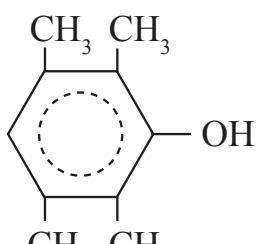


- يمكن ترقيم ذرات الكربون الست الموجودة في الحلقة بأي اتجاه بشرط تعين موقع الذرة رقم 1 التي ترتبط بها مجموعة الهيدروكسيل.
- من ذلك الموقع، يمكن ترقيم ذرات الكربون التي في الحلقة باتجاه حركة عقارب الساعة أو عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.
- ثم توضع مجموعة الهيدروكسيل لمركب الفينول على ذرة الكربون التي تحمل رقم 1.
- بعد ذلك، توضعمجموعات النيترو (NO₂) الثلاث على ذرات الكربون التي تحمل الأرقام 2 و 4 و 6 على حلقة البنزين.

مثال 36

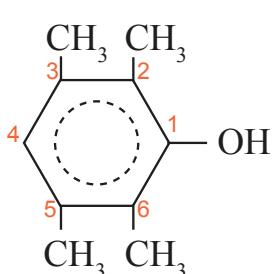


اذكر اسم المركب إلى اليسار



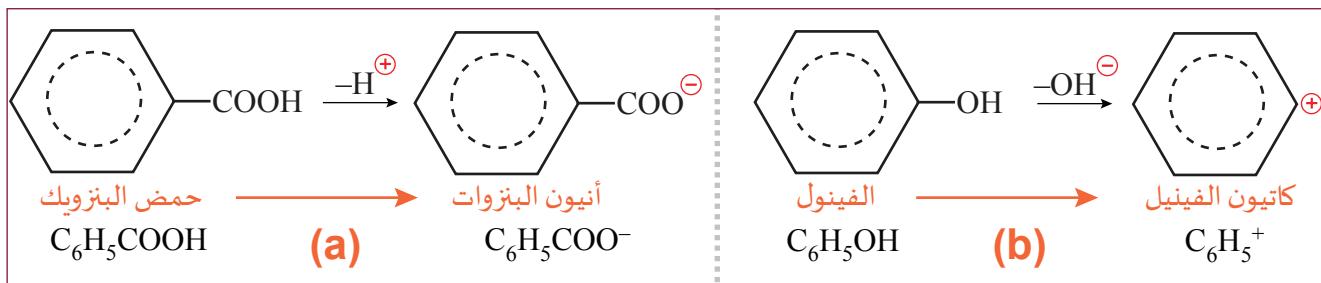
الحل

- تَّصل ذرة الكربون رقم 1 بمجموعة الهيدروكسيل .
- يمكن أن ترقم حلقة البنزين مع إتجاه حركة عقارب الساعة او عكسها.
- هناك أربعمجموعات "ميثيل" على ذرات الكربون في حلقة البنزين على الأرقام 2 و 3 و 5 و 6
- وبذلك يكون اسم هذا المركب: 6,5,3,2- رباعي ميثيل فينول (2,3,5,6-tetramethylphenol)



تسمية وتركيب الإسترات الأромاتية البسيطة

الإسترات عبارة عن مركبات مشتقة من عملية إزالة الماء من الحمض الكربوكسيلي والكحول، بحيث يمكن للجزء الأروماتي للإستر أن يأتي من الحمض الكربوكسيلي أو الفينول (الكحول). عندما يخضع حمض البنزويك لعملية الأسترة، فإنّ الأيون الذي يسهم في تكوين اسم الإستر يُسمى أنيون **بنزوات** (الشكل 3-68a)، أما عندما يخضع الفينول لعملية الأسترة، فإنه يُسهم في تكوين كاتيون الفينيل (الشكل 3-68b).



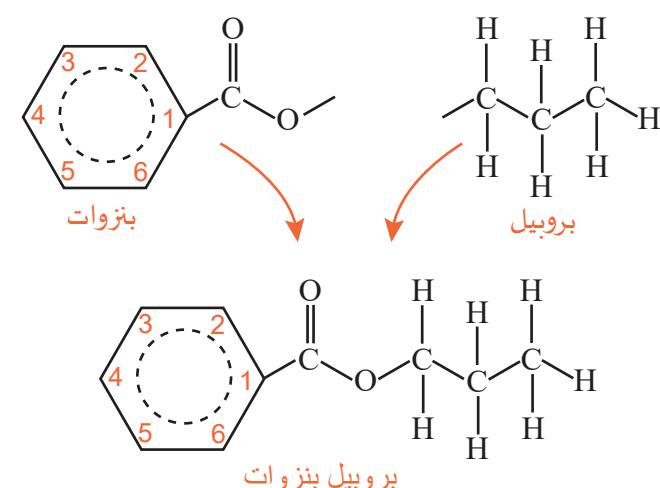
الشكل 3-68 تكوين (a) أنيون البنزوات، و (b) كاتيون الفينيل.

قواعد التسمية

- يبدأ اسم المركب باسم الكحول المكون منه الأستر على أن يحوّل اسم الكحول إلى اسم الألكيل المقابل.
- ذرة الكربون رقم 1 لحلقة البنزين هي تلك الذرة المرتبطة بمجموعة COO^- .
- يتّبع ترتيب حلقة البنزين بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقل.
- ثم يتمّ إدراج المجموعات الوظيفية وفقاً لجدول الأولوية لقواعد الأيونات IUPAC.
- تُستخدم البادئات «ثنائي»، و«ثلاثي»، و«رباعي» عند وجود مجموعات وظيفية متعددة من النوع نفسه.
- ثم يأخذ المركب اسم «بنزوات».

مثال 37

رسم التركيب البنائي للمركب بروبيل بنزوات (propylbenzoate).



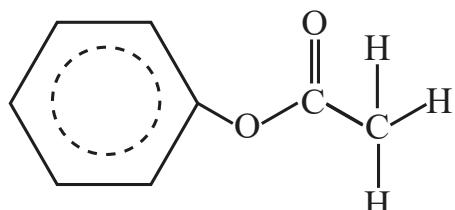
الحل

- تأتي مجموعة البروبيل من الكحول (1-بروبانول).
- بنزوات تأتي من حمض البنزويك.
- ترتبط مجموعة البروبيل بذرة الأكسجين المنفردة المرتبطة والموجودة في البنزوات.

قواعد تسمية الأُسْتَرَات الْأَرْوَمَاتِيَّة المُشَتَّقَة من الفينول

- يبدأ اسم المركب باسم المجموعة «فينيل».
- ذرة الكربون رقم 1 لحلقة الفينيل هي تلك الذرة المرتبطة بذرة أكسجين مجموعة COO .
- يتّبع ترتيب حلقة الفينيل بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقل.
- ثم يتم إدراج المجموعات الوظيفية الأخرى وفقاً لجدول الأولوية التابع لقواعد الأيونات IUPAC.
- تُستخدم البادئات «ثنائي»، و«ثلاثي»، و«رابع» عند وجود مجموعات وظيفية متعددة من النوع نفسه.
- بعد ذلك ينتهي اسم المركب باسم الأستر مثل إيثانوات.

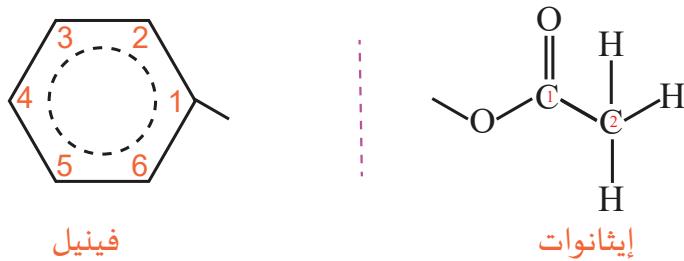
مثال 38



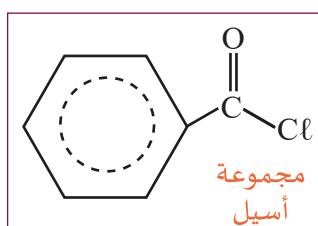
اذكر اسم الأستر الأروماتي الموجود إلى اليسار باستخدام مجموعة الفينيل.

الحل

- لتسمية المركب، نحتاج إلى تحديد اسم الأستر. وللقيام بهذا، نفصل مجموعة الفينيل.
 - نحدّد في البداية اسم الأستر؛ ولوجود ذريّ كربون، فإنّ اسمه يكون «إيث»، ثم تتم إضافة مقطع «وات»، بحيث يصبح اسمه إيثانوات.
 - ولتسمية مجموعة الفينيل، نعيّن ذرة الكربون التي تحمل رقم 1، وهي الذرة التي يرتبط عنها الأستر.
 - عندما يكون اسم الأستر بحسب الأيونات:
- فينيل إيثانوات (phenyl ethanoate)



تسمية وتركيب كلوريدات الأسيل البسيطة



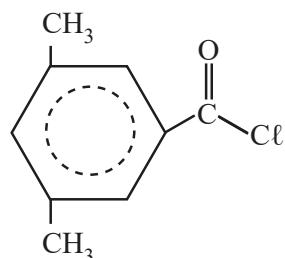
الشكل 39-69 كلوريد البنزويل.

تتضمن كلوريدات الأسيل الأروماتية البسيطة مجموعة أسييل واحدة مرتبطة بحلقة بنزين (الشكل 39-69)، وقد تم تحديد المقطع «ويل» الذي يُضاف إلى نهاية اسم المركب الهيدروكربوني من قبل IUPAC.

قواعد تسمية كلوريدات الأسيل البسيطة

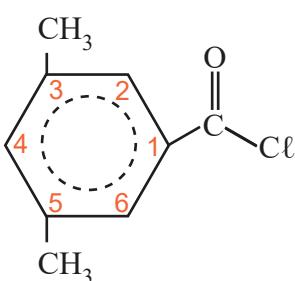
- ذرة الكربون رقم 1 لحلقة البنزين هي تلك الذرة المرتبطة بمجموعة الأسييل.
- يتم ترقيم حلقة البنزين بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقل.
- ثم يتم إدراج المجموعات الوظيفية الأخرى وفقاً لجدول الأولوية التابعة لقواعد الأيونات IUPAC.
- تُستخدم البادئات «ثنائي»، و«ثلاثي»، و«رباعي» عند وجود مجموعات وظيفية متعددة من النوع نفسه.
- ينتهي اسم المركب بكلوريد البنزويل.

مثال 39



اذكر اسم المركب الأروماتي الموجود إلى اليسار.

الحل



- خبرنا مجموعة الأسييل بأنّ اسم المركب ينتهي بـ «كلوريد البنزويل».
- رقم حلقة البنزين ابتداء من ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الأسييل، بحيث تحمل رقم 1، مع آنّ الرقم 1 غير ضروري هنا.
- توجد مجموعتا الميثيل على ذرّي الكربون اللتين تحملان الرقمان 3 و 5.
- يكون اسم هذا المركب بحسب الأيونات هو:
(3,5-dimethylbenzaoyl chloride)

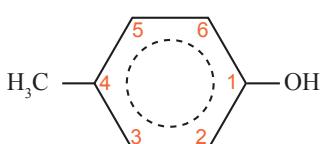
مثال 40



اذكر اسم المركب الموجود إلى اليسار بوصفه أحد مشتقات الفينول.

الحل

- يتم في البداية تعيين مجموعة الهيدروكسيل على أنها ترتبط بذرة الكربون التي تحمل رقم 1.

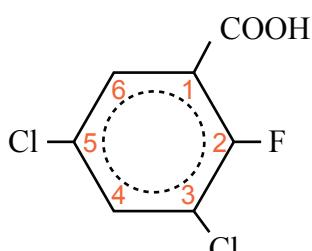


- نرقم حلقة البنزين باتجاه حركة عقارب الساعة أو عكس اتجاه حركة عقارب الساعة لنعرف أن مجموعة الميثيل ترتبط بذرة الكربون التي تحمل رقم 4.
- عندما يكون اسم المركب: 4-ميثيل فينول (4-methylphenol)

مثال 41

رسم التركيب البنائي للمركب حمض 5,3-ثنائي كلورو-2-فلورو بنزويك

(3,5-dichloro-2-fluoro benzoic acid)



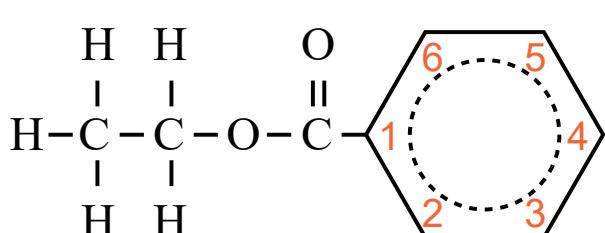
الحل

- يخبرنا المقطع «بنزويك» بوجود مجموعة COOH مرتقطة بذرة الكربون التي تحمل رقم 1 في حلقة بنزين.
- رقم الحلقة باتجاه حركة عقارب الساعة لتحديد موقع المجموعات الوظيفية المرتبطة بها.
- يخبرنا المقطع «5,3-ثنائي كلورو» بوجود مجموعة كلور مرتبطة بذراتي الكربون اللتين تحملان الرقمين 3 و 5.
- يخبرنا المقطع «2-فلورو» بوجود مجموعة فلور مرتبطة بذرة الكربون التي تحمل رقم 2 على حلقة البنزين.

مثال 42

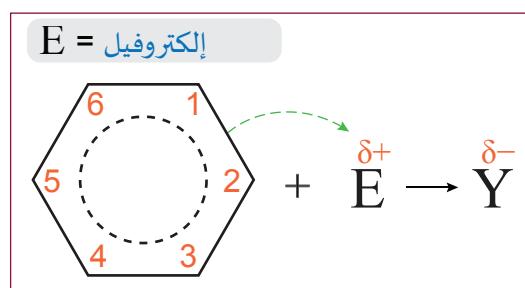
رسم التركيب البنائي للمركب إيثيل بنزوات (Ethyl benzoate)

الحل



- يخبرنا المقطع «إيثيل بنزوات» بوجود إستر مشتق من إيثanol وحمض البنزويك.
- تقع مجموعة الإستر على ذرة الكربون التي تحمل رقم 1 في حلقة البنزين.
- أضاف مجموعة إيثanol بدون مجموعة الهيدروكسيد إلى مجموعة البنزوات.

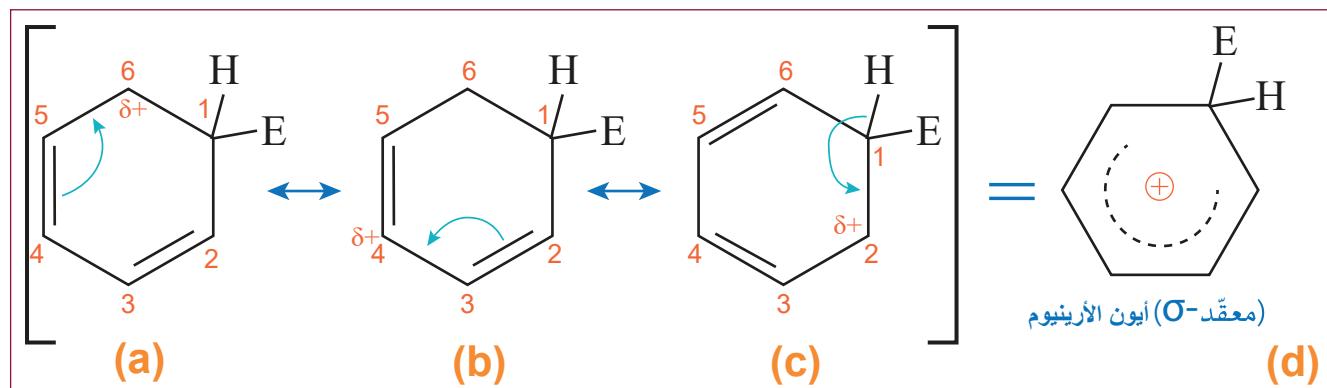
ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الأرينات



الشكل 3-70 «الهجوم» الإلكتروني على حلقة التزبين.

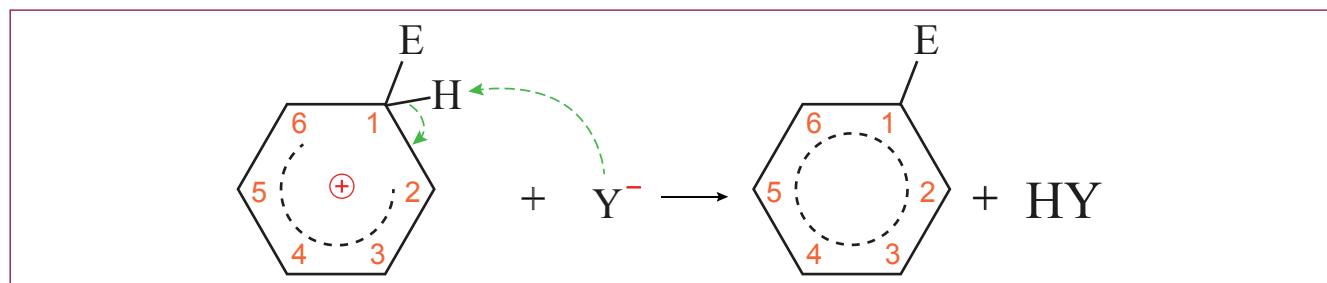
يبين (الشكل 3-70) عملية «الهجوم» الإلكتروفيلي للإلكتروفيل على إلكترونات روابط الرنين من نوع باي (π) لحلقة البنزين، تكون الموضع جميعها الموجودة بين ذرات الكربون متكافئة. لهذا، يمكن أن يهاجم الإلكتروفيل أي موقع ما بين أي ذرتي كربون.

يمكن أن يكون مصدر الإلكتروفيل من مادة إلكتروليتية قوية، مثل ثنائي القطب (HCl مثلاً) أو ثنائي قطب مستحب (Cl $\delta+$ - Cl $\delta-$)، حيث يبيّن (الشكل 3-70) الإلكتروفيل القادم من مادة ثنائية القطب. من المحتمل إضافة هذا الإلكتروفيل على ذرة الكربون التي تحمل رقم 1، أو التي تحمل رقم 2. عندما تتم إضافة الإلكتروفيل، فإنه سيكون كاريوكاتيون مع ثلاثة تراكيب رنين (الشكل 3-a71, b, c)، بحيث تعمل تراكيب الرنين هذه على استقرار الكاريوكاتيون وثباته. توجد ذرات هيدروجين على كل ذرة من ذرات الكربون الست الموجودة في حلقة البنزين. إحدى ذرات الهيدروجين هذه تظهر على ذرة الكربون رقم 1، لأن ذرة الهيدروجين هذه هي التي سيتم استبدالها. ويبيّن (الشكل 3-d71) كيفية تمثيل تراكيب الرنين الثلاثة في شكل واحد يبيّن المكان الذي تكون فيه إلكترونات روابط باي (π) الأربع المتبقية غير متمركزة حول (5) ذرات من ذرات الكربون في الحلقة، وهذا يُسمى «أيون الأرениوم ion arenium»، أو «معقد سيجما (σ)».



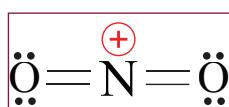
الشكل 3-71 تراكم الرنين للكاريوكاتيون الناتج عن ارتباط الإلكتروفيل بحلقة البيرزين.

في الخطوة النهائية (الشكل 3-72)، يتم سحب ذرة الهيدروجين الموجودة على ذرة الكربون المرتبطة بالإلكتروفيل، فتخرج على شكل أيون هيدروجين تاركة خلفها زوجاً من الإلكترونات، بحيث تعيد هذه الإلكترونات تشكيل الرابطة الثالثة من نوع باي(π)، لإعادة تكوين الحلقة الأرomaticية.



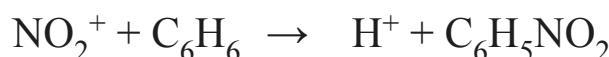
الشكل-3-72 إعادة تكوين الحلقة الأروماتية.

عملية نيترة الأريلات

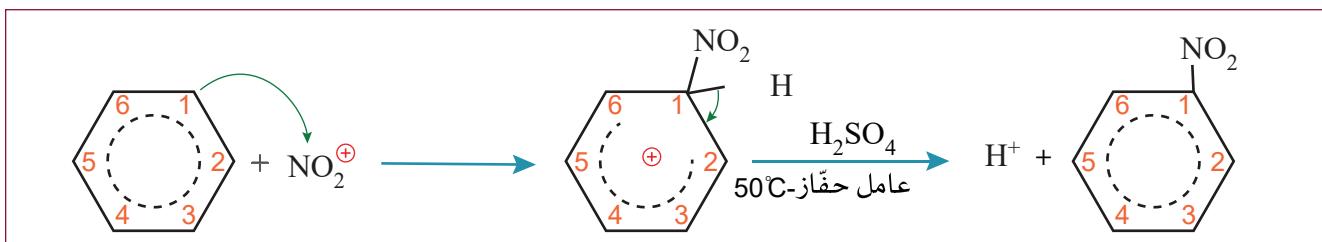


الشكل 73-3 كاتيون النيترونيوم.

إن عملية نيترة البنزين عبارة عن تفاعل استبدال (إحلال) إلكتروفييلي، وتحدث بأن تُستبدل ذرة هيدروجين والتي تغادر في هيئة H^+ بكاتيون نيترونيوم، NO_2^+ (الشكل 73-3). كما تبيّن المعادلة الكيميائية الآتية:

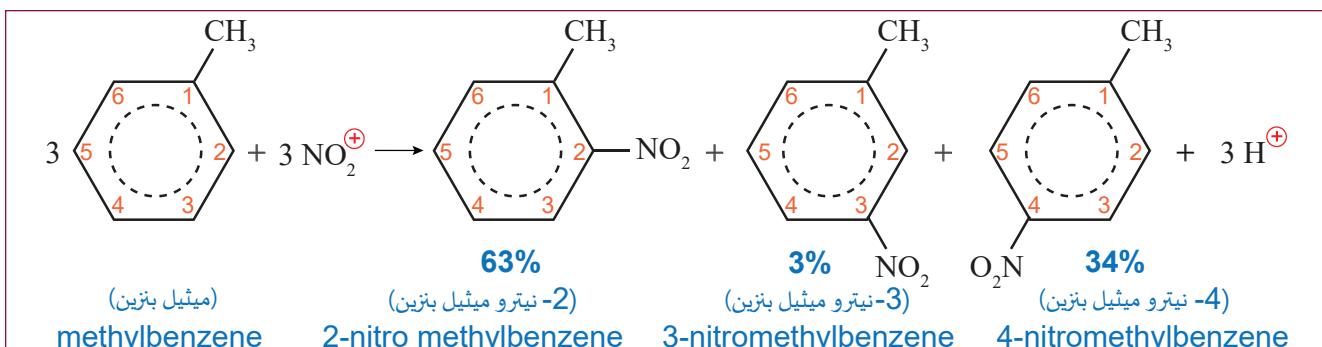


يحدث هذا التفاعل عندما يتم تسخين البنزين إلى درجة حرارة مقدارها $50^\circ C$ مع حمض النيتريك المركّز، وبوجود حمض الكبرتيك المركّز كعامل حفّاز. يبيّن (الشكل 3-74) ميكانيكية حدوث هذا التفاعل.

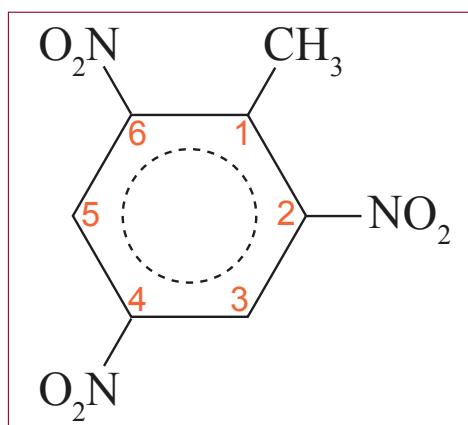


الشكل 74-3 عملية نيترة البنزين.

تحدث عملية نيترة لمركب ميثيل بنزين (التولوين)، وذلك عن طريق استبدال ذرة هيدروجين من حلقة البنزين وليس مجموعة الميثيل، فينتج عنها مخلوط مكوّن من ثلاثة متشكّلات لمركب نيترو ميثيل بنزين (الشكل 3-75).



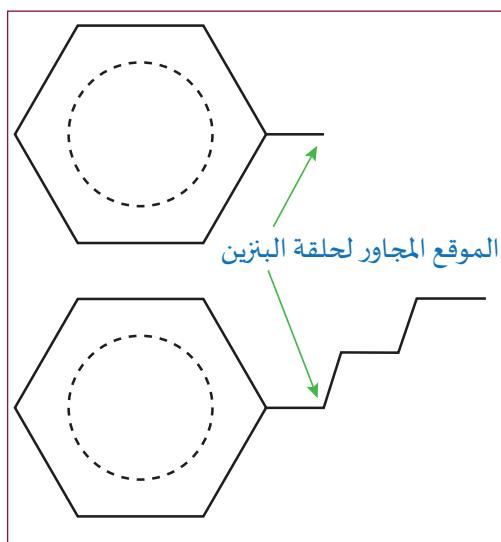
الشكل 75-3 نيترة ميثيل بنزين .methylbenzene



الشكل 76-3 مركب 2,4,6-ثلاثي نيترو تولوين (2,4,6-trinitrotoluene) المعروف باسم TNT.

تنتج كمية قليلة جدًا من مركب 3-نيترو ميثيل بنزين (3-nitromethylbenzene) وتتغيّر نسب مكونات المخلوط، وذلك عندما تتغيّر الظروف التي تحدث عندها عملية النيترة: عند درجات الحرارة المرتفعة نسبيًا، وبوجود حمض H_2SO_4 ، تُستبدل ذرات هيدروجين من حلقة البنزين بمجموعات نيترونيوم إضافية منتجةً بذلك مركب 6,4,2-ثلاثي نيترو ميثيل البنزين، وهذا المركب يُسمى 6,4,2-ثلاثي نيترو تولوين (TNT)، وهي مادة شديدة الانفجار (الشكل 3-76).

أكسدة ألكيلات الأرينا (مركبات ألكيلات البنزين)

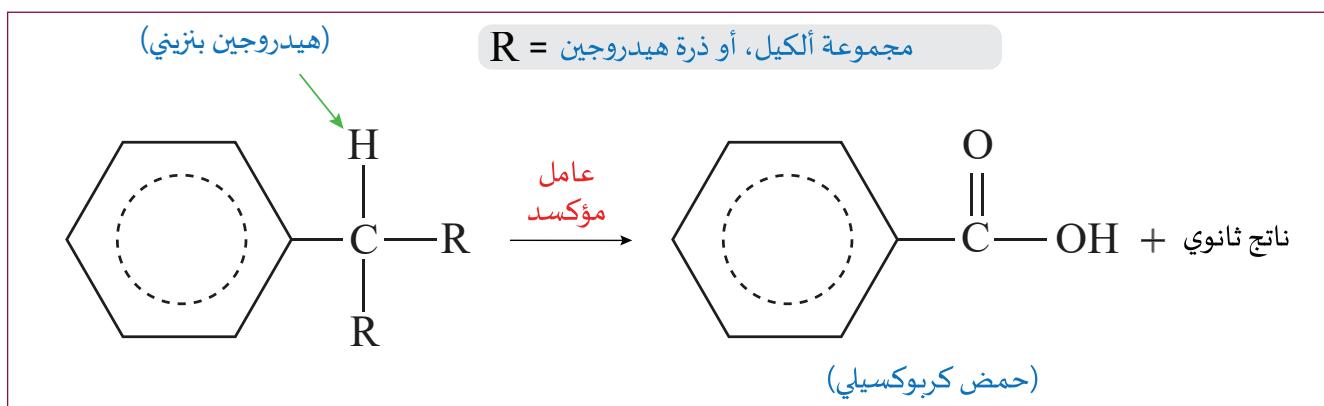


الشكل 3-77 الموقع المجاور لحلقة البنزين.

تمتلك ألكيلات الأرينا (مركبات ألكيلات البنزين) مجموعات ألكيل مرتبطة بحلقة البنزين؛ ويُسمى الموقع المحدد على مجموعة الألكيل والذي يكون مجاوراً بشكل مباشر لحلقة البنزين **الموقع البنزيني** **Benzylc position** (الشكل 3-77). تُنتج عملية أكسدة ألكيلات الأرينا، باستخدام عامل مؤكسد مناسب (مثل برمجنات البوتاسيوم القاعدية $KMnO_4$)، حمضاً كربوكسيلياً، وهذا يحدث عندما تكون ذرة الهيدروجين موجودة على الموقع المجاور لحلقة البنزين فقط؛ وتُسمى ذرة الهيدروجين هذه **الهيدروجين البنزيني** **Benzylc hydrogen**.

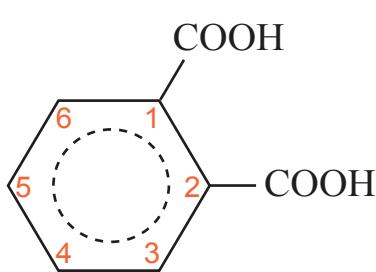
يوضح (الشكل 3-78) المعادلة العامة لعملية أكسدة مركب ألكيل الأرين إلى حمض كربوكسيلي. تتضمن بعض الخصائص المميزة لهذا التفاعل ما يأتي:

- عند عدم وجود ذرة هيدروجين بنزيني، فلن تحدث عملية الأكسدة.
- عند وجود مجموعة ألكيل على حلقة البنزين، فسوف تتأكسد المجموعتان إلى مجموعة كربوكسيل.
- عند وجودمجموعات أخرى مرتبطة بحلقة البنزين، مثل مجموعة النيترو ($-NO_2$)، فلن تتأثر هذه المجموعات بعملية الأكسدة.



الشكل 3-78 عملية أكسدة مركب ألكيل الأرين.

مثال 43



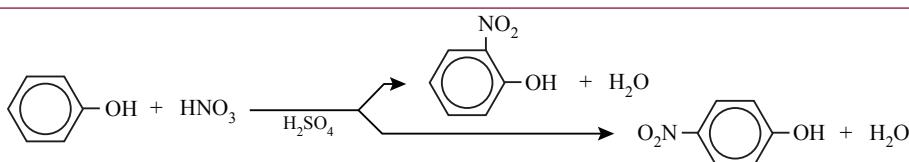
رسم التركيب البنائي للمركب العضوي الناتج عن عملية أكسدة 1-إيثيل-2-ميثيل البنزين (1-ethyl -2- methylbenzene).

الحل

توجد مجموعة ألكيل على هذا الجزيء، ستتأكسد كلتا المجموعتين إلى مجموعة كربوكسيل على المواقع 1 و 2 على حلقة البنزين.

الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول

تزيد مجموعة الهيدروكسيل الكثافة الإلكترونية في حلقة البنزين لمركب الفينول، مما يزيد من قدرة الفينول عبر حلقة البنزين على تكوين تفاعلات استبدال إلكتروفильية محددة: على سبيل المثال، يكون معدل نيترة الفينول أسرع بما يقارب 1000 مرة مما يكون عليه نيترة البنزين بمفرده، وتكون ميكانيكية الاستبدال الإلكتروفيلي للفينول في العادة معقدة. في هذه الميكانيكية، تمثل مجموعة الهيدروكسيل إلى توجيه عملية الاستبدال (الإحلال) للمجموعات نحو الموقعين 2 و 4 (أورثو وبارا) على حلقة البنزين. وبتعبير أوضح، فإنَّ من النادر أن ينتج عن الاستبدال الإلكتروفيلي للفينول استبدال على ذرة الكربون التي تحمل الرقم 3 (ميتا) الموجودة على حلقة البنزين. يبيّن (الشكل 3-79) مثال مهم على نيترة البنزين هو تفاعل الفينول مع حمض النيترิก بوجود عامل حفاز (حمض الكبرتيك المركب).

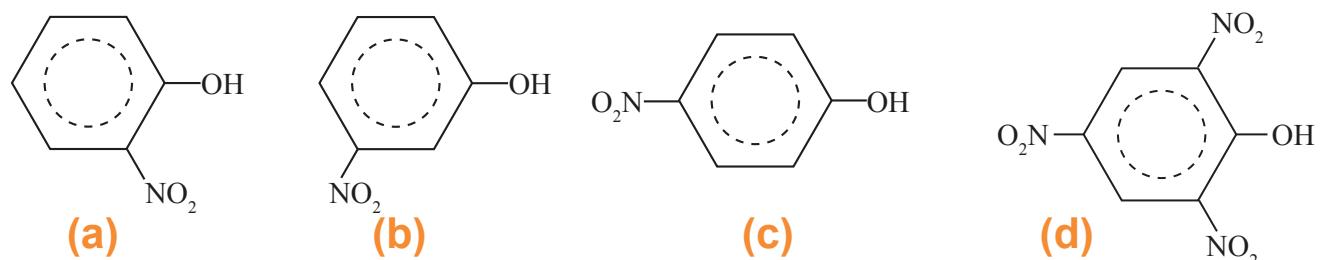


الشكل 3-79 نيترة الفينول.

مثال 44

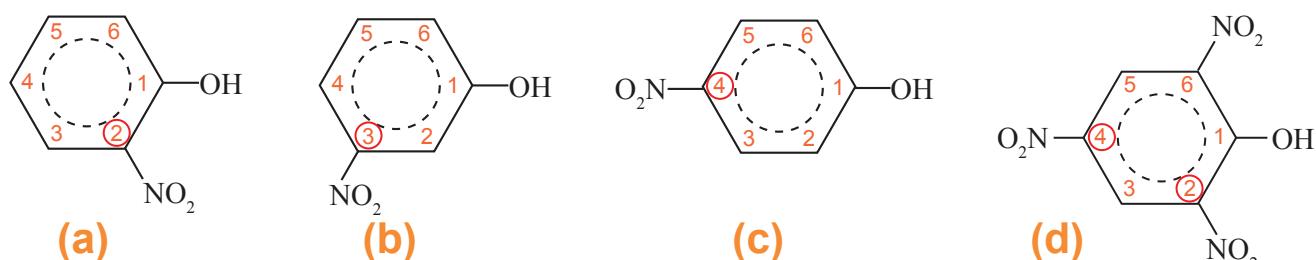


أي من الجزيئات الآتية هي الأقل احتمالاً لت تكون بعملية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول باستخدام مجموعات النيترو (-NO₂)؟



الحل

تعمل عملية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول على توجيه حدوث استبدال للمجموعات نحو الموقعين 2 و 4 على حلقة البنزين.

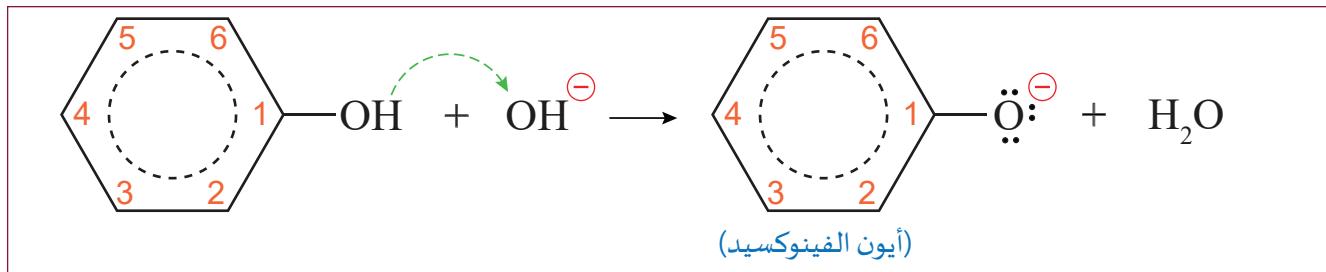


الخيارات (a)، و(c): يمتلك كل منهما مجموعة نيترو مرتبطة بحلقة البنزين على الموقعين 2، و4 على التوالي. أمّا الخيار (d) فيبيّن أنَّ هنالك مجموعة نيترو واحدة موجودة على ذرة الكربون رقم 4. أمّا مجموعة النيترو الأخرى فتكون على ذرة الكربون رقم 2. لذا، يكون الخيار (b) هو الأقل احتمالاً للتشكيل بعملية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول باستخدام مجموعات النيترو.

تفاعلات الفينول مع القواعد، وفلز الصوديوم

تفاعل الفينول مع القواعد

يتفاعل الفينول، كونه حمضًا ضعيفاً، مع القواعد القوية لتكوين ملح أيون الفينوكسيد والماء (الشكل 3-80)، بحيث يكون أيون الفينوكسيد خمسة تراكيب رنين غير متكافئة (غير مبينة) والتي تعمل على استقرار الأيون.



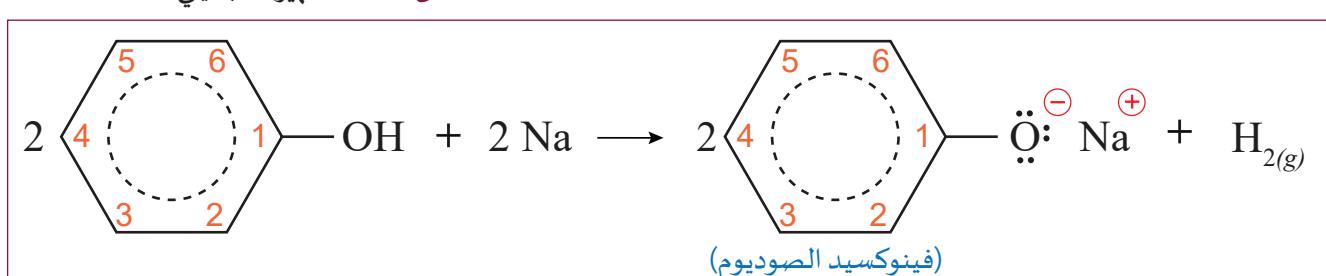
الشكل 3-80 تفاعل مركب الفينول مع الهيدروكسيد لتكوين أيون الفينوكسيد.



الشكل 3-81 التطهير التجميلي.

تفاعل الفينول مع فلز الصوديوم

يتفاعل الفينول مع الفلزات النشطة مثل الصوديوم لتكوين أملاح فلزية لأيون الفينوكسيد، بالإضافة إلى غاز الهيدروجين (الشكل 3-82). ويستخدم فينوكسيد الصوديوم كمواد حافظة في مستحضرات التجميل، وتعمل على تطهير البشرة عن طريق تثبيط نمو البكتيريا (الشكل 3-81).



الشكل 3-82 يتفاعل الفينول مع فلز الصوديوم لتكوين ملح وغاز هيدروجين.

مثال 45



ما المادتان اللتان يمكن لكلٍّ منها أن تتفاعل مع الفينول لإنتاج فينوكسيد البوتاسيوم؟

الحل

مركب فينوكسيد البوتاسيوم هو عبارة عن ملح فلزي للفينولات. لذا، فإنَّ الفينولات تتفاعل مع القواعد لإنتاج أيون الفينوكسيد. وُيعدّ KOH قاعدة مشابهة لهيدروكسيد الصوديوم. لذا، يمكن أن يتفاعل KOH مع الفينولات لإنتاج فينوكسيد البوتاسيوم. ويعد البوتاسيوم أيضًا فلزاً أكثر نشاطاً من فلز الصوديوم. لذا، يمكن أن يتفاعل فلز البوتاسيوم مع الفينول لإنتاج فينوكسيد البوتاسيوم.



نَمْذَجَةُ الْمَرْكَبَاتِ الْأَرْوَمَاتِيَّةِ

3-3

كيف يمكن تمثيل المركبات الأромاتية باستخدام نماذج ثلاثة الأبعاد؟
(اعمل ضمن مجموعات ثنائية)

سؤال الاستقصاء

مجموعة باسكو للنماذج الجزيئية (PS-3400) أو مجموعة مشابهة لها.

المواد المطلوبة

خطوات العمل



أكمل ورقة العمل الآتية:

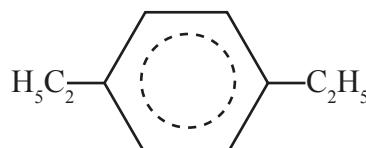
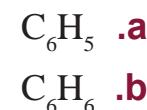
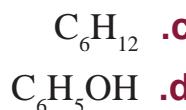
- ارسم تركيب كل جزء أروماتي موجود في الجدول الآتي، بحيث يتضمن ذرات الهيدروجين جميعها.
- اكتب الصيغة المكثفة لكل جزء أروماتي.
- صمم نموذجًا لكل جزء أروماتي.
- اطلب من المعلم التحقق من صحة النموذج قبل البدء بتصميم النموذج التالي.

تحقق المعلم	الصيغة المكثفة	التركيب البنائي الكامل	الاسم	
			benzene	1
			methylbenzene	2
			1,3-diethylbenzene	3
			1,2,6,-триiodobenzene	4
			3-propylphenol	5
			4-phenylbutanal	6
			5-phenyl-2-pentanone	7
			3-phenylhexanoic acid	8
			2-methylbenzoic acid	9
			methylbenzoate	10
			Phenyl methanoate	11
			6-phenylhexanoyl chloride	12

تحدد اختياري: صمم نماذج لهذين الجزيئين الأروماتيين:

- 2-كلورو-5-ميثيل-فينيل - 4,3 - ثانوي إيثيل بنزووات (إستر)
(2-chloro-5-methylphenyl - 3,4-diethylbenzoate)
- نفثالين(naphthalene) (اجر بحثاً عنه)

1. ما الصيغة الكيميائية للبنزين؟ 



2. ما اسم الجزيء الموجود إلى اليسار؟
3. ما عدد ذرات الهيدروجين الموجودة على الجزيء الأروماتي الناتج عند حدوث عملية استبدال لمجموعتي نيترو على حلقة البنزين؟

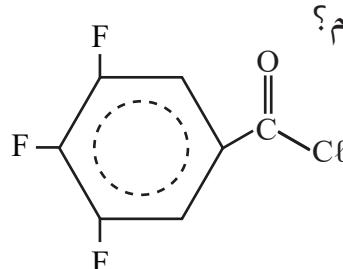
- 6 .c
8 .d

- 2 .a
4 .b

4. ما الناتج من عملية أكسدة ألكيل البنزين؟ 

- c. ألدهيد أروماتي
d. حمض كربوكسيلي أروماتي
a. إستر أروماتي
b. كحول أروماتي

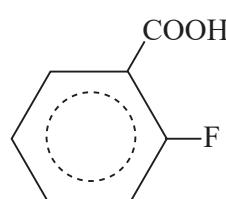
5. ارسم التركيب البنائي للمركب 3,2,1-ثلاثي برومومونيزين (1,2,3-tribromobenzene)



6. ما الغاز الناتج عن تفاعل الفينول (phenol) مع فلز الصوديوم؟

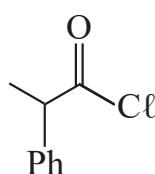
7. ما اسم الجزيء الموجود إلى اليسار؟ 

8. ارسم التركيب البنائي للمركب 2-فينيل-3-هبتانون (2-phenyl-3-heptanone)



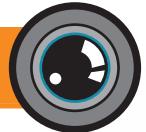
9. ما اسم الجزيء الموجود إلى اليسار؟ 

10. ارسم التركيب البنائي للمركب إيثيل البنزوate (ethyl benzoate)



11. ما اسم الجزيء الموجود إلى اليسار؟ 

إضاءة على عالم



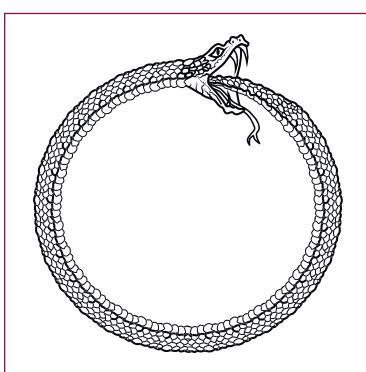
فريديريك أوغست كيكوله 1829-1896م



الشكل 3-83 طابع بريدي ألماني شرقى يعود إلى العام 1979م، يكرّم كيكوله، ونموذجه الأول لمركب البنزين.

ولد في مدينة تعرف الآن باسم دارمشتات، في ألمانيا، في 7 من شهر سبتمبر في العام 1829م، حيث لم يكن معروفاً باسمه الأول، وكان هو نفسه لا يستخدم هذا الاسم إلا نادراً. التحق بجامعة غيسن في العام 1847م لدراسة الهندسة المعمارية، ولكنه أُلْهِم دراسة الكيمياء في فصله الدراسي الأول بعد استماعه لمحاضرات إلقاها الدكتور يوتيوس فون ليبيغ. [يُعدّ ليبيغ أحد أعظم معلّمي الكيمياء على مر العصور ورائد النهج المختبري في التدريس].

يرجع الفضل إلى العالم كيكوله في تطوير نظرية التركيب الكيميائي بين العامين 1857م، و1858م، حيث استخدمت نظريته مفهوم وحدات الألفة (التقارب)، والتي تُسمى الآن "التكافؤ"؛ وذلك لوصف الواقع التي تشغله الذرات في داخل الجزيء: على سبيل المثال، يشغل الكربون موقعاً لوضعه بجانب أربع ذرات كربون أخرى أمّا الهيدروجين فيأخذ موقعاً إلى جانب ذرة واحدة أخرى فقط، وكان هذا كله قبل اكتشاف الإلكترون من قبل العالم جوزيف جون طومسون في العام 1897م! ويعود كيكوله العالم الأكثر شهرة من بين الذين عملوا على التركيب البنائي لمركب البنزين. وقد اكتشف مركب البنزين في العام 1825م من قبل العالم مايكل فارادي، حيث حيّر السلوك الكيميائي للبنزين العلماء لعدة سنوات، وذلك لعدم توافقه مع ما هو معلوم من مركبات ذات صلة به. في العام 1865م، نشر كيكوله ورقة بحثية علمية رأى فيها أنّ البنزين كون حلقة تحتوي في داخلها على روابط أحاديد وثنائية تكون فيها بشكل متناوب، في العام 1872م عدّ نموذجه ليوضح أنّ البنزين يتّرجح بسرعة كبيرة بين شكلين تركيبيين تتغيّر فيهما موقع الروابط الأحادية والثنائية بشكل مستمر. وقد تمّ تعديل نظريته في العام 1928م أيضًا من قبل العالم لينيوس باولينج، والذي أدخل مفهوم الرنين للنموذج.



الشكل 3-84 رمز قديم لشعبان يأكل ذيله: ouroboros

في الخطاب الذي تم إلقاؤه في حفل توزيع الجوائز الذي أُقيم في العام 1890م تكريماً للذكرى 25 لورقته البحثية العلمية حول التركيب البنائي للبنزين، أكد العالم كيكوله أن نموذجه لمركب البنزين، والذي تطور من أحلام يقظة، قد اتخذ هيئة شكل أوروبوروس ouroboros (الشكل 3-80). توفي العالم كيكوله في مدينة تُعرف الآن باسم "بون"، في ألمانيا، في 13 من شهر يوليو في العام 1896م عن عمر يناهز 66 عاماً، وقد تمّ تشييد نصب تذكاري على شرفه في العام 1903م، في حرم جامعة بون الألمانية، والذي لا يزال قائماً حتى يومنا هذا.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: الأشكال الهندسية للجزئيات

- نظريّة تنافر أزواج إلكترونات التكافؤ **VSEPR theory** تصف تكوين معظم الأفلاك المهجّنة **Hybrid orbitals** المفصولة مكانيًا والتي تُنشئ **الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني** **Electron domain geometry** الذي يستخدم لتوقع الشكل الهندسي الجزيئي.
- معظم الجزيئات لها **متشكلات بنائية Structural isomers** تمتلك ترابطًا مختلفًا، ويمكن للكثير منها تكوين **متشكلات فراغية Stereoisomers** التي تمتلك طريقة الربط نفسها.
- النشاط الضوئي **Optical activity** الموجود في الجزيء هو نتيجة امتلاكه **مركزًا كيراليًا** (غير متماثل) **Chiral center**.

الدرس 3-2: ميكانيكيات التفاعلات العضويّة

- تطلّب ميكانيكية الإضافة الإلكترونيّة في الألكينات تكوين **كاربوكاتيون Carbocation** بحيث ستتجه ذرة الهالوجين نحو ذرة الكربون بحسب **قاعدة ماركوفنيكوف Markovnikov's Rule**.
- هناك ميكانيكيتان لحدوث عملية الاستبدال (إحلال) النيوكليلوفي، والتي تصف كيفية إحلال ذرة محل **مجموعة مغادرة Leaving group**.
- ينتج عن عملية التحلل المائي لكlorيدات الأسيل حمض كربوكسيلي و HCl.
- تعدّ كلوريدات الأسيل كواشف فعالة لعملية **أسيلة Acylating** الجزيئات الأخرى مثل الكحولات والفينولات.

الدرس 3-3: المركبات العضويّة الأروماتية

- تعد حلقة البنزين خاصيّة مميزة **للأرينات Arenes**، وهي تشير أيضًا إلى المركبات الأروماتية.
- يمكن أن تخضع **الكيلات الأرينات Alkylarenes** لتفاعلات تشبه تفاعلات الاستبدال (إحلال) الإلكترونيّي مثل النيتره. وتفاعلات الأكسدة.
- تعمل أكسدة الكيلات الأرينات على إزالة مجموعة الكيل وظيفية من حلقة البنزين عند **الموقع البنزيني** **Benzyl position**، على أن تُستبدل بها مجموعة كربوكسييل، بشرط وجود ذرة **هيدروجين بنزيني Benzyl hydrogen**.
- تمتلك **هاليدات الأرينات Halogenoarenes** ذرات هالوجين مرتبطة بحلقة البنزين.
- يخضع **الفينول Phenol** لتفاعل استبدال (إحلال) الإلكترونيّي من دون أن يفقد مجموعة الهيدروكسيل، فالفينول يتفاعل مع القواعد لتكوين أيون الفينوكسيد، ويتفاعل أيضًا مع فلز الصوديوم لإنتاج فينوكسيد الصوديوم وغاز الهيدروجين.
- مجموعـة **الفينيل Phenyl** هو اسم المجموعة الوظيفية لحلقة البنزين.
- يُعد **البنزالدهيد Benzaldehyde** أبسط الألدهيدات الأروماتية، ويُعد **حمض البنزويك Benzoic acid** أبسط الأحماض الكربوكسيلية الأروماتية.
- يتكون **أنيون البنزوات Benzoate anion** عندما يفقد حمض البنزويك ذرته الهيدروجينية الحمضية.

اختيارات متعددة

1. أيٌ من العبارات الآتية تصنف المجال الإلكتروني الموجود حول ذرة الكربون في مركب ثنائي كبريتيد الكربون (carbon disulfide)؟

a. مجالان مرتبطان

b. 4 مجالات مرتبطة

c. مجالان مرتبطان، و 4 مجالات غير مرتبطة

d. 4 مجالات مرتبطة، و 4 مجالات غير مرتبطة

2. ما عدد الأفلاك المهرجنة التي تتشكل عندما تتعرض ذرة لتهجين من نوع (sp^2)؟

1 .a

2 .b

3 .c

4 .d

3. ما الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني الذي يكون مصاحباً لتهجين من نوع (sp^3)؟

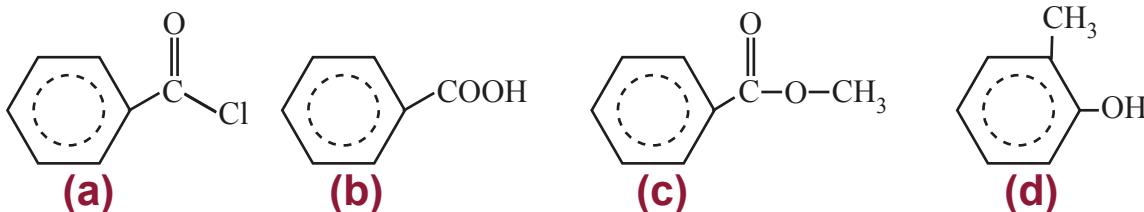
a. ثماني الأوجه

b. رباعي الأوجه

c. مثلث مسطح

d. هرمي ثلاثي الأوجه

4. أيٌ من الأشكال الآتية يُعد مثلاً على حمض كربوكسيلي أروماتي؟



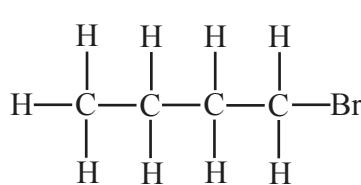
5. أيٌ من العبارات الآتية تصف هذين الجزيئين بالطريقة الأفضل؟

a. متشكّلان فراغيّان يمتلكان ترابطًا مختلفاً.

b. متشكّلان فراغيّان يمتلكان الترابط نفسه.

c. متشكّلان تركيببيّان يمتلكان ترابطًا مختلفاً.

d. متشكّلان تركيببيّان يمتلكان الترابط نفسه.

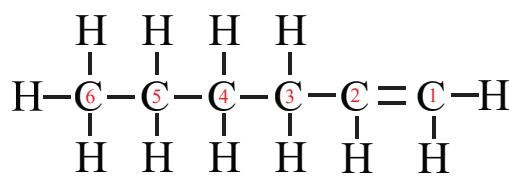


تقويم الوحدة

6. أيٌّ مما يأتي يتكون أثناء حدوث ميكانيكية بالإضافة الإلكتروفيلية للألكين؟

- c. رابطة ثنائية a. معقد سيجما₅
- d. مجموعة مغادرة b. كاربوكاتيون

7. أيَّة ذرة من ذرات الكربون التي توجد في مركب 1-هكسين (1-hexene) المجاور سُيُضاف إليها الكلور القادم من حمض الهيدروكلوريك؟



- 1 .a
2 .b
3 .c
6 .d

8. أيٌّ من العبارات الآتية تعبر بشكل صحيح عما يتعلق بالاستبدال (الإحلال) النيوكليفيلي الذي يحدث عن طريق ميكانيكية S_N2 ؟

- a. تحدث مهاجمة للجانب الخلفي فقط، مع الاحتفاظ بالبنية الهندسية الفراغية.
b. تحدث مهاجمة للجانب الخلفي فقط، مع حدوث انعكاس بالبنية الهندسية الفراغية.
c. تحدث مهاجمة للجانب الأمامي فقط، مع الاحتفاظ بالبنية الهندسية الفراغية.
d. تحدث مهاجمة للجانب الأمامي فقط، مع حدوث انعكاس بالبنية الهندسية الفراغية.

9. أيٌّ من الواقع الآتية ستتم "مهاجمته" من قبل النيوكليفيل في أثناء حدوث عملية الاستبدال (الإحلال) النيوكليفيلي لمجموعة الكربونيل؟

- a. مجموعة "R"

- b. المجموعة المغادرة
c. ذرة الكربون الموجودة في مجموعة الكربونيل
d. ذرة الأكسجين الموجودة في مجموعة الكربونيل

10. أيٌّ من المركبات الآتية ينتج عندما تتم أُسْيَلة الكحول؟

- c. ألدهيد a. إستر
d. حمض كربوكسيلي b. كيتون

11. أيٌّ من العبارات الآتية تصف المجموعة المغادرة القوية؟

- a. لها سالبية كهربائية منخفضة، وتأخذ معها زوجاً منفرداً من الإلكترونات.
b. لها سالبية كهربائية مرتفعة، وتأخذ معها زوجاً منفرداً من الإلكترونات.
c. لها سالبية كهربائية منخفضة، وتترك خلفها زوجاً منفرداً من الإلكترونات.
d. لها سالبية كهربائية مرتفعة، وتترك خلفها زوجاً منفرداً من الإلكترونات.

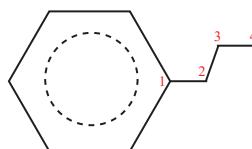
12. أيٌ من المركبات الآتية تصف الأرينات جميعها بالطريقة الأفضل؟

- .a. الكحولات
- .b. الألدهيدات
- .c. كلوريدات الأسييل
- .d. المركبات الأرomaticية

13. ما اسم المجموعة التي تُستبدل (تحل محل) بذرة الهيدروجين عندما يخضع أحد الأرينات إلى نيترة إلكتروفiliّية؟

- .c. النيتروجين
- .d. النيترونيوم
- .a. النيترايت
- .b. النيтрат

14. أيٌ من الأرقام الآتية يحدّد الموقع المجاور لحلقة البنزين في هذا الجزيء الموجود إلى اليسار؟



- 1 .a
- 2 .b
- 3 .c
- 4 .d

15. أيٌ من الصيغ الآتية هي الصيغة المكثّفة للفينول (phenol)؟

- | | |
|---------------|-------------|
| C_6H_5OH .c | C_6H_6 .a |
| C_6H_6OH .d | C_6H_5 .b |

16. نحو أيّة ذرة من ذرات الكربون الموجودة في حلقة البنزين ستوجّه مجموعة الهيدروكسيل المجموعات بأكبر نسب عندما يخضع الفينول لعملية استبدال (إحلال) إلكتروفiliّي؟

- 1 و 2 .a
- 4 و 1 .b
- 3 و 2 .c
- 4 و 2 .d

17. ما الذي ينتج عندما يتفاعل كلٌّ من: هيدروكسيد الصوديوم، أو فلز الصوديوم مع مركب الفينول؟

- .a. الماء
- .b. غاز الهيدروجين
- .c. بنزووات الصوديوم
- .d. فينوكسيد الصوديوم

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 3-1: الأشكال الهندسية الجزيئية

18. ما قيمة زاوية الرابطة المثالية التي توجد بين الأفلاك المُهَجَّنة من نوع (sp^2)؟

19. فسر، من حيث مساحة الكثافة الإلكترونية، السبب في نقص قيمة الزاوية بين المجالات الإلكترونية المرتبطة عندما يكون مجال إلكتروني واحد على الأقل مشغولاً من قبل إلكترونات غير مرتبطة.

20. حدد نوع التهجين، الشكل الهندسي الجزيئي لأيون الهيدرونيوم (H_3O^+).

21. حدد الشكل الهندسي الجزيئي والشكل الهندسي للمجالات الإلكترونية التي توجد حول الذرات التي تحمل الأرقام 1 و 2 و 3 في جزيء حمض الإيثانويك (ethanoic acid) الموجود إلى اليسار.

22. ارسم المتشكلات التركيبية من نوع السلسلة الكربونية الثلاثة لمركب البنتان (pentane).

23. باستخدام جدول تحليل الأولوية (PAT)، أيعُد التركيب

البنائي للمركب 1-برومو-2-كلورو-1-فلورو إيثين (1-bromo-2-chloro-1-fluoroethene) متشكلاً فراغياً من نوع (E)، أم متشكلاً فراغياً من نوع (Z).

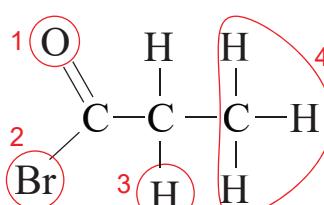
الدرس 3-2: ميكانيكيات التفاعلات العضوية

24. ارسم ميكانيكية تفاعل الإضافة الإلكتروفilia لمركب HBr إلى مركب 2-ميثيل البروبين (2-methylpropene). استخدم قاعدة ماركوفنيكوف لتحديد ذرة الكربون التي ستضاف إليها ذرة البروم.

25. فسر المقصود بالرقم "1"، وبالرقم "2" في ميكانيكيات الاستبدال (إحلال) النيوكليوفييلي S_N2 ، و S_N1 على التوالي.

26. أيّة ميكانيكية استبدال (إحلال) نيوكليفيلي: S_N1 ، أم S_N2 ينتج عنها ناتج واحد، له متشكّل فراغي واحد.

27. أيّ من المجموعات (1-4) ستكون هي المجموعة المغادرة عندما يخضع المركب بروميد البروبانويل (propanoyl bromide) (بروميد الأسيل) لعملية استبدال (إحلال) نيوكليفيلي؟

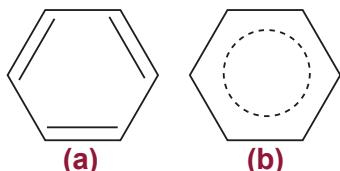


28. من حيث النشاط والقدرة على تكوين تفاعلات انعكاسية، ما الذي يجعل كلوريدات الأسيل

متالية لإنتاج الإسترات من الكحولات والفينولات؟

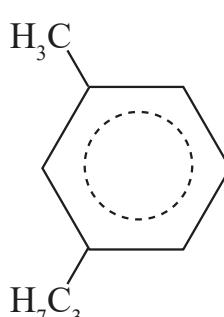
29. ما الناتج اللذان ينتجان عن عملية التحلل المائي لمركب كلوريد البروبانويل
(propanoyl chloride)؟

الدرس 3-3: المركبات العضوية الأромاتية



* 30. من حيث الإلكترونات الموجودة في الروابط من نوع باي (π)،
لماذا يُعد الرمز (b) هو الأفضل تمثيلاً لجزيء البنزين من
الرمز (a) في الشكل الموجود إلى اليسار؟

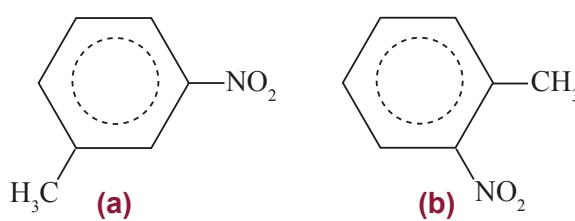
* 31. ارسم التركيب البنائي للمركب 1,3,5-trimethylbenzene (5-ثلاثي ميثيل بنزين). (1,3,5-trimethylbenzene)



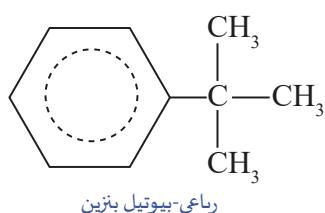
32. اذكر اسم المركب الموجود إلى اليسار.

* 33. فَسْر، من حيث عملية ترقيم حلقة البنزين، ما يجعل 3,2-ثنائي ميثيل بنزين (2,3-dimethylbenzene) اسمًا غير صحيح.

* 34. ارسم التركيب البنائي لمعقد سيجما (σ) المتكون؛ وذلك عندما يخضع البنزين لعملية استبدال (إحلال) إلكتروفيلي مع Cl_2 .



* 35. أيٌ من الشكلين التركيبين اللذين إلى
اليسار يُعد الناتج الأكثر احتمالاً، والذي
سينتج عن عملية نيترة ميثيل بنزين
(methylbenzene)؟ وضح إجابتك.

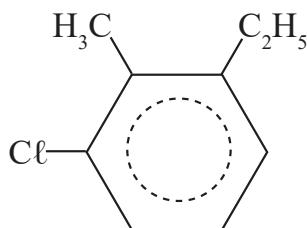


* 36. هل سيخضع مركب رباعي بيوتيل بنزين (tert-butylbenzene) لعملية أكسدة ليتحول إلى حمض كربوكسيلي؟ فسر إجابتك
كانت نعم أو لا في ضوء الهيدروجين البنزيني.

* 37. ارسم التركيب البنائي للمركب 2,1-ثنائي فلورو-6-أيدو بنزين (1,2-difluoro-6-iodobenzene).

* 38. ارسم التركيب البنائي للمركب 4,2-ثنائي كلورو فينول (2,4-dichlorophenol).

✓ تقويم الوحدة



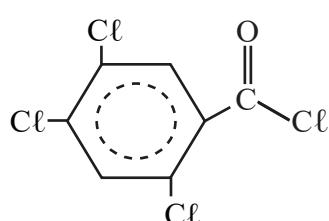
39. سُمِّيَ المركب الموجود إلى اليسار.

40. من حيث المجموعات الموجّهة أثناء عملية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي، ما الشيء المشترك الذي تمتلكه مجموعتا الميثيل والميدروكسيل اللتان توجدان على حلقة البنزين.

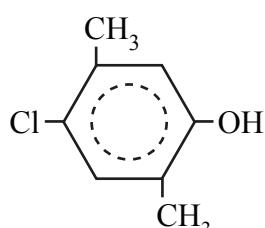
41. ارسم التركيب البنائي لأنيون الفينوكسيد، بحيث يتضمن هذا الشكل الإلكترونيات غير المرتبطة.

42. ما الصيغة الكيميائية لمجموعة الفينيل؟

43. صُفِّ الترکیب البنائی لمرکب البنزالدهید من حيث المجموعات الوظیفیة.



44. اذْكُر اسْمَ المَرْكَبِ ذِي الصِّيغَةِ الْبَنَائِيَّةِ المُبَيَّنَةِ إِلَى الْيَسَارِ.



45. ارسم التركيب البنائي للمرکب 4-كلورو بنزالدهيد (4-chlorobenzaldehyde).

46. اذْكُر اسْمَ المَرْكَبِ ذِي الصِّيغَةِ الْبَنَائِيَّةِ المُبَيَّنَةِ إِلَى الْيَسَارِ.

47. ارسم التركيب البنائي للمرکب 1-فلورو-4-فينيل-3-هكسانون (1-fluoro-4-phenyl-3-hexanone).

48. ارسم التركيب البنائي للمرکب حمض 4-أيدو بنزويك (4-iodobenzoic acid).

49. ارسم التركيب البنائي للمرکب فينيل البنزوات (phenyl benzoate).

50. ارسم التركيب البنائي للمرکب كلوريد 2-ميثيل-4-فينيل-4-أوكتانوبل (2-methyl-4-phenyloctanoyl chloride).

51. صُمِّمَ مع زميل لك جزءاً جديداً، بحيث يكون مكملاً لمجموعة النماذج الجزيئية المستخدمة في هذه الوحدة، والتي ستمثل روابط الرنين الموجودة في حلقة البنزين بالشكل الأفضل.

52. أُجِرِ بحثاً عن تراكيب الرنين الخمسة لأنيون الفينوكسيد، وارسم التراكيب البنائية لها، ثم بين السبب الذي يؤكّد أنَّ هذه التراكيب البنائية جميعها غير متكافئة.

الشكر والتقدير

جميع الرسوم الفنية الواردة في هذا العمل صنّمتها شركة تطوير العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات (STEM) في الولايات المتحدة الأمريكية. وهي وحدها تملك الحق القانوني لإجازة استخدام تلك الرسوم.

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أئمّهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

RonnieChua/Shutterstock; Shyrochenko Aleksandr/Shutterstock; chrisdorney/Shutterstock; Bobx-73/Shutterstock; Lipskiy/Shutterstock; Naskky/Shutterstock; SoleilC/Shutterstock; AlexandrN/Shutterstock; Martin Bergsma/Shutterstock; Toa55/Shutterstock; ShadeDesign/Shutterstock; Caterina Belova/Shutterstock; Pavol Kmeto/Shutterstock; A7880S/Shutterstock; Corund/Shutterstock; Shannon Serpette/Shutterstock; agsandrew/Shutterstock; tankist276/Shutterstock; VectorPot/Shutterstock; Vector Tradition/Shutterstock; J10/Shutterstock; RomanVanur/Shutterstock; Garen Takessian/Shutterstock; Aldona Griskeviciene/Shutterstock; Fouad A Saad/Shutterstock; hiphoto/Shutterstock; stockcreations/Shutterstock; MAHATHIR MOHD YASIN/Shutterstock; Konoplytska/Shutterstock; Eric Isselee/Shutterstock; Maksim Safaniuk/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Daniele Pietrobelli/Shutterstock; Tichr/Shutterstock; Vladislav Havrilov/Shutterstock; Olga Zinovskaya/Shutterstock; Tatiana Foxy/Shutterstock; 3DSculptor/Shutterstock; Merlin74/Shutterstock; Eduard Kim/Shutterstock; Vadim Sadovsky/Shutterstock; Janaka Dharmasena / Shutterstock; Nasky/ Shutterstock; adike/Shutterstock; Richard Peterson/ Shutterstock; stihii/ Shutterstock; NoPainNoGain/ Shutterstock; Teguh Mujiono/shutterstock; Improvisor/ Shutterstock; Jose Luis Calvo/ Shutterstock; Rattiya Thongdumhyu/ Shutterstock; Peter Hermes Furian/ Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/ Shutterstock; VectorMine/ Shutterstock; bsd/ Shutterstock; Blamb/ Shutterstock; MikeMartin / Shutterstock; Photographee.eu/ Shutterstock; Jason Boyce/ Shutterstock; Maridav Eugene Onischenko/ Shutterstock; CI Photos/ Shutterstock; Sergey Nivens, Vasyl Shulga/ Shutterstock; Sea Wave, Tanya Sid/ Shutterstock; belushi/ Shutterstock; Birger Olovson, Dionisvera/ Shutterstock; sportpoint / Shutterstock; ChrisVanLennepPhoto, Jacob Lund, sattahipbeach,/Shutterstock; Catalin Grigoriu/ Shutterstock; Designua/Shutterstock; Andres Garcia Martin/Shutterstock; Cagla Acikgoz/ Victor Moussa/photoworld; Aleksey Gusev/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; mapichai/Shutterstock; Kitnha/ Elena11/Shutterstock; dlhca/Shutterstock; ShotStalker/Shutterstock; Sketchart/Shutterstock; tel52/Robert Adrian Hillman/Shutterstock; Jeroen Mikkers/ Manamana /Shutterstock; duckeesue /Shutterstock; Thomas C. Altman /Shutterstock; Sara Winter /Shutterstock; MaraZe /Shutterstock; Adwo/ Tomowen Shutterstock; Rosalie Kreulen /Shutterstock; Daniel Carlson /Shutterstock; Filip Fuxa/ Fulcanelli/ Shutterstock; lembi /Shutterstock; stihii /Shutterstock; GracePhotos /Shutterstock; Mega Pixel Shutterstock; Justek16 /Shutterstock; Scottish Traveller /Shutterstock; Lori Bonati /Shutterstock; anek.sooannahpoom /Shutterstock; Lost_in_the_Midwest /Shutterstock; B Calkins /Shutterstock; AlexussK /Shutterstock; pablofdezr /Shutterstock; fischers /Shutterstock; corbac40 /Shutterstock; CROX /Shutterstock; Africa Studio /Shutterstock; Emre Terim /shutterstock; Volodymyr Goinyk /shutterstock; Johann Helgason /shutterstock; OSweetNature /shutterstock; Kathryn Snoek/ /shutterstock; Thomas C. Altman; MateusandOlivia /shutterstock; Designua /shutterstock; Rainer Lesniewski /shutterstock; Praveen Menon /shutterstock; Mark Hall /shutterstock; Konoplytska /shutterstock; Igor Alexander /shutterstock; Zoom Team /shutterstock; Turkey Photo /shutterstock; Dexpixel /shutterstock; Dennis O'Hara /shutterstock; Tetyana Dotsenko /shutterstock; Vadim Nefedoff /shutterstock; Designua /shutterstock; Sabelskaya /shutterstock; Rich Carey /shutterstock; Bill McKelvie/shutterstock; Andrey Burmakin/ kuruneko/ ZoranOrcik/shutterstock; Imagesines /shutterstock; Diagram/shutterstock; HelloRF Zcool/ Andrey Burmakin/shutterstock; Alex Kravtsov/shutterstock; sirtravelalot/shutterstock; Suzanna Tucker/shutterstock; Graph/shutterstock; Gwoeii/shutterstock; Graph/ Oleksii Sidorov/shutterstock; sizov/ LUKinMEDIA/shutterstock; BUY THIS/shutterstock; Stock image/shutterstock; TLaoPhotography/shutterstock; TASER/shutterstock; Roger costa morera/shutterstock; Preto Perola/ HomeArt; topimages/NDT/KKulikov/shutterstock; OSTILL is Franck Camhi/ Wikipedia; Ljupco Smokovski/Alexander Kirch/Stefan Schurr/ Jonah_H/shutterstock; Brocreative/ Motion Arts; Dan Thornberg/shutterstock; faboi/TASER; Miriam Doerr/shutterstock; Martin Frommherz/shutterstock; Bjoern Wylezich/shutterstock; Inna Bigun/shutterstock; Steven_Mol/shutterstock; goffkein.pro/shutterstock; EugenePut/shutterstock; fotoliza/shutterstock; IDKFA/shutterstock; Yosanon Y/ VarnakovR/shutterstock; Rost9/shutterstock; Tyler Boyes/shutterstock; Dimarion/shutterstock; Maridav/shutterstock; Dmitry Markov152/shutterstock; Charobnica/Shutterstock; Rvkamalov/Shutterstock; Peter Hermes Furian/Shutterstock; Konstantinks/Shutterstock; Extender_01/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Miriam Doerr/Shutterstock; Martin Frommherz/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Orange Deer studio/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; Olga Popova/Shutterstock; Pavel Sapozhnikov/Shutterstock; VectorMine/Shutterstock; Paramonov Alexander/Shutterstock; OSweetNature/Shutterstock; Danielz1/Shutterstock; Dafinchii/Shutterstock; Fen Deneyim/Shutterstock; Artskvortsova/Shutterstock; Nasky/Shutterstock; Adam J/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Denis Radovanovic/Shutterstock; Ipek Morel/Shutterstock; Nito/Shutterstock; Geza Farkas/Shutterstock; Albert Russ/Shutterstock; Orange Deer studio/Shutterstock; Everett Collection/Shutterstock; Mega Pixel/Shutterstock; Ihor Matsiievskyi/Shutterstock; Mahathir Mohd Yasin/Shutterstock; Liveshot/Shutterstock; MTKang/Shutterstock; Andrey Kozyntsev/Shutterstock; Gab90/Shutterstock; Olga Hofman/Shutterstock; Breck P. Kent/Shutterstock; Beker/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; Frees/Shutterstock; Concept W/Shutterstock; Volha A./Shutterstock; Aliona Ursu/Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; John James/Shutterstock; Photo-World/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; LeysanI/Shutterstock; ADA Photo/Shutterstock; Elena Zolotukhina/Shutterstock; Bukhta Yurii/Shutterstock; Edward Olive/Shutterstock; Maxx-Studio/Shutterstock; Peter Sobolev/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Eduardo Estellez/Shutterstock; Shishir Gautam/Shutterstock; Josep Suria/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Izzmain/Shutterstock; Kiran Paul/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; Sansanorth/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Henri Koskinen/Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; Humdan/Shutterstock; ibreakstock/Shutterstock; Magnetix/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; EDU WATANABE/Shutterstock; Kristina Vor/Shutterstock; Wantando/Shutterstock;