الوحدة 3 الكيمياء العضويّة

مقدِّمة الوحدة

C1203 يفهم كيف تُفسَّر آليات (ميكانيكيات) التفاعل العضوي كيمياء المجموعات الوظيفية.

C1204 يفهم الخصائص الكيميائية للأرينات (المركّبات الأروماتية)

الدرس 3-1 الأشكال الهندسيَة للجزيئات

- خصائص الجزيئات و أشكالها البنائية.
- نظرية (VSEPR) والمجالات الإلكترونية.
- تهجين الأفلاك.
- أفلاك "sp" المهجَّنة
- أفلاك "sp^3" المهجَّنة
- الشكل الهندسي الجزيئي.
- الأشكال الهندسية المسطَّحة ورباعية الأوجه.
- ملخّص الأشكال الهندسية الجزيئية.
- أشكال الجزيئات العضويّة.
- المتشكّلات.
- متشكّلات السلسلة الكربونية للألكانات.
- المتشكّلات الموضعية.
- المتشكّلات الوظيفية.
- المتشكّلات الفراغية.
- النَشاط الضوئي.
- المتشكّلات الفراغية وترميز E-Z في الألكينات.
- الأشكال الهندسية للجزيئات والمتشكّلات.

الدرس 3-2 ميكانيكيات التفاعلات العضويّة

- ما هي ميكانيكية التفاعل؟
- تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات.
- قاعدة ماركوفنيكوف.
- ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي S_N1.
- ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي S_N2.
- الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل.
- التحلّل المائي لكلوريد الأسيل.
- تفاعل الكحول مع كلوريد الأسيل أو أنهيدريد الحمض.
- تفاعلات الإضافة الإلكتروفيليّة والإستبدال النيوكليوفيلي.

الدرس 3-3 المركّبات العضويّة الأروماتية

- البنزين: استخداماته التاريخية، ومركباته، ومخاطره.
- حلقة البنزين والأرينات.
- تسمية الأرينات البسيطة (المركّبات الأروماتية).
- أولوية التسمية بحسب قواعد الأيوباك IUPAC.
- المجموعات الوظيفية الأحادية والمتعدّدة.
- تسمية وتركيب الألدهيدات الأروماتية.
- تسمية وتركيب الكيتونات الأروماتية البسيطة.
- تسمية وتركيب الأحماض الكربوكسيلية البسيطة.
- تسمية وتركيب الفينولات .
- تسمية وتركيب الإسترات الأروماتية البسيطة.
- قواعد تسمية الإسترات الأروماتية المشتقّة من الفينول.
- تسمية وتركيب كلوريدات الأسيل البسيطة.
- ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الأرينات.
- عملية نيترة الأرينات.
- أكسدة ألكيلات الأرينات (مركّبات ألكيلات البنزين).
- الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول.
- تفاعلات الفينول مع القواعد، وفلز الصوديوم.
- نمذجة المركبات الأروماتية.

الوحدة 3: 5E

نموذج 5E	الموضوعات
يدمج	الدرس 3-1: خصائص الجزيئات و أشكالها البنائية.
	الدرس 3-2: ما هي ميكانيكية التفاعل؟
	الدرس 3-3: البنزين: استخداماته التاريخية، ومركّباته، ومخاطره.
يستكشف	الدَرس 3-1: المجالات الإلكترونية حول ذرة الكربون في مركّب الفورمالدهيد ليست متطابقة. لذلك، فإن من المتوقّع أن تكون قيم زوايا الرابطة قريبة من 120°. إننا نتوقّع أن تكون قيم الزوايا أقلّ أو أكثر بقليل من 120°. توقّع قيمة منطقية للزوايا ثم ابحثْ عن قيم زوايا الرابطة المقاسة لمركّب الفورمالدهيد لتقييم توقّعك.
	الدَرس 3-1: استكشف الطرائق التي يمكن استخدامها لتتذكر معنى -(E) مقابل معنى -(Z). هل يمكنك التوصّل إلى طريقة خاصة بك؟
يشرح	الدَرس 3-1: تخيَّل جزيء الماء الذي له شكل منحنٍ. اشرح كيف يأتي الشكل المنحني من الشكل الهندسي رباعي الأوجه مستخدمًا فكرة الأزواج الحرّة (غير المرتبطة).
	الدَرس 3-1: تشير القياسات التجريبية لقيمة زاوية الرابطة C—S—C إلى أنها 101.1°. وهذا أصغر بكثير من الزاوية المثالية المتوقّعة 109.5°. اشرح سبب هذا الفرق الكبير.
	الدَرس 3-2: باستخدام المعلومات التي نوقشت حول المتشكّلات في الدرس 1، بيّن السبب الذي يجعل النماذج الثلاثة في **الشكل 3-39** تمثّل جزيئات متطابقة وليس متشكّلات فراغية مختلفة.
	الدَرس 3-2: لماذا تُعدُّ مجموعة الكربونيل (-CO-) مجموعة قطبية؟
	الدَرس 3-3: لماذا يُعدّ المركّب 2,2-ثنائي ميثيل فينيل إيثانون. 2,2-dimethylphenyl ethanone مركّباً غير محتمل؟
يتوسّع	الدَرس 3-1: الهرم المزدوج الثلاثي.
	الدَرس 3-1: ثماني الأوجه.
	الدَرس 3-1: أفلاك (sp^3d) المهجَّنة.
	الدَرس 3-1: أفلاك (sp^3d^2) المهجَّنة.
	الدَرس 3-1: الأشكال الهندسية للجزيئات والمتشكّلات.
	الدَرس 3-2: تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية والاستبدال النيوكليوفيلي.
	الدَرس 3-3: نمذجة المركّبات الأروماتية.
يقيّم	مراجعة الدَروس 3-1، و 3-2، و 3-3، وتقييم الوحدة.

الوحدة 3 الكيمياء العضويّة

ملخّص الوحدة

الدرس 3-1 يناقش نظرية التنافر بين أزواج إلكترونات التكافؤ (VSEPR)، وهي نظريّة خوارزمية مهمّة لتوقّع التركيب الهندسي الجزيئي. وسيتعلم الطلاب المقصود بالأفلاك المهجَّنة ويتدرّبون على تحديد الأفلاك المهجَّنة المتكوّنة من خلال دراسة هندسة المجال الإلكتروني. وستتم دراسة الهندسة الجزيئية بالتفصيل، بالإضافة إلى دراسة مفهوم جديد آخر، وهو تصنيف المتشكّلات.

الدرس 3-2 يبحث في ميكانيكية ثلاثة تفاعلات محدّدة: تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات، وتفاعلات الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعات الكربونيل وهاليدات الألكيل والتحلّل المائي لكلوريد الأسيل. وسيتعلم الطلاب كيفية توقّع موقع رابطة ذرة الهيدروجين الجديدة بتطبيق قاعدة ماركوفنيكوف. ويكون التركيز الرئيس للدرس هو فهم ميكانيكيات التفاعل وفي تأثير هذه الميكانيكية في نوع المادة الناتجة.

الدرس 3-3 يصف الشكل البنائي والتسمية وبعض التفاعلات لثمانية أنواع من المركّبات العضويّة الأروماتية. وسيدرس الطلاب أيضًا تفاعلات الاستبدال الإلكتروفيلي مع أكسدة المركّبات الأروماتية.

أخطاء شائعة

- **التهجين هو عملية تغيير الإلكترونات لأفلاكها**، والصحيح هو أنه، في أثناء حدوث عملية التهجين، تعمل الأفلاك الذرية ذات المستويات المختلفة من الطاقة والمختلفة في الشكل على تكوين أفلاك مهجنة متكافئة في طاقتها.

مخطط الوحدة

الدرس	عدد الحصص	مخرجات التّعلم	الكفايات
1-3 الأشكال الهندسيّة للجُزيئات	12	C1203.1 C1203.2	
2-3 ميكانيكيّات التفاعلات العضويّة	7	C1203.3 C1203.4 C1203.5	
3-3 المركّبات العضويّة الأروماتية (الأرينات)	12	C1204.1 C1204.2 C1204.3 C1204.4	

الكفايات

- التفكير الإبداعي والناقد
- الكفاية اللغوية
- التعاون والمشاركة
- حل المشكلات
- الكفاية العددية
- التواصل
- البحث والاستقصاء

المهارات العلمية والكفايات

يُتوقَّع من الطالب أن:

- يُكمل ثلاث خبرات تعلّمية (أنشطة تجارب)
- يستخدم مهارات حلّ المسائل الرياضية، وذلك لحساب عدد الذرّات الموجودة في جزيئات مختلفة.
- يعزّز مهارات الاتصال والتواصل لديه من خلال خصائص البحث ومناقشة أفكار متعددة مع زملائه.
- يستخدم مهارات البحث والاستقصاء، وذلك في سؤال تقييم الوحدة رقم 52.

دليل المعلّم

الدرس 3-1
الأشكال الهندسيَة للجزيئات

مصادر تعلّم الدّرس

الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد كتاب المعلم
1 حصّة	خصائص الجزيئات و أشكالها البنائية.	الصفحتان 84، 85	الصفحة 136
1 حصّة	نظرية (VSEPR) والمجالات الإلكترونية	الصفحتان 86، 87	الصفحة 137
2 حصتان	تهجين الأفلاك	الصفحات 88-91	الصفحتان 138، 139
2 حصتان	الشكل الهندسي الجزيئي	الصفحات 92-95	الصفحتان 140، 141
1 حصّة	أشكال الجزيئات العضويّة	الصفحتان 96، 97	الصفحة 142
2 حصتان	المتشكّلات	الصفحات 98-102	الصفحات 143-145
1 حصّة	النَشاط الضوئي	الصفحتان 103، 104	الصفحة 146
1 حصّة	المتشكّلات الفراغية وترميز E-Z في الألكينات	الصفحتان 105، 106	الصفحة 147
1 حصّة	الأشكال الهندسية للجزيئات والمتشكّلات	صفحة 107	الصفحات 148-152 ورقة النشاط 3-1

الأنشطة	مواد من أجل النّشاط
3-1 الأشكال الهندسيَة للجزيئات والمتشكّلات	مجموعة النماذج الجزيئية

مخرجات التعلّم

C1203.1 يصف شكل المركّبات العضويّة باستخدام 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.

الزّمن المقترح للدّرس

يستغرق تنفيذ هذا الدرس 12 حصة صفية، وتتضمّن حصة واحدة لنشاط الأشكال الهندسية للجزيئات، ومناقشة أفكار.

المعرفة السابقة

يجب أن يكون الطلاب على دراية بالمواضيع الآتية:

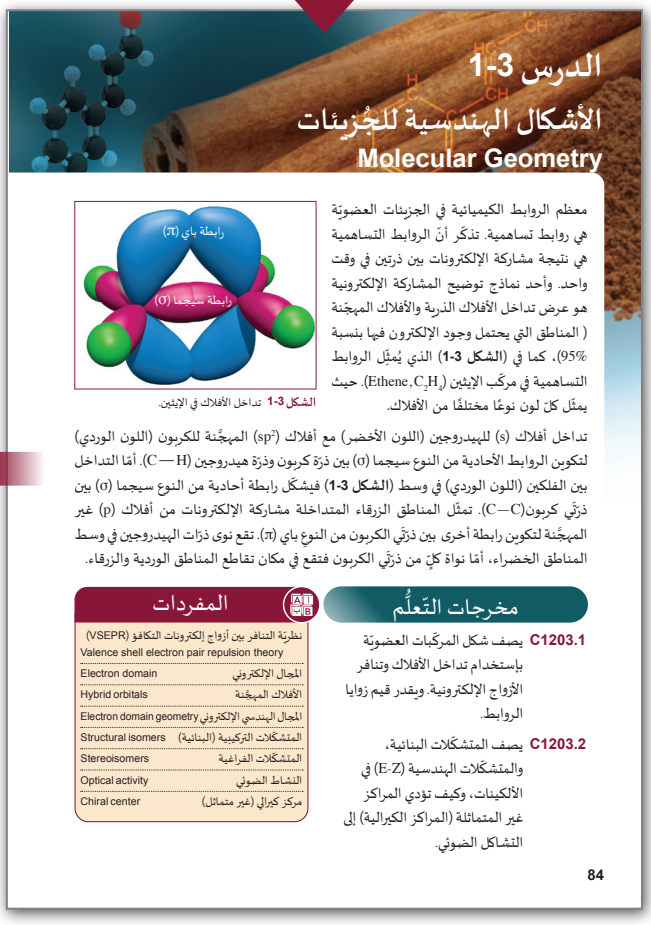
- كيف تُرسم مخطّطات لويس النقطية.
- استخدام النماذج الجزيئية.

المفردات

نظريّة التنافر بين أزواج إلكترونات التكافؤ	(VSEPR) Valence shell electron pair Repulsion
المجال الإلكتروني	Electron domain
الأفلاك المهجَّنة	Hybrid orbitals
المجال الهندسي الإلكتروني	Electron domain geometry
المتشكّلات التركيبية (البنائية)	Structural isomers
المتشكّلات الفراغية	Stereoisomers
النشاط الضوئي	Optical activity
مركز كيرالي (غير متماثل)	Chiral center

افتتاحية الدرس

1. تمّ تصميم نشاط المشاركة هذا لجعل الطلاب يحاولون فهم الاتجاهات الفراغية للذرات الموجودة في الجزيئات. وهذا المفهوم يصعب على كثير من الطلاب فهمه. لذا، فإنّك ستحتاج إلى مجموعة النماذج الجزيئية البسيطة لتنفيذ هذا النشاط.
2. عند تنفيذ هذا النشاط العملي، يصبح الطلاب أكثر قدرة على اختبار مهارات فهمهم لمصطلح "متطابقان":
3. إنها لفكرة جيدة أن تبدأ بمصطلح "متطابقان"، فهو يعني تطابق جسيمين تطابقًا تامًا عند وضع أحدهما فوق الآخر.
4. يستنبط هذا النشاط من الطلاب السؤال الذي يبدأ بـ(ماذا لو)، وغالبًا ما سيسأل الطلاب أسئلة للمعلم.
5. إذا أُتيح وقت كافٍ، شجّع الطلاب على استكشاف أسئلتهم، وذلك بإعداد نماذج أخرى وتصميمها، واختبار فرضياتهم.
6. اطلب إلى الطلاب أن يفكروا بجزيء يكون دائمًا متطابق ولا يمكن تغيير ترتيب الذرات فيه، مثال CH_4، وH_2O.



الدرس 3-1
الأشكال الهندسية للجُزيئات
Molecular Geometry

معظم الروابط الكيميائية في الجزيئات العضويّة هي روابط تساهمية. تذكّر أنّ الروابط التساهمية هي نتيجة مشاركة الإلكترونات بين ذرتين في وقت واحد. وأحد نماذج توضيح المشاركة الإلكترونية هو عرض تداخل الأفلاك الذرية والأفلاك المهجّنة (المناطق التي يحتمل وجود الإلكترون فيها بنسبة 95%)، كما في **(الشكل 3-1)** الذي يُمثّل الروابط التساهمية في مركّب الإيثين (C_2H_4 ،Ethene). حيث يمثّل كلّ لون نوعًا مختلفًا من الأفلاك.

الشكل 3-1 تداخل الأفلاك في الإيثين.

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

مخرجات التّعلُّم

C1203.1 يصف شكل المركّبات العضويّة بإستخدام تداخل الأفلاك وتنافر الأزواج الإلكترونية. ويقدر قيم زوايا الروابط.

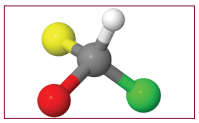
C1203.2 يصف المتشكّلات البنائية، والمتشكّلات الهندسية (E-Z) في الألكينات، وكيف تؤدي المراكز غير المتماثلة (المراكز الكيرالية) إلى النشاط الضوئي.

المفردات

Valence shell electron pair repulsion theory	نظريّة التنافر بين أزواج الإلكترونات التكافؤ (VSEPR)
Electron domain	المجال الإلكتروني
Hybrid orbitals	الأفلاك المهجّنة
Electron domain geometry	المجال الهندسي الإلكتروني
Structural isomers	المتشكّلات التركيبية (البنائية)
Stereoisomers	المتشكّلات الفراغية
Optical activity	النشاط الضوئي
Chiral center	مركز كيرالي (غير متماثل)

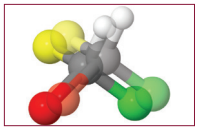
خصائص الجزيئات وأشكالها البنائية

تعتمد خصائص الجزيئات على أشكالها البنائية: كلما كانت الجزيئات أكثر تماثلًا، كانت خصائصها أكثر تشابهًا. لذلك، فإنّ الجزيئات المتشابهة في الأشكال البنائية قد يكون لديها خصائص فيزيائية متطابقة تقريبًا، كدرجة الانصهار، درجة الغليان والكثافة. ومع ذلك، فإنّ بعض الاختلافات الصغيرة تجعل جزيئات متشابهة تسلك سلوكًا مغايرًا في ظروف كيميائية محدّدة.

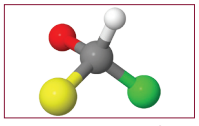

الشكل 3-2 النموذج الاول.

جزيئات متطابقة

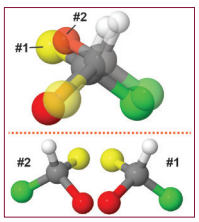
استخدم مجموعة النماذج الجزيئية لتصميم النموذج الظاهر في **(الشكل 3-2)**. النموذج لديه خمس ذرّات مختلفة. كرّر العمل لتصميم نموذج جزيئي مماثل.


الشكل 3-3 جزيئات متطابقة.

بعد ذلك، أمسك كلا النموذجين، بحيث تكون الذرّات المتماثلة في الموقع نفسه. إذا تطابق الجزيء الأوّل مع الجزيء الثاني تطابقًا تامًا، كما يبيّن **(الشكل 3-3)**، فإن هذين الجزيئين متطابقانsuperimposable. الجزيئات المتطابقة هي جزيئات المركّب نفسه. وهذا اختبار للتحقّق ممّا إذا كان الشكلان البنائيّان للجزيئين متطابقين.


الشكل 3-4 النموذج الثاني.

الآن، قم بتبديل أيّ من الذرّتين المتصلتين بالذرّة المركزية. **(الشكل 3-4)** يوضّح أنّ موقع الذرّات الحمراء والصفراء قد تمّ تبديله. يمكن للمرء أن يظنّ أن هذه الجزيئات لا تزال هي نفسها لأنّ الروابط والعناصر متشابهة.



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

وإذا حاولت أن تطابق بين النموذج الأول والنموذج الثاني فستجد أن ذلك مستحيل، لأنّ الروابط، وإن كانت هي نفسها، ولكنّ الموقع الفراغي للذرّات مختلف. إذا كانت الجزيئات غير متطابقة superimposable not، فهي جزيئات مختلفة. لذلك، يجب تسمية هذه الجزيئات بأسماء مختلفة لأنّها قد تتفاعل بشكل مختلف.

الجزيئات رقم 1 و 2 غير متطابقة. ومع ذلك، فإنّ النظر إلى هذه الجزيئات يوهم أنّها متطابقة، كأنّ الجزيء الأول صورة للجزيء الثاني في المرآة . **(الشكل 3-5)**.

نظرية (VSEPR) والمجالات الإلكترونية

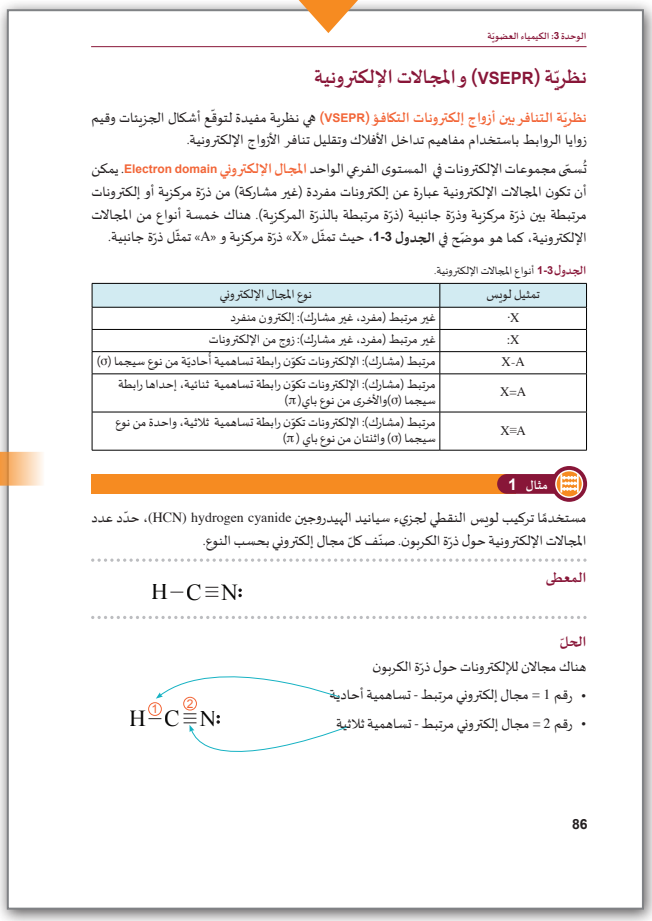
1. لفهم نظرية (VSEPR)، من المهمّ في البداية فهم أنواع المجالات الإلكترونية المختلفة.
2. اطلب إلى الطلاب تحليل الجدول 3-1. بعد ذلك يمكن إعطاء الطلاب أنواعًا مختلفة من مخطّطات لويس النقطية. اطلب إليهم بعد ذلك تحديد المجال الإلكتروني.
3. حلّ المثال 3 على السبّورة، ثم يمكنك بعد ذلك الطلب إلى الطلاب حلّ الأمثلة الأخرى التي أُعطيت لهم.
4. على سبيل المثال، في المثال 1، صنّف المجالات الإلكترونية الموجودة حول ذرة الكربون.

هناك مجالان للإلكترونات حول ذرة الكربون، مجال إلكتروني مرتبط- رابطة تساهمية أحادية، والمجال الإلكتروني الآخر مرتبط - رابطة تساهمية ثلاثية.

5. في المثال 2، صنّف المجالات الإلكترونية الموجودة حول ذرة الكربون.

هناك ٣ مجالات إلكترونية المجال الأول: مرتبط-رابطة تساهمية أحادية، والمجال الثاني غير مرتبط- إلكترون مفرد، والمجال الثالث مرتبط- رابطة تساهمية ثنائية.

6. بعد ذلك، بإمكان الطلاب التدرّب على تسمية المجالات الإلكترونية، وذلك بتصميم نماذجهم الخاصة بهم باستخدام مجموعة النماذج الجزيئية،ثم الطلب من زملائهم تسمية المجالات الإلكترونية.



نظريّة (VSEPR) و المجالات الإلكترونية

نظريّة التنافر بين أزواج إلكترونات التكافؤ (VSEPR) هي نظرية مفيدة لتوقّع أشكال الجزيئات وقيم زوايا الروابط باستخدام مفاهيم تداخل الأفلاك وتقليل تنافر الأزواج الإلكترونية.

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

الجدول 3-1 أنواع المجالات الإلكترونية.

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

مثال 1

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

المعطى

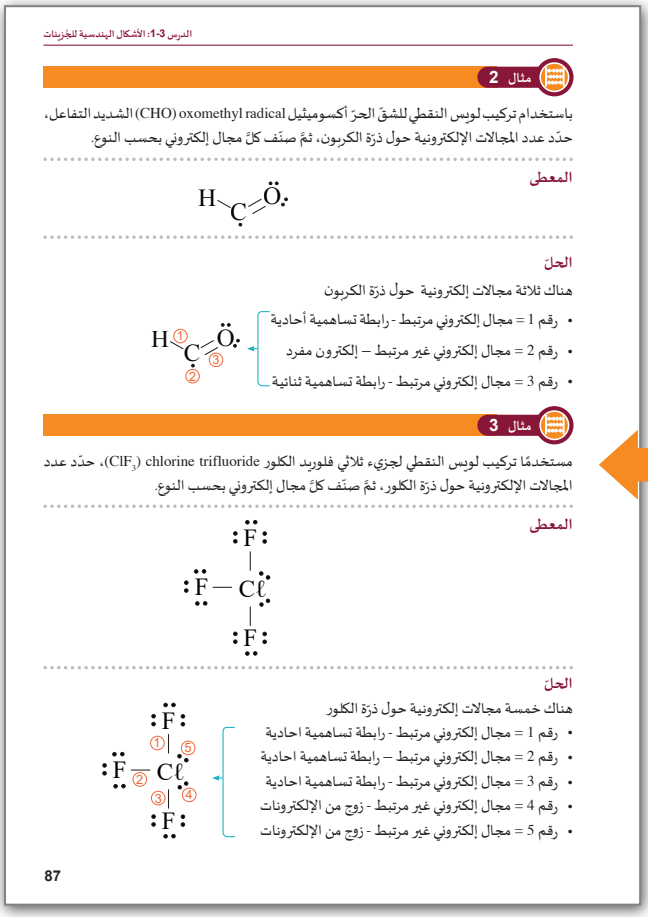
$H-C\equiv N:$

الحلّ

هناك مجالان للإلكترونات حول ذرّة الكربون

- رقم 1 = مجال إلكتروني مرتبط - تساهمية أحادية
- رقم 2 = مجال إلكتروني مرتبط - تساهمية ثلاثية

$H\overset{①}{-}C\overset{②}{\equiv}N:$



مثال 2

باستخدام تركيب لويس النقطي للشقّ الحرّ أكسوميثيل oxomethyl radical (CHO) الشديد التفاعل، حدّد عدد المجالات الإلكترونية حول ذرّة الكربون، ثمّ صنّف كلّ مجال إلكتروني بحسب النوع.

المعطى

$H-\overset{\cdot}{C}=\ddot{O}\cdot$

الحلّ

هناك ثلاثة مجالات إلكترونية حول ذرّة الكربون

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

$H\overset{①}{-}\overset{\cdot}{\underset{②}{C}}=\overset{③}{\ddot{O}}\cdot$

مثال 3

مستخدمًا تركيب لويس النقطي لجزيء ثلاثي فلوريد الكلور chlorine trifluoride (ClF_3)، حدّد عدد المجالات الإلكترونية حول ذرّة الكلور، ثمّ صنّف كلّ مجال إلكتروني بحسب النوع.

المعطى

$:\ddot{F}-\underset{:\ddot{F}:}{\overset{:\ddot{F}:}{Cl}}$

الحلّ

هناك خمسة مجالات إلكترونية حول ذرّة الكلور

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

$:\ddot{F}-\overset{①}{\underset{②}{Cl}}\overset{⑤}{}$ (③ :F: ④)

تهجين الأفلاك

1. لشرح مفهوم "تهجين الأفلاك"، اختر ذرة مثل الكربون، ثم اطلب إلى الطلاب كتابة التوزيع الالكتروني لذرة الكربون هذه:

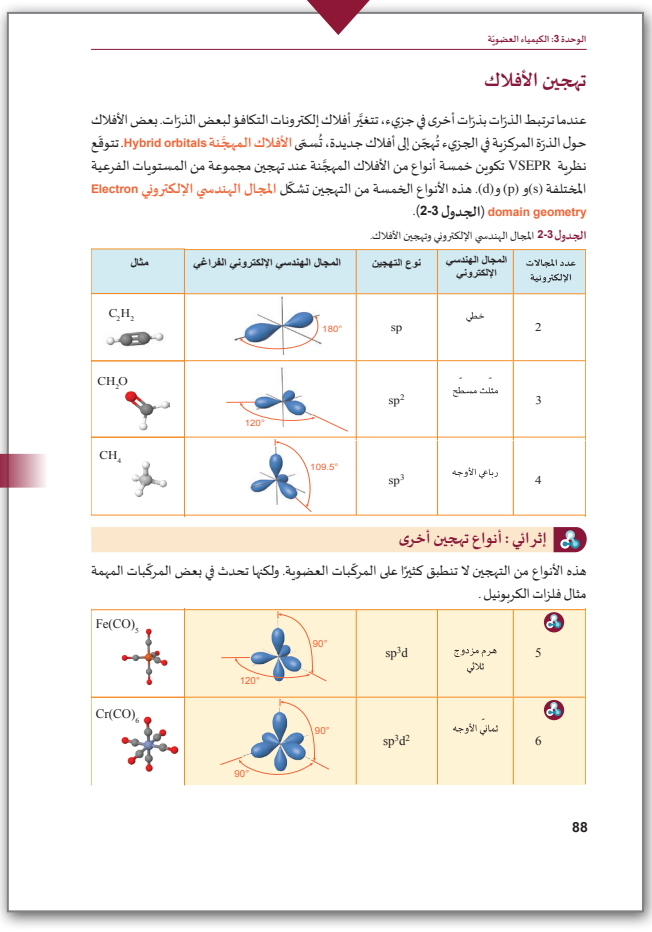
$$1s^2 2s^2 2p^2$$

2. نحن نعلم أن الكربون له أربعة إلكترونات تكافؤ، فعندما يكوّن الكربون روابط تساهمية مع ذرات أخرى، فإن الفلك (s) وأفلاك (p) يتحوّلان إلى أفلاك جديدة ومتحوّلة (أفلاك لها نفس الطاقة). كيف يمكنك معرفة الفلك المهجّن الذي تكوّن؟ انظر إلى عدد المجالات الإلكترونية في الذرة، فإذا كان لديها مجالان إلكترونيان، فإنّ ذلك يعني أن الأفلاك التي تتكوّن هي أفلاك sp المهجنة أما إذا كان لدى الذرة 3 مجالات إلكترونية، فإن ذلك يعني أن الأفلاك التي تتكوّن هي أفلاك sp^2 المهجنة وهكذا.

3. اسمح للطلاب تطبيق هذا على جزيء الإيثاين (C_2H_2). حيث تحتوي كل ذرة كربون على مجالين إلكترونيين، وهذا يعني أن الأفلاك التي تتكوّن هي أفلاك sp.

4. ملاحظة التركيب الجزيئي للإيثيلين (C_2H_4) دليل على أن كل ذرة كربون تحتوي على 3 مجالات إلكترونية، وهذا يعني أن الأفلاك التي تتكوّن هي أفلاك sp^2.

5. إن ذرة الهيدروجين الموجودة في كل مثال كان لديها مجال إلكتروني واحد فقط، ولم تكوّن أيّ فلك مهجّن.



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

تهجين الأفلاك

عندما ترتبط الذرّات بذرّات أخرى في جزيء، تتغيّر أفلاك إلكترونات التكافؤ لبعض الذرّات. بعض الأفلاك حول الذرة المركزية في الجزيء تُهجّن إلى أفلاك جديدة، تُسمّى **الأفلاك المهجّنة Hybrid orbitals**. تتوقّع نظرية VSEPR تكوين خمسة أنواع من الأفلاك المهجّنة عند تهجين مجموعة من المستويات الفرعية المختلفة (s) و (p) و (d). هذه الأنواع الخمسة من التهجين تشكّل **المجال الهندسي الإلكتروني Electron domain geometry** (**الجدول 2-3**).

الجدول 2-3 المجال الهندسي الإلكتروني وتهجين الأفلاك.

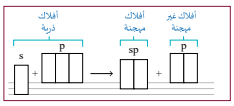
عدد المجالات الالكترونية	المجال الهندسي الإلكتروني	نوع التهجين	المجال الهندسي الإلكتروني الفراغي	مثال
2	خطي	sp	180°	C_2H_2
3	مثلث مسطح	sp^2	120°	CH_2O
4	رباعي الأوجه	sp^3	109.5°	CH_4
5	هرم مزدوج ثلاثي	sp^3d	90° 120°	$Fe(CO)_5$
6	ثماني الأوجه	sp^3d^2	90° 90°	$Cr(CO)_6$

إثراني : أنواع تهجين أخرى

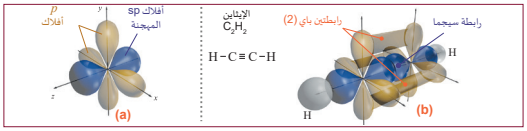
هذه الأنواع من التهجين لا تنطبق كثيرًا على المركّبات العضوية. ولكنها تحدث في بعض المركّبات المهمة مثل فلزات الكربونيل.

أفلاك «sp» المهجّنة

عندما يندمج فلك (s) مع فلك واحد من (p) من الذرّة المركزية، يتكوّن فلكان مهجّنان منفصلان يُسمّى كلٌّ منهما فلك «sp» المهجّن كما في الألكاينات (**الشكل 6-3**).



الشكل 6-3 التهجين sp.



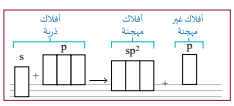
الشكل 7-3 حالة التهجين (sp) لجزيء الإيثاين ذي الشكل الهندسي الخطّي.

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

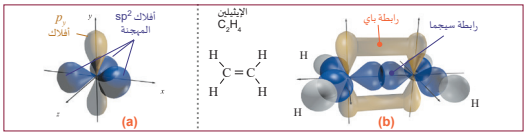
يشغل الفلكان (sp) موقعين حول الذرّة المركزية بزاوية 180° من أجل تقليل تنافر الإلكترونات. هذا المجال الهندسي الإلكتروني يُسمّى «الشكل الهندسي الخطي»، والمثال على ذلك جزيء الإيثاين ethyne (**الشكل 7-3**)

أفلاك "sp^2" المهجّنة

عندما يندمج فلك (s) مع فلكين (p) من الذرّة المركزية، تتكوّن ثلاثة أفلاك مهجّنة منفصلة، يُسمّى كلٌّ منها أفلاك (sp^2) المهجّنة كما يوضّح (**الشكل 8-3**). يمكن أن يؤدي تداخل الفلك (p) المتبقّي غير المهجّن والفلك (p) غير المهجّن من ذرة أخرى إلى تكوين رابطة واحدة من النوع (π) في الرابطة التساهمية الثنائية، كما هي الحال في الألكينات. الأفلاك (sp^2) الثلاثة المهجّنة تتباعد بزاوية 120° حول الذرّة المركزية لتقليل تنافر الإلكترونات. هذا المجال الهندسي الإلكتروني يُسمّى مثلّث مسطّح، والمثال على ذلك جزيء الإيثين (الإيثيلين) ethylene كما يوضّح (**الشكل 9-3**).



الشكل 8-3 التهجين sp^2.



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

أفلاك sp^3 المهجَّنة وأزواج الإلكترونات الحرة

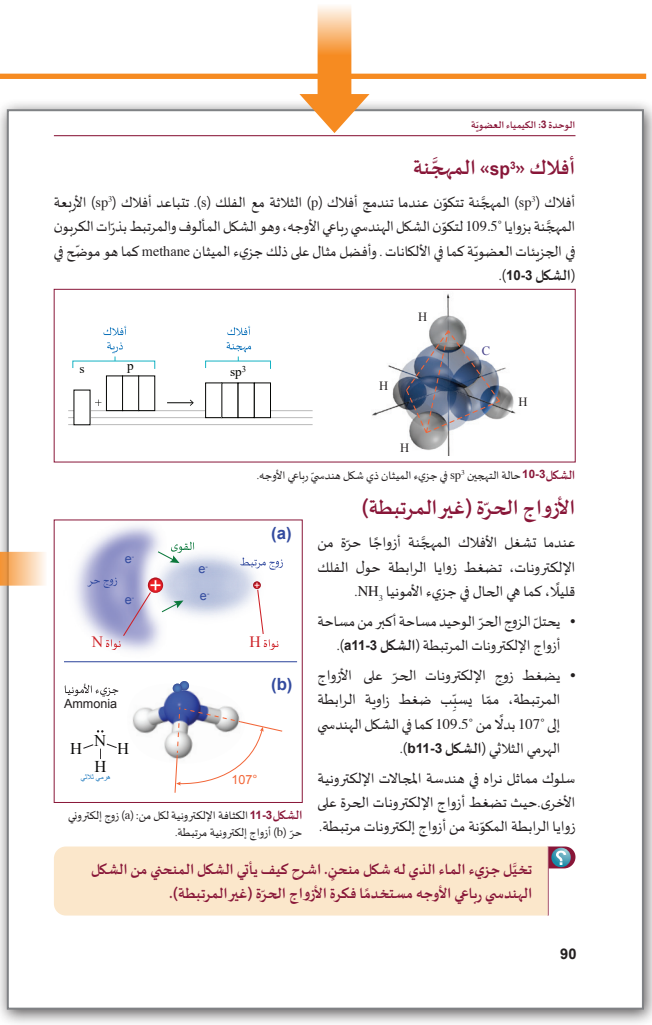
1. بشكل مشابه، ستتكوّن أفلاك (sp^3) المهجّنة عندما توجد 4 مجالات إلكترونية، كما في جزيء الميثان (CH_4).

2. يُعدّ التهجين sp^3d معلومات إثرائية وإضافية لأنواع التهجين المختلفة، والتي يمكن تخطّيها وعدم التطرق إليها، بالرغم من أنها تُعدّ جزءًا من معظم مناهج الكيمياء الدولية؛ إلّا أن هذه المعلومات ليست جزءًا من معايير دولة قطر.

3. ارسم التركيب البنائي للأمونيا، وأبرز زوج الإلكترونات الحرة غير المرتبط. هذا الزوج من الإلكترونات سيُنتج الشكل الهرمي الثلاثي. اطرح على الطلاب سؤال الشرح الذي يتعلّق بشكل جزيء الماء، وبإمكانك عرض صورة لشكل هذا الجزيء أيضًا.

إن زوجي الإلكترونات الحرة غير المرتبطة الموجودة في ذرة الأكسجين يشكّلان زوايا الشكل الهرمي رباعي الأوجه، وهذا يوضّح السبب الذي يجعل قيمة الزاوية في جزيء الماء تساوي 104.5° عوضًا عن 109.5°؛ فأزواج الإلكترونات الحرة غير المرتبطة تشغل مساحة أكبر، وتضغط على زاوية الرابطة.

4. يُعدّ التهجين sp^3d^2 معلومات إثرائية وإضافية لأنواع التهجين المختلفة، والتي يمكن تخطيها وعدم التطرق إليها، بالرغم من أنها تُعدّ جزءًا من معظم مناهج الكيمياء الدولية، إلّا أن هذه المعلومات ليست جزءًا من معايير دولة قطر.


الوحدة 3: الكيمياء العضوية

أفلاك «sp^3» المهجَّنة

أفلاك (sp^3) المهجَّنة تتكوّن عندما تندمج أفلاك (p) الثلاثة مع الفلك (s). تتباعد أفلاك (sp^3) الأربعة المهجَّنة بزوايا 109.5° لتكوّن الشكل الهندسي رباعي الأوجه، وهو الشكل المألوف والمرتبط بذرّات الكربون في الجزيئات العضويّة كما في الألكانات. وأفضل مثال على ذلك جزيء الميثان methane كما هو موضّح في (الشكل 3-10).

الشكل 3-10 حالة التهجين sp^3 في جزيء الميثان ذي شكل هندسيّ رباعي الأوجه.

الأزواج الحرّة (غير المرتبطة)

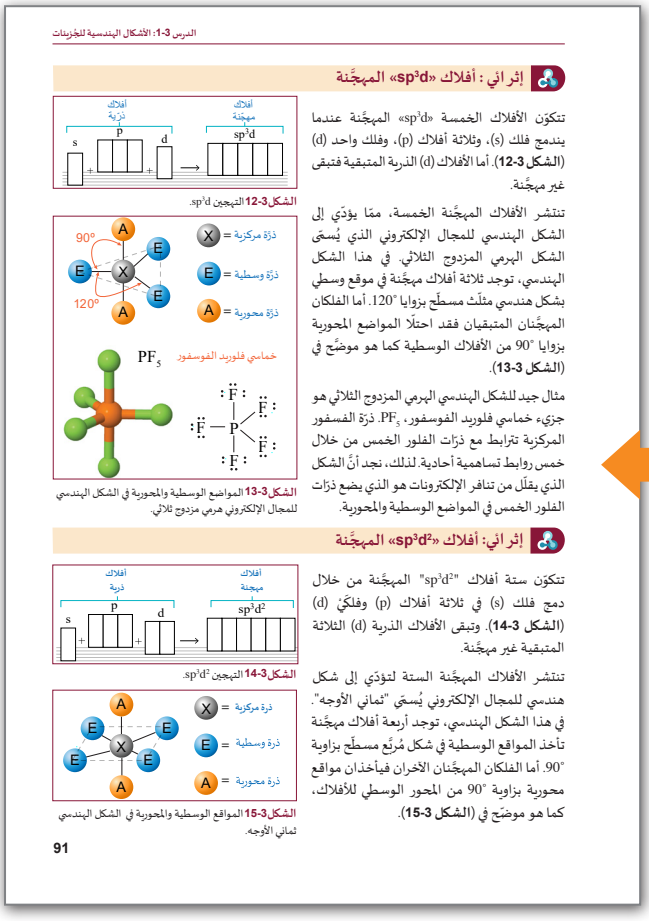
عندما تشغل الأفلاك المهجّنة أزواجًا حرّة من الإلكترونات، تضغط زوايا الرابطة حول الفلك قليلًا، كما هي الحال في جزيء الأمونيا NH_3.

- يحتلّ الزوج الحرّ الوحيد مساحة أكبر من مساحة أزواج الإلكترونات المرتبطة (**الشكل 3-11a**).
- يضغط زوج الإلكترونات الحرّ على الأزواج المرتبطة، ممّا يسبّب ضغط زاوية الرابطة إلى 107° بدلًا من 109.5° كما في الشكل الهندسي الهرمي الثلاثي (**الشكل 3-11b**).

سلوك مماثل نراه في هندسة المجالات الإلكترونية الأخرى. حيث تضغط أزواج الإلكترونات الحرة على زوايا الرابطة المكوّنة من أزواج إلكترونات مرتبطة.

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

تخيّل جزيء الماء الذي له شكل منحنٍ. اشرح كيف يأتي الشكل المنحني من الشكل الهندسي رباعي الأوجه مستخدمًا فكرة الأزواج الحرّة (غير المرتبطة).



إثراء: أفلاك «sp^3d» المهجَّنة

تتكوّن الأفلاك الخمسة «sp^3d» المهجَّنة عندما يندمج فلك (s)، وثلاثة أفلاك (p)، وفلك واحد (d) (**الشكل 3-12**). أما الأفلاك (d) الذرية المتبقية فتبقى غير مهجَّنة.

الشكل 3-12 التهجين sp^3d.

تنتشر الأفلاك المهجَّنة الخمسة، ممّا يؤدّي إلى الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني الذي يُسمّى الشكل الهرمي المزدوج الثلاثي. في هذا الشكل الهندسي، توجد ثلاثة أفلاك مهجَّنة في موقع وسطي بشكل هندسي مثلّث مسطّح بزوايا 120°. أما الفلكان المهجَّنان المتبقيان فقد احتلّا المواضع المحورية بزوايا 90° من الأفلاك الوسطية كما هو موضَّح في (**الشكل 3-13**).

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

مثال جيد للشكل الهندسي الهرمي المزدوج الثلاثي هو جزيء خماسي فلوريد الفوسفور، PF_5. ذرّة الفسفور المركزية تترابط مع ذرّات الفلور الخمس من خلال خمس روابط تساهمية أحادية. لذلك، نجد أنّ الشكل الذي يقلّل من تنافر الإلكترونات هو الذي يضع ذرّات الفلور الخمس في المواضع الوسطية والمحورية.

إثراء: أفلاك «sp^3d^2» المهجَّنة

تتكوّن ستة أفلاك "sp^3d^2" المهجَّنة من خلال دمج فلك (s) في ثلاثة أفلاك (p) وفلكَيْ (d) (**الشكل 3-14**). وتبقى الأفلاك الذرية (d) الثلاثة المتبقية غير مهجَّنة.

الشكل 3-14 التهجين sp^3d^2.

تنتشر الأفلاك المهجَّنة الستة لتؤدّي إلى شكل هندسي للمجال الإلكتروني يُسمّى "ثماني الأوجه". في هذا الشكل الهندسي، توجد أربعة أفلاك مهجَّنة تأخذ المواقع الوسطية في شكل مُربّع مسطّح بزاوية 90°. أما الفلكان المهجَّنان الآخران فيأخذان مواقع محورية بزاوية 90° من المحور الوسطي للأفلاك، كما هو موضّح في (**الشكل 3-15**).

الشكل 3-15 المواقع الوسطية والمحورية في الشكل الهندسي ثماني الأوجه.

الشكل الهندسي الجزيئي

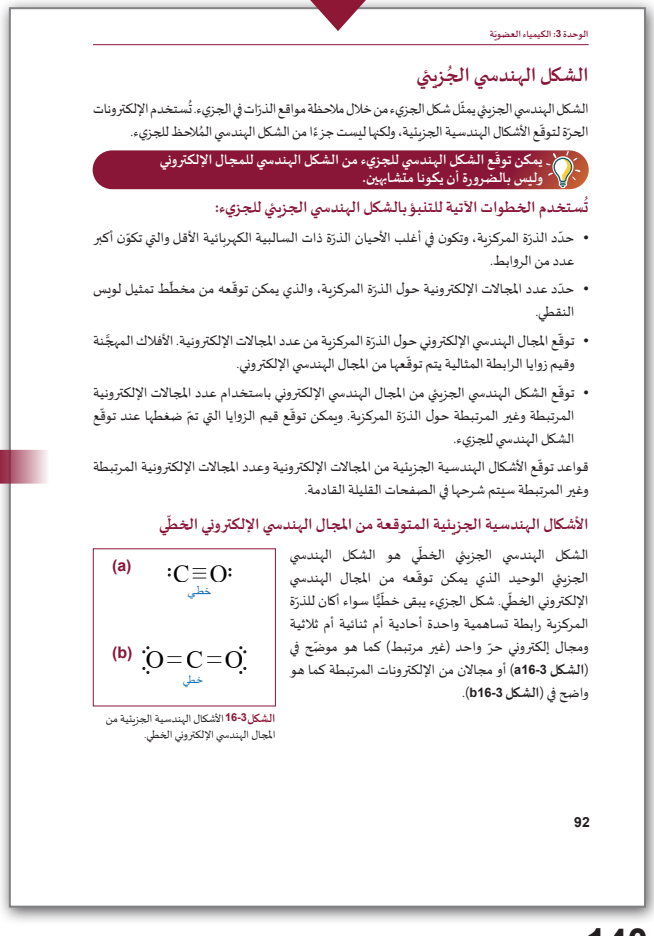
1. يُستخدم الشكل الهندسي لوصف شكل الجزيء، والذي يعرف بالشكل الهندسي الجزيئي.
2. الخطوة الأولى هي تحديد الذرة المركزية، وهي عبارة عن الذرة التي لها أدنى سالبية كهربائية في أغلب الأحيان والتي تكوّن أكبر عدد من الروابط، لنحددّ بعد ذلك عدد المجالات الإلكترونية، كما حدّدناها في الأمثلة السابقة.
3. يجب أن يعلم الطلاب أن وجود مجالين إلكترونين ينتج شكل هندسي خطي وذلك نتيجة لتنافر هذين المجالين الى جانبي الذرة المركزية .

ارسم على السبورة تركيب لويس لجزيء ثاني أكسيد الكربون CO_2 وبيّن الشكل الهندسي الخطي لهذا الجزيء .

4. يعتبر توقُّع الشكل الهندسي من ثلاث مجالات إلكترونية أكثر تعقيداً وذلك لوجود انماط مختلفة من الروابط . ولكن النمط الاساسي هو الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني المثلث المسطح وقيمة الزاوية المثالية فيه 120^o.

ارسم تركيب لويس لجزيء الفورمالدهيد HCHO وبيّن المجالات الالكترونية الثلاث وشكله الهندسي المثلث المسطح .

ثم ارسم تركيب لويس لأيون النتريت nitrite ion NO_2^-. لدى هذا الأيون حول ذرة النيتروجين (الذرة المركزية) ثلاث مجالات إلكترونية، إحداها زوج إلكترونات حر.لذلك الشكل الهندسي لهذا الأيون هو منحني .



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

الشكل الهندسي الجُزيئي

الشكل الهندسي الجزيئي يمثّل شكل الجزيء من خلال ملاحظة مواقع الذرّات في الجزيء. تُستخدم الإلكترونات الحرّة لتوقع الأشكال الهندسية الجزيئية، ولكنها ليست جزءًا من الشكل الهندسي المُلاحظ للجزيء.

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

تُستخدم الخطوات الآتية للتنبؤ بالشكل الهندسي الجزيئي للجزيء:

- حدّد الذرّة المركزية، وتكون في أغلب الأحيان الذرّة ذات السالبية الكهربائية الأقل والتي تكوّن أكبر عدد من الروابط.
- حدّد عدد المجالات الإلكترونية حول الذرّة المركزية، والذي يمكن توقعه من مخطط تمثيل لويس النقطي.
- توقع المجال الهندسي الإلكتروني حول الذرّة المركزية من عدد المجالات الإلكترونية. الأفلاك المهجّنة وقيم زوايا الرابطة المثالية يتم توقعها من المجال الهندسي الإلكتروني.
- توقع الشكل الهندسي الجزيئي من المجال الهندسي الإلكتروني باستخدام عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة وغير المرتبطة حول الذرّة المركزية. ويمكن توقع قيم الزوايا التي تمّ ضغطها عند توقع الشكل الهندسي للجزيء.

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

الأشكال الهندسية الجزيئية المتوقعة من المجال الهندسي الإلكتروني الخطّي

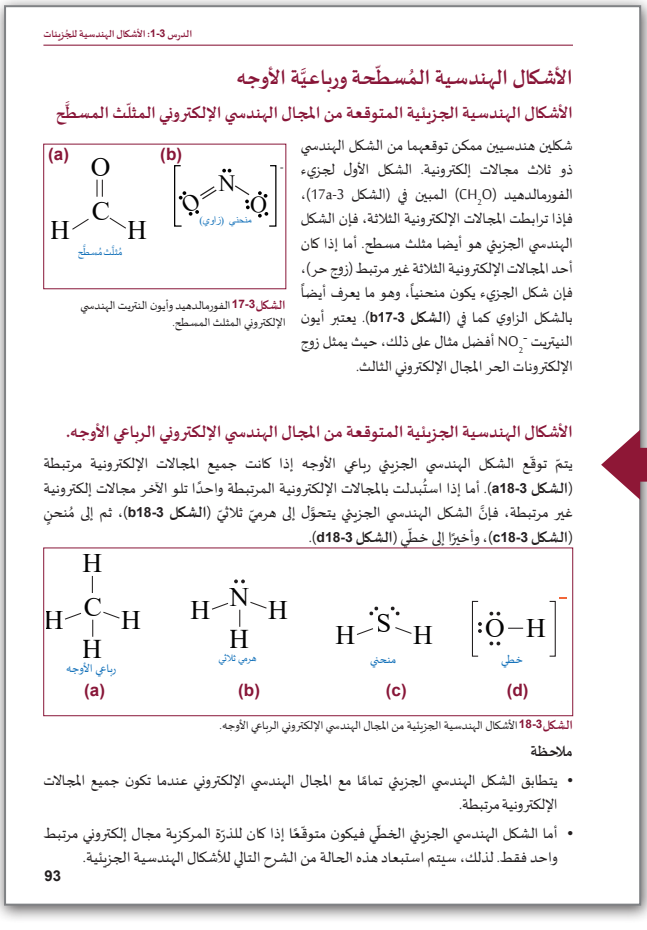
الشكل الهندسي الجزيئي الخطّي هو الشكل الهندسي الجزيئي الوحيد الذي يمكن توقّعه من المجال الهندسي الإلكتروني الخطّي. شكل الجزيء يبقى خطيًّا سواء أكان للذرة المركزية رابطة تساهمية واحدة أحادية أم ثنائية أم ثلاثية ومجال إلكتروني حرّ واحد (غير مرتبط) كما هو موضّح في **(الشكل 3-16a)** أو مجالان من الإلكترونات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

(a) $:C\equiv O:$ خطي

(b) $:O=C=O:$ خطي

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

92



الدرس 3-1: الأشكال الهندسية للجُزيئات

الأشكال الهندسية المُسطّحة ورباعيّة الأوجه

الأشكال الهندسية الجزيئية المتوقعة من المجال الهندسي الإلكتروني المثلّث المسطّح

شكلين هندسيين ممكن توقعهما من الشكل الهندسي ذو ثلاث مجالات إلكترونية. الشكل الأول لجزيء الفورمالدهيد (CH_2O) المبين في (الشكل 3-17a)، فإذا ترابطت المجالات الإلكترونية الثلاثة، فإن الشكل الهندسي الجزيئي هو أيضا مثلث مسطح. أما إذا كان أحد المجالات الإلكترونية الثلاثة غير مرتبط (زوج حر)، فإن شكل الجزيء يكون منحنياً، وهو ما يعرف أيضاً بالشكل الزاوي كما في **(الشكل 3-17b)**. يعتبر أيون النيتريت NO_2^- أفضل مثال على ذلك، حيث يمثل زوج الإلكترونات الحر المجال الإلكتروني الثالث.

(a) مثلث مُسطّح (b) منحني (زاوي)

الشكل 3-17 الفورمالدهيد وأيون النتريت الهندسي الإلكتروني المثلث المسطح.

الأشكال الهندسية الجزيئية المتوقعة من المجال الهندسي الإلكتروني الرباعي الأوجه.

يتمّ توقّع الشكل الهندسي الجزيئي رباعي الأوجه إذا كانت جميع المجالات الإلكترونية مرتبطة **(الشكل 3-18a)**. أما إذا استُبدلت بالمجالات الإلكترونية المرتبطة واحدًا تلو الآخر مجالات إلكترونية غير مرتبطة، فإنَّ الشكل الهندسي الجزيئي يتحوّل إلى هرميّ ثلاثيّ **(الشكل 3-18b)**، ثم إلى مُنحنٍ **(الشكل 3-18c)**، وأخيرًا إلى خطّي **(الشكل 3-18d)**.

رباعي الأوجه (a) هرمي ثلاثي (b) منحني (c) خطي (d)

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

ملاحظة

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

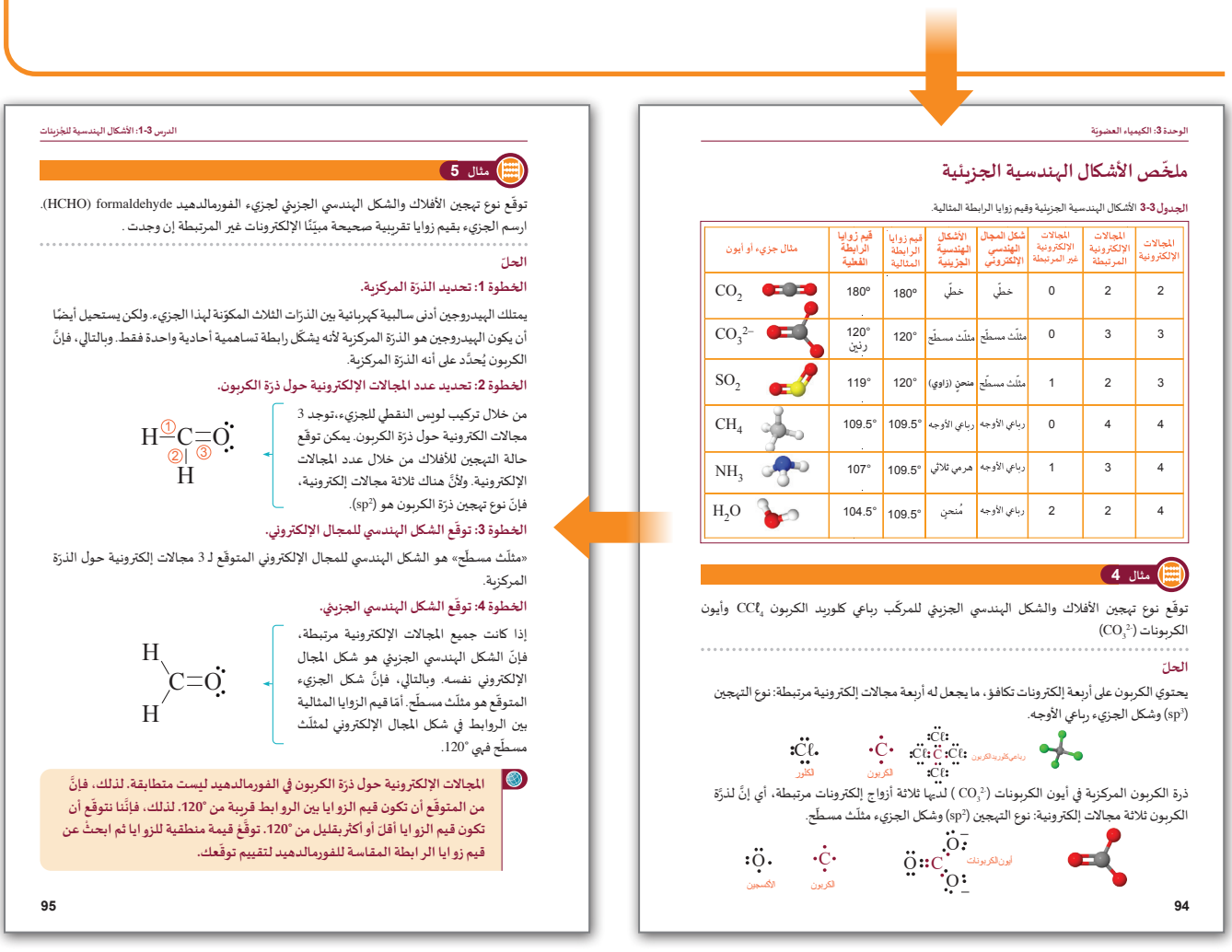
93

ملخّص الأشكال الهندسية الجزيئية

1. راجع **الجدول 3-3**، وحلّ المثالين 4، و5 على السبّورة.

2. اطرح على الطلاب سؤال الاستكشاف: المجالات الإلكترونية حول ذرة الكربون في مركّب الفورمالدهيد ليست متطابقة. لذلك، فإن من المتوقّع أن تكون قيم زوايا الرابطة قريبة من 120°. إننا نتوقّع أن تكون قيم الزوايا أقلّ أو أكثر بقليل من 120°. توقّع قيمة منطقية للزوايا ثم ابحثْ عن قيم زوايا الرابطة المقاسة لمركّب الفورمالدهيد لتقييم توقّعك.

ذرة الأكسجين أكبر من ذرة الهيدروجين. وتمتلك ذرة الأكسجين زوجين من الإلكترونات غير المرتبطين وهما غير متمركزين؛ لهذا السبب، تتناقص الكثافة الإلكترونية (تزداد المساحة بنسبة احتمال مقدارها 95%). لذا، فإنّ من المتوقّع أن تضغط أزواج الإلكترونات الحرّة التابعة لذرّة الأكسجين على زاوية الرابطة التي تقع بين ذرات الهيدروجين. ومن المتوقّع أيضًا أن تكون قيمة زاوية الرابطة H-C-H أقلّ بقليل من القيمة 120°، ومن المتوقّع أيضًا أن تكون قيمة زاويتي الرابطتين H-C=O أكبر بقليل من القيمة 120°. أجرِ بحثًا في الوثائق العلمية التي تعدّد قيم زوايا الرابطة H-C-H المقيسة والمحسوبة التي تكون قيمها ما بين 115° و117°، وقيم زوايا الرابطة H-C=O المقيسة والمحسوبة التي تكون قيمها ما بين 121° و123°.



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

ملخّص الأشكال الهندسية الجزيئية

الجدول 3-3 الأشكال الهندسية الجزيئية وقيم زوايا الرابطة المثالية.

مثال جزيء أو أيون	قيم زوايا الرابطة الفعلية	قيم زوايا الرابطة المثالية	الأشكال الهندسية الجزيئية	شكل المجال الهندسي الإلكتروني	المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	المجالات الإلكترونية المرتبطة	المجالات الإلكترونية
CO_2	180°	180°	خطّي	خطّي	0	2	2
CO_3^{2-}	120° رنين	120°	مثلّث مسطّح	مثلّث مسطّح	0	3	3
SO_2	119°	120°	منحنٍ (زاوي)	مثلّث مسطّح	1	2	3
CH_4	109.5°	109.5°	رباعي الأوجه	رباعي الأوجه	0	4	4
NH_3	107°	109.5°	هرمي ثلاثي	رباعي الأوجه	1	3	4
H_2O	104.5°	109.5°	مُنحنٍ	رباعي الأوجه	2	2	4

مثال 4

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

الحلّ

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

رباعي كلوريد الكربون

كلور

كربون

ذرة الكربون المركزية في أيون الكربونات (CO_3^{2-}) لديها ثلاثة أزواج إلكترونات مرتبطة، أي إنّ لذرّة الكربون ثلاثة مجالات إلكترونية: نوع التهجين (sp^2) وشكل الجزيء مثلّث مسطّح.

أيون الكربونات

الأكسجين

الكربون

مثال 5

توقّع نوع تهجين الأفلاك والشكل الهندسي الجزيئي لجزيء الفورمالدهيد formaldehyde (HCHO). ارسم الجزيء بقيم زوايا تقريبية صحيحة مبيّنًا الإلكترونات غير المرتبطة إن وجدت.

الحلّ

الخطوة 1: تحديد الذرّة المركزية.

يمتلك الهيدروجين أدنى سالبية كهربائية بين الذرّات الثلاث المكوّنة لهذا الجزيء. ولكن يستحيل أيضًا أن يكون الهيدروجين هو الذرّة المركزية لأنه يشكّل رابطة تساهمية أحادية فقط. وبالتالي، فإنّ الكربون يُحدّد على أنه الذرّة المركزية.

الخطوة 2: تحديد عدد المجالات الإلكترونية حول ذرّة الكربون.

من خلال تركيب لويس النقطي للجزيء، توجد 3 مجالات الكترونية حول ذرّة الكربون. يمكن توقّع حالة التهجين للأفلاك من خلال عدد المجالات الإلكترونية. ولأنّ هناك ثلاثة مجالات إلكترونية، فإنّ نوع تهجين ذرّة الكربون هو (sp^2).

الخطوة 3: توقّع الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني.

«مثلّث مسطّح» هو الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني المتوقّع لـ 3 مجالات إلكترونية حول الذرّة المركزية.

الخطوة 4: توقّع الشكل الهندسي الجزيئي.

إذا كانت جميع المجالات الإلكترونية مرتبطة، فإنّ الشكل الهندسي الجزيئي هو شكل المجال الإلكتروني نفسه. وبالتالي، فإنّ شكل الجزيء المتوقّع هو مثلّث مسطّح. أمّا قيم الزوايا المثالية بين الروابط في شكل المجال الإلكتروني لمثلّث مسطّح فهي 120°.

المجالات الإلكترونية حول ذرة الكربون في الفورمالدهيد ليست متطابقة. لذلك، فإنّ من المتوقّع أن تكون قيم الزوايا بين الروابط قريبة من 120°. لذلك، فإنّنا نتوقّع أن تكون قيم الزوايا أقلّ أو أكثر بقليل من 120°. توقّع قيمة منطقية للزوايا ثم ابحثْ عن قيم زوايا الرابطة المقاسة للفورمالدهيد لتقييم توقّعك.

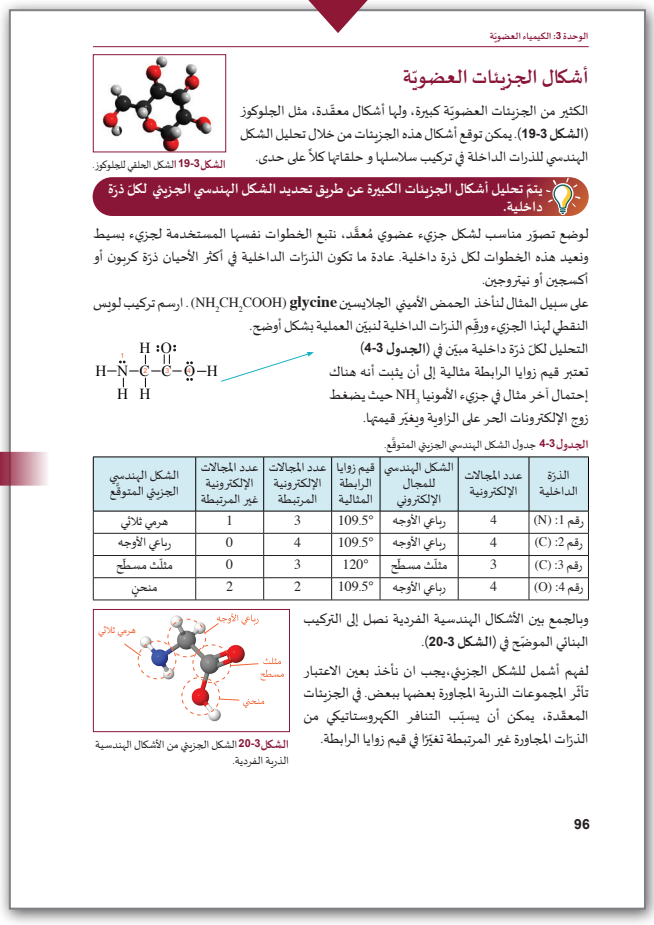
أشكال الجزيئات العضويّة

1. إن عملية توقّع الشكل الهندسي للجزيئات الكبيرة ليست سهلة، فالشكل الهندسي الجزيئي لكل ذرة داخلية يحتاج إلى دراسة مستفيضة.

2. ولتوقّع الشكل الهندسي الجزيئي للجزيئات العضويّة، نستخدم **الجدول 3-4**. اطلب إلى الطلاب رسم 3 جداول فارغة لتعبئتها، وقدّم لهم خطوات توقّع الشكل الهندسي الجزيئي بتعبئة الجدول للحمض الأميني الجلايسين. إن الطلاب يعرفون بالفعل كيفية توقّع تركيب لويس النقطي للحمض الأميني الجلايسين، وإضافة المجال الإلكتروني لكل ذرة نبحث في تركيبها البنائي، ثم تعبئته. ما الشكل الهندسي، وما القيم المثالية لزوايا الرابطة؟ دوّن عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة، وغير المرتبطة، وتوقّع في النهاية الشكل الهندسي الجزيئي لكل جزيء.

3. اطرح سؤال الشرح والمتعلّق بقيم زوايا الرابطة C-S-C.

تكون أزواج الإلكترونات حرة وغير متمركزة حول ذرة الكبريت. وقد زاد هذا من مساحة الكثافة الإلكترونية التي يمكنها أن تتنافر مع الإلكترونات الموجودة في المجالات الإلكترونية المرتبطة القريبة منها، وبالتالي تضغط على زوايا الرابطة. ففي تركيب لويس النقطي المعطى للثيازول، يمتلك الكبريت زوجين من الإلكترونات الحرة غير المرتبطة، بحيث يعمل كلا هذين الزوجين من الإلكترونات الحرة على الضغط على زاوية الرابطة C-S-C بشكل ملحوظ.



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

أشكال الجزيئات العضويّة

الكثير من الجزيئات العضويّة كبيرة، ولها أشكال معقّدة، مثل الجلوكوز (**الشكل 3-19**). يمكن توقع أشكال هذه الجزيئات من خلال تحليل الشكل الهندسي للذرات الداخلة في تركيب سلاسلها و حلقاتها كلاً على حدى.

الشكل 3-19 الشكل الحلقي للجلوكوز.

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

لوضع تصوّر مناسب لشكل جزيء عضوي مُعقّد، نتبع الخطوات نفسها المستخدمة لجزيء بسيط. ونعيد 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 **glycine** (NH_2CH_2COOH). ارسم تركيب لويس النقطي لهذا الجزيء وركّز على الذرات الداخلية لنبيّن العملية بشكل أوضح.

التحليل لكلّ ذرة داخلية مبيّن في (**الجدول 3-4**)

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 3-4 جدول الشكل الهندسي الجزيئي المتوقّع.

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

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

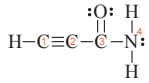
لفهم أشمل للشكل الجزيئي، يجب ان نأخذ بعين الاعتبار تأثر المجموعات الذرية المجاورة بعضها ببعض. في الجزيئات المعقّدة، يمكن أن يسبّب التنافر الكهروستاتيكي من الذرات المجاورة غير المرتبطة تغيّرًا في قيم زوايا الرابطة.

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

أشكال الجزيئات العضويّة - أمثلة

مثال 6

الأشكال الهندسية الجزيئية للذرّات الأربع الداخلية للبروبان أميد propynamide ($CHCCONH_2$).

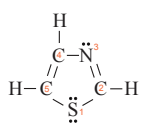


الحلّ التحليل والأشكال الهندسية في الجدول أدناه.

الذرة الداخلية	عدد المجالات الإلكترونية	الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني	قيم زوايا الرابطة المثالية	عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة	عدد المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	الشكل الهندسي الجزيئي المتوقّع
رقم 1: (C)	2	خطّي	180°	2	0	خطّي
رقم 2: (C)	2	خطّي	180°	2	0	خطّي
رقم 3: (C)	3	مثلث مسطّح	120°	3	0	مثلّث مسطّح
رقم 4: (N)	4	رباعي الأوجه	109.5°	3	1	هرمي ثلاثي

مثال 7

التركيب المكوّن لجزيء الفيتامين B1 (الثيامين thiamine) هو الثيازول thiazole. تتكوّن حلقته من إلكترونات غير متمركزة. أحد التراكيب الرنينية للثيازول مبيّن إلى اليسار. استخدم هذا التركيب لتتوقّع الشكل الهندسي الجزيئي لذرّات الحلقة الداخلية الخمس.



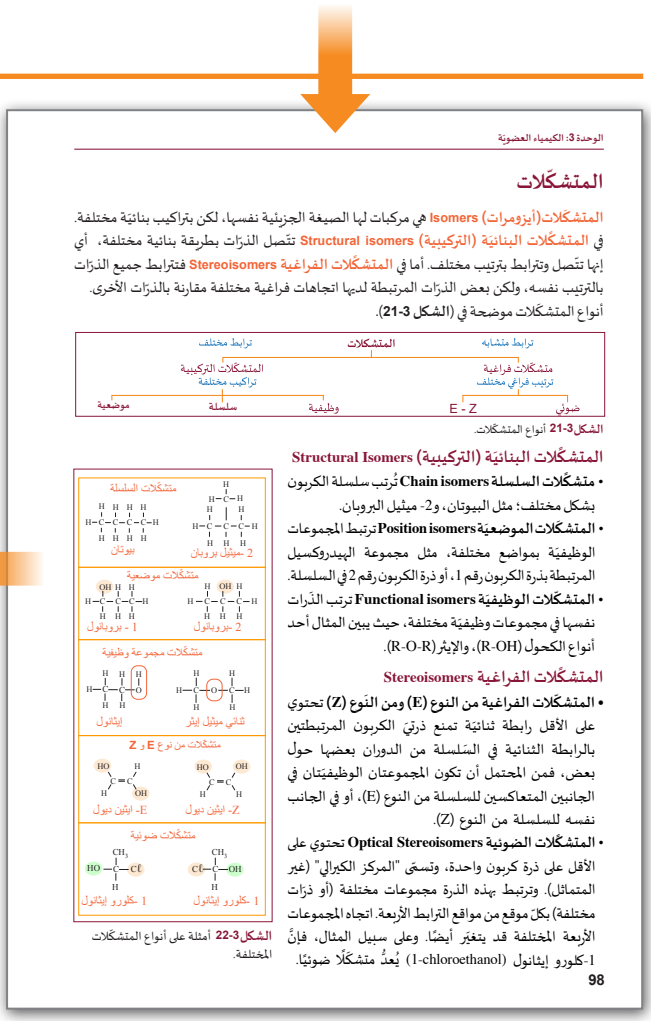
الحلّ التحليل والأشكال الهندسية في الجدول أدناه.

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

تشير القياسات التجريبية لقيمة زاوية الرابطة C—S—C إلى أنها 101.1°. وهذا أصغر بكثير من الزاوية المثالية المتوقّعة 109.5°. اشرح سبب هذا الفرق الكبير.

المتشكّلات ومتشكّلات السلسلة للألكانات

1. وضح للطلاب أن المتشكلات (الأيزومرات) هي مركبات عضوية لها نفس الصيغة الجزيئية وتختلف في التراكيب البنائية. ووجهم إلى دراسة الشكل (3-21) للتعرف على أنواع المتشكلات.
2. أصبحنا على دراية بالمتشكّلات البنائية، وهي مركّبات لها الصيغة الجزيئية نفسها، إلّا أن تراكيبها البنائية تكون مختلفة.
3. المتشكّلات الوظيفية عبارة عن نوع من أنواع المتشكّلات البنائية. في المتشكّلات الوظيفية، تكون المجموعة الوظيفية للمتشكّل مختلفة، إلّا أن صيغتها الجزيئية تبقى كما هي.
4. ما لم يتعلمه الطلاب هو أن المتشكّلات البنائية يمكن تقسيمها إلى 3 فئات، هي: متشكّلات السلسلة، والمتشكّلات الموضعية، والمتشكّلات الوظيفية ويمكن للمعلم توجيه الطلاب لدراسة الشكل 3-22.
5. تم إعطاء المثال الأول على متشكّلات السلسلة للألكانات لمراجعة بعض الأفكار الرئيسة. وكون هذا المثال مألوفًا لدى الطلاب، شجّعهم على تكوين متشكّلات لألكانات مختلفة، وذكّرهم بأن السلسلة قد تبدو مثل المتشكل أحيانًا، ولكنها ليست كذلك، فذرة الكربون الأخيرة تصنع شكلًا يشبه حرف L، والذي يمكن تقويمه وجعله مستقيمًا



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

المتشكّلات

المتشكّلات (أيزومرات) Isomers هي مركبات لها الصيغة الجزيئية نفسها، لكن بتراكيب بنائية مختلفة. في **المتشكّلات البنائية (التركيبية) Structural isomers** تتّصل الذرّات بطريقة بنائية مختلفة، أي إنها تتّصل وتترابط بترتيب مختلف. أما في **المتشكّلات الفراغية Stereoisomers** فتترابط جميع الذرّات بالترتيب نفسه، ولكن بعض الذرّات المرتبطة لديها اتجاهات فراغية مختلفة مقارنة بالذرّات الأخرى.
أنواع المتشكّلات موضحة في (**الشكل 3-21**).

الشكل 3-21 أنواع المتشكّلات.

المتشكّلات البنائية (التركيبية) Structural Isomers

- **متشكّلات السلسلة Chain isomers** تُرتب سلسلة الكربون بشكل مختلف: مثل البيوتان، و2- ميثيل البروبان.
- **المتشكّلات الموضعية Position isomers** ترتبط المجموعات الوظيفية بمواضع مختلفة، مثل مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة الكربون رقم 1، أو ذرة الكربون رقم 2 في السلسلة.
- **المتشكّلات الوظيفية Functional isomers** ترتب الذرات نفسها في مجموعات وظيفية مختلفة، حيث يبين المثال أحد أنواع الكحول (R-OH)، والإيثر (R-O-R).

المتشكّلات الفراغية Stereoisomers

- **المتشكّلات الفراغية من النوع (E) ومن النوع (Z)** تحتوي على الأقل رابطة ثنائية تمنع دورَيْ الكربون المرتبطتين بالرابطة الثنائية في السلسلة من الدوران بعضها حول بعض، فمن المحتمل أن تكون المجموعتان الوظيفيتان في الجانبين المتعاكسين للسلسلة من النوع (E)، أو في الجانب نفسه للسلسلة من النوع (Z).
- **المتشكّلات الضوئية Optical Stereoisomers** تحتوي على الأقل على ذرة كربون واحدة، وتسمّى "المركز الكيرالي" (غير المتماثل). وترتبط بهذه الذرة مجموعات مختلفة (أو ذرات مختلفة) بكل موقع من مواقع الروابط الأربعة. اتجاه المجموعات الأربعة المختلفة قد يتغيّر أيضًا. وعلى سبيل المثال، فإنّ 1-كلورو إيثانول (1-chloroethanol) يُعدُّ متشكّلًا ضوئيًا.

الشكل 3-22 أمثلة على أنواع المتشكّلات المختلفة.

متشكّلات السلسلة الكربونية للألكانات

تمّت تسمية الألكانات وفقًا لأطول سلسلة كربون، وذلك استنادًا إلى البادئات الموجودة في قواعد IUPAC. إنّ معظم الألكانات التي تحتوي على أكثر من أربعة ذرات كربون لها سلسلة جانبيّة، وهي تُعدّ تفرّعًا من السلسلة الرئيسة: سلسلة الكربون الجانبية التي تتكوّن من ذرة كربون واحدة ($-CH_3$) تسمّى مجموعة "ميثيل". حيث تميّل (-ميث) ذرة كربون واحدة، والخاتمة (-يل) تعني أنها متفرّعة من السلسلة الرئيسة، أما سلسلة الكربون الجانبية التي تتكوّن من ذرتي كربون في مجموعة "إيثيل"، وسلسلة الكربون الجانبية التي تتكوّن من ثلاث ذرات كربون هي مجموعة "بروبيل".

الجدول 3-5 بادئات تسمية الألكانات والسلاسل الجانبية

البادئة بحسب IUPAC	عدد ذرّات الكربون
ميث	1
إيث	2
بروب	3
بيوت	4
بينت	5
هيكس	6
هيبت	7
أوكت	8
نون	9
ديك	10

السلاسل الجانبية (مجموعات -R): ميثيل، إيثيل، بروبيل، بيوتيل، بنتيل

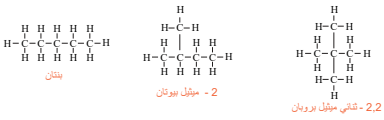
- عُدّ أطول سلسلة كربون؛ وذلك لتحديد البادئة، ثم أضف الخاتمة (ان) لتسمية المركّب.
- عيّن أرقام ذرّات الكربون، بحيث تأخذ السلسلة المتفرعة الأولى أقل رقم محتمل.
- اذكر أسماء السلاسل الجانبيّة وفق ترتيب أبجديّ إنجليزي مع أرقامها.
- استخدم البادئات مثل (ثنائي)، و (ثلاثي) للسلاسل الجانبية المتعددة من النوع نفسه.

مثال 8

ارسم وسمّ متشكلات السلسلة الكربونية الثلاثة للمركب ذي الصيغة الجزيئية C_5H_{12}

الحل:

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



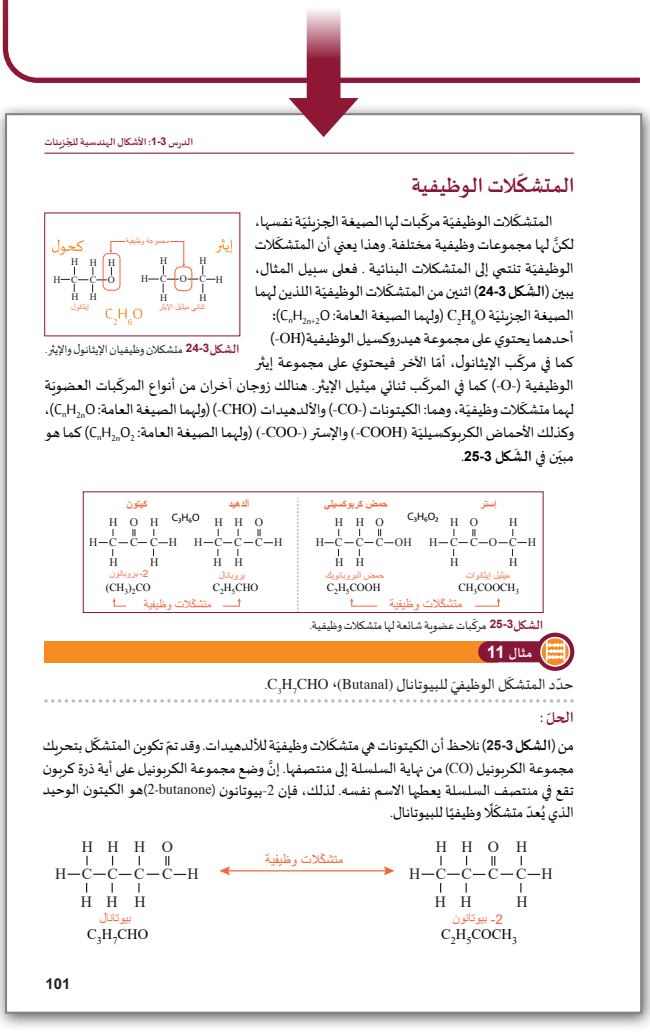
بنتان — 2 - ميثيل بيوتان — 2,2 - ثنائي ميثيل بروبان

المتشكّلات الموضعية

1. المتشكّلات الموضعية عبارة عن نوع من أنواع المتشكّلات البنائية، حيث يكون موضع المجموعة الوظيفية في هذه المتشكّلات مختلفًا.
2. على سبيل المثال: في المركّب 1-كلورو بروبان، تكون المجموعة الوظيفية فيه عبارة عن ذرة الكلور، ويتمّ وضعها على ذرة الكربون الأولى. أما في المركّب 2-كلورو بروبان، فترتبط ذرة الكلور بذرة الكربون الثانية، إلا أن الصيغة الجزيئية لكلا المركّبين هي نفسها.
3. شجّع الطلاب لتعيين جزيء عضوي يحتوي على مجموعة وظيفية، ثم اطلب إليهم رسم المتشكل الموضعي لهذا الجزيء.

المتشكّلات الوظيفية

1. تمتلك المتشكّلات الوظيفية مجموعات وظيفية مختلفة. لذا، فهي تنتمي إلى فئات مختلفة من المركّبات العضويّة.
2. باستخدام مثال الإيثانول، وثنائي ميثيل الإيثر، اشرح للطلاب كيف تكون المجموعة الوظيفية الموجودة في كل واحد من هذين المركّبين مختلفة عن المركّب الآخر، وهما عبارة عن نوعين مختلفين من المركّبات (كحول، وإيثر). ومع ذلك، فإن الصيغة الجزيئية لهما هي نفسها.
3. حلّ المثال 11 على السبّورة، واطلب إلى الطلاب اكتشاف أمثلة جديدة على المتشكّلات الوظيفية.



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

المتشكّلات الموضعية

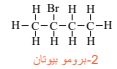
المتشكّلات الموضعية مركّبات لها الصيغة الجزيئيّة نفسها، ولكنَّ المجموعات الوظيفيّة فيها تكون في مواضع مختلفة. وعلى سبيل المثال، 1-كلورو بروبان (1-chloropropane) فيه ذرة كلور واحدة مرتبطة بذرة الكربون رقم 1 في السلسلة (**الشكل 3-23a**)، أمّا 2-كلورو بروبان (2-chloropropane) تكون فيه ذرة كلور واحدة مرتبطة بذرة الكربون رقم 2 في السلسلة (**الشكل 3-23b**).

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

مثال 9

ارسم وسمِّ متشكّلان موضعيّان للمركب ذي الصيغة الجزيئية C_4H_9Br

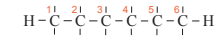
الحل: المتشكّلان للمركب ذي الصيغة الجزيئية C_4H_9Br مبيّنان إلى اليسار.



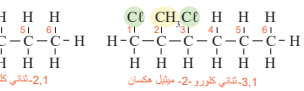
مثال 10

ارسم المخطّطات البنائية لكل من: 2,1- ثنائي كلورو-3-ميثيل هكسان (1,2-dichloro -3- methylhexane) و3,1-ثنائي كلورو-2-ميثيل هكسان (1,3-dichloro-2 -methylhexane) ثم حدد نوع التشاكل بين المركّبين.

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



المركّب "2,1- ثنائي كلورو-3-ميثيل هكسان" يعني أن ذرتي الكلور مرتبطتان بذرتي الكربون رقم 1، ورقم 2، و"3 -ميثيل" تعني أن مجموعة الميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 3.



المركّب "3,1- ثنائي كلورو-2-ميثيل هكسان" يعني أن ذرتي الكلور مرتبطتان بذرتي الكربون رقم 1، ورقم 3، و"2 -ميثيل" تعني أن مجموعة الميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 2. هذان المركّبان متشكّلان موضعيّان.

الدرس 3-1: الأشكال الهندسية للجُزيئات

المتشكّلات الوظيفية

المتشكّلات الوظيفيّة مركّبات لها الصيغة الجزيئيّة نفسها، لكنَّ لها مجموعات وظيفية مختلفة. وهذا يعني أن المتشكّلات الوظيفيّة تنتمي إلى المتشكّلات البنائية . فعلى سبيل المثال، يبين (**الشكل 3-24**) اثنين من المتشكّلات الوظيفيّة اللذين لهما الصيغة الجزيئيّة C_2H_6O (ولهما الصيغة العامة: $C_nH_{2n+2}O$):

أحدهما يحتوي على مجموعة هيدروكسيل الوظيفية(-OH) كما في مركّب الإيثانول، أمّا الآخر فيحتوي على مجموعة إيثر الوظيفية (-O-) كما في المركّب ثنائي ميثيل الإيثر. هنالك زوجان آخران من أنواع المركّبات العضويّة لهما متشكّلات وظيفيّة، وهما: الكيتونات (-CO-) والألدهيدات (-CHO) (ولهما الصيغة العامة: $C_nH_{2n}O$)، وكذلك الأحماض الكربوكسيليّة (-COOH) والإستر (-COO-) (ولهما الصيغة العامة: $C_nH_{2n}O_2$) كما هو مبيّن في **الشكل 3-25**.

الشكل 3-24 متشكلان وظيفيان الإيثانول والإيثر.

الشكل 3-25 مركّبات عضوية شائعة لها متشكلات وظيفية.

مثال 11

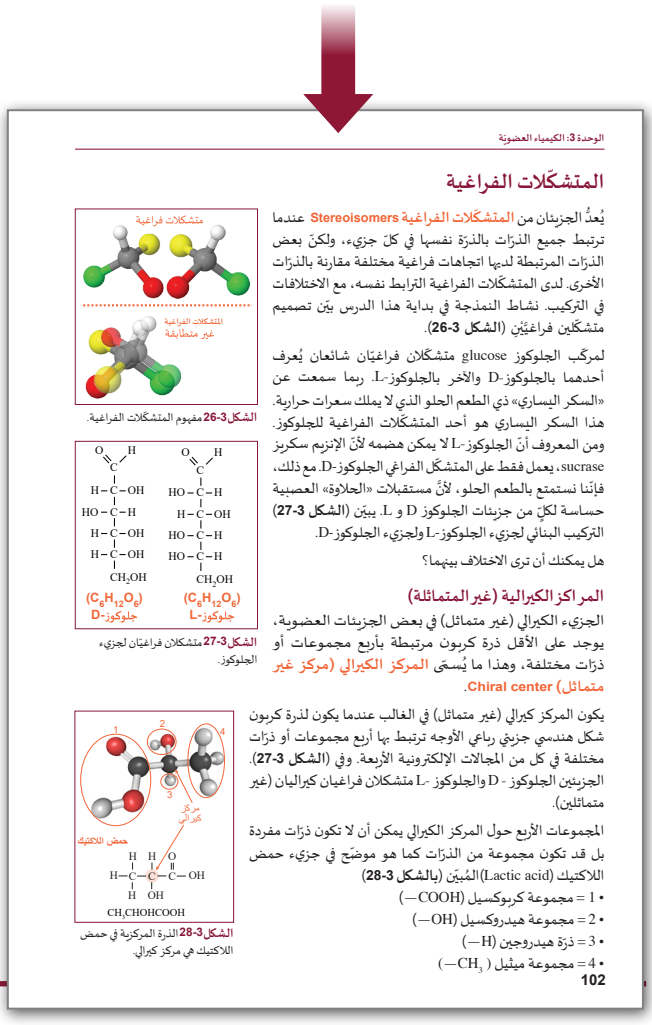
حدّد المتشكّل الوظيفيّ للبيوتانال (Butanal)، C_3H_7CHO.

الحل:

من (**الشكل 3-25**) نلاحظ أن الكيتونات هي متشكّلات وظيفيّة للألدهيدات. وقد تمّ تكوين المتشكّل بتحريك مجموعة الكربونيل (CO) من نهاية السلسلة إلى منتصفها. إنّ وضع مجموعة الكربونيل على أية ذرة كربون تقع في منتصف السلسلة يعطيها الاسم نفسه. لذلك، فإن 2-بيوتانون (2-butanone)هو الكيتون الوحيد الذي يُعدّ متشكّلًا وظيفيًا للبيوتانال.

المتشكّلات الفراغية

1. للمتشكّلات الفراغية نفس الصيغة الجزيئية والصيغة البنائية. والاختلاف بينها يتمثّل في أن بعض الذرات لها اتجاهات فراغية مختلفة. لذا، ذكّر الطلاب بالمتشكّلات الفراغية التي كوّنوها في نشاط الاندماج في افتتاحية الدرس.
2. هنالك نوعان من المتشكّلات الفراغية، متشكّلات فراغية لها ترميز "E وZ"، ومتشكّلات فراغية ضوئية. وسيتم توضيحهما بالتفصيل في الصفحات القادمة.
3. يمتلك الجزيء العضوي مركزًا كيراليًا (غير متماثل)؛ وذلك عندما تكون ذرة الكربون فيه مرتبطة بأربع مجموعات مختلفة. ولشرح هذا، اعرض جزيء الميثان على اللوح في البداية، وهو جزيء لا يمتلك مركزًا غير متماثل؛ لأن ذرة الكربون فيه مرتبطة بالمجموعة نفسها، وهي ذرات الهيدروجين. وهذا يعني أيضًا أن سلسلة المركّبات الهيدروكربونية الطويلة ليس لديها مراكز كيرالية (غير متماثلة) أيضًا ما دامت ذرات الكربون في هذه السلسلة ترتبط بذرتي هيدروجين على الأقلّ.
4. بعد ذلك، اعرض للطلاب **الشكل 3-26**، وضع عنوانًا للمجموعات الوظيفية جميعها، شارحًا ما يجعل كلًا من هذه المجموعات مختلفة عن الأخرى.


الوحدة 3: الكيمياء العضوية

المتشكّلات الفراغية

يُعدُّ الجزيئان من المتشكّلات الفراغية Stereoisomers عندما ترتبط جميع الذرّات بالذرّة نفسها في كلّ جزيء، ولكنّ بعض الذرّات المرتبطة لديها اتجاهات فراغية مختلفة مقارنة بالذرّات الأخرى. لدى المتشكّلات الفراغية الترابط نفسه، مع الاختلافات في التركيب. نشاط النمذجة في بداية هذا الدرس بيّن تصميم متشكّلين فراغيَّيْن (الشكل 3-26).

متشكلات فراغية
المتشكلات الفراغية غير متطابقة

الشكل 3-26 مفهوم المتشكّلات الفراغية.

لمركّب الجلوكوز glucose متشكّلان فراغيّان شائعان يُعرف أحدهما بالجلوكوز-D والآخر بالجلوكوز-L. ربما سمعت عن «السكر اليساري» ذي الطعم الحلو الذي لا يملك سعرات حرارية. هذا السكر اليساري هو أحد المتشكّلات الفراغية للجلوكوز. ومن المعروف أنّ الجلوكوز-L لا يمكن هضمه لأنّ الإنزيم سكريز sucrase، يعمل فقط على المتشكّل الفراغي الجلوكوز-D. مع ذلك، فإنّنا نستمتع بالطعم الحلو، لأنّ مستقبلات «الحلاوة» العصبية حساسة لكلٍّ من جزيئات الجلوكوز D و L. يبيّن (الشكل 3-27) التركيب البنائي لجزيء الجلوكوز-L ولجزيء الجلوكوز-D.

هل يمكنك أن ترى الاختلاف بينهما؟

جلوكوز-D ($C_6H_{12}O_6$) جلوكوز-L ($C_6H_{12}O_6$)

الشكل 3-27 متشكلان فراغيّان لجزيء الجلوكوز.

المراكز الكيرالية (غير المتماثلة)

الجزيء الكيرالي (غير متماثل) في بعض الجزيئات العضوية، يوجد على الأقل ذرة كربون مرتبطة بأربع مجموعات أو ذرّات مختلفة، وهذا ما يُسمّى المركز الكيرالي (مركز غير متماثل) Chiral center.

يكون المركز كيرالي (غير متماثل) في الغالب عندما يكون لذرة كربون شكل هندسي جزيئي رباعي الأوجه ترتبط بها أربع مجموعات أو ذرّات مختلفة في كل من المجالات الإلكترونية الأربعة. وفي (الشكل 3-27). الجزيئين الجلوكوز - D والجلوكوز - L متشكلان فراغيان كيراليان (غير متماثلين).

مركز كيرالي
حمض اللاكتيك

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

المجموعات الأربع حول المركز الكيرالي يمكن أن لا تكون ذرّات مفردة بل قد تكون مجموعة من الذرّات كما هو موضّح في جزيء حمض اللاكتيك (Lactic acid) المُبيّن (بالشكل 3-28)

- 1 = مجموعة كربوكسيل ($-COOH$)
- 2 = مجموعة هيدروكسيل ($-OH$)
- 3 = ذرّة هيدروجين ($-H$)
- 4 = مجموعة ميثيل ($-CH_3$)

102

5. يمكن أن يكون في الجزيء أكثر من مركز كيرالي واحد (غير متماثل). لذا، استخدم **الشكل 3-27** والمثال 13 واشرح كيف يكون هذا ممكنًا.
6. يمكنك استخدام مجموعة النموذج الجزيئي لتصميم نماذج لجزيئات مختلفة، واسأل الطلاب: هل يوجد في هذه الجزيئات مراكز كيرالية (غير متماثلة)؟

النشاط الضوئي

1. يعرف الطلاب موضوع استقطاب الضوء الذي درسوه في منهج الفيزياء، وهم يحتاجون إلى التذكير به ليفهموا ما يعنيه استقطاب الضوء.
2. اشرح عمل المستقطِب. الطلاب يعرفون المستقطِبات التي درسوها في منهج الفيزياء، ولكنّ بإمكانك استخدام عملية تذكير بسيطة به. اعرض بشكل توضيحي عمل المستقطِب، وذلك باستخدام جهاز عرض ضوئي، ووضع مستقطِب (ورقة شفافة تستقطب الضوء) أمام هذا الجهاز.
3. بإمكان الطلاب إمساك المستقطبات (أوراق صغيرة شفّافة تستقطب الضوء)، ووضعها أمام أعينهم، ثم إدارتها. سيشاهد الطلاب أن الضوء الذي يأتي من المستقطِب (الورقة الشفافة) سيتم اعتراض طريقه، ولن يتمكن من المرور عبرها عندما تتم إدارتها بزاوية مقدارها 90°.
4. الآن، ضع أنبوبًا مليئًا بمحلول الجلوكوز أمام جهاز العرض الضوئي، والذي لا يزال لديه مرشح مستقطِب موضوع أمامه. وبالنظر من خلال المستقطِبات الخاصة بهم، سيشاهد الطلاب الاتجاهات التي يجب على المستقطب أن يعترض طريق الضوء عندها، فمحلول الجلوكوز سيظهر بأنه يتوهّج. وذلك لأن هذا المحلول يغيّر اتجاه مسار الضوء، ولن تستمر طويلًا عملية اعتراض طريق هذا الضوء من قبل المحلول.
5. ناقش الطلاب في حل الأمثلة 12 ، 13 ، 14 لاستنتاج المراكز الكيرالية

الدرس 3-1: الأشكال الهندسية للجُزيئات

النشاط الضوئي

يشير **النشاط الضوئي Optical activity** على قابلية مركّب على شكل سائل أو محلول أو بلّوري على إدارة مستوى الضوء المستقطب المستوي. وتكون المركّبات نشطة ضوئيًا نتيجة لتأثر الضوء المستقطب بالسحب الإلكترونية الموجودة حول المركز الكيرالي (غير المتماثل)، ولهذا السبب، فإنّ الجزيئات التي تمتلك مركزًا كيراليًا مثل الجلوكوز، وحمض اللاكتيك تُعدّ متشكّلات ضوئية Optical isomers.

الضوء المستقطب

الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية. يشتمل الضوء العادي على الكثير من الموجات التي يكون فيها مستوى الاهتزاز لكل موجة مختلفًا بشكل عشوائي. ونسمّي الضوء العادي "الضوء غير المستقطَب"، لأننا نجد في المتوسّط خليطًا متساويًا من الاستقطابات جميعها.

الشكل 3-29 عملية استقطاب الضوء.

يتمّ استقطاب الضوء عن طريق مروره عبر مستقطِب، فالمستقطِب يمرّر فقط الموجات التي تهتزّ في مستوى منفرد. ويبيّن **(الشكل 3-29)** الضوء الذي تمّ استقطابه بشكل عمودي. بمجرد أن يتمّ استقطاب الضوء في مستوًى عمودي، فإنّ هذا الضوء لن يتمكّن من المرور عبر المستقطِب الذي استدار بزاوية مقدارها 90°، وذلك لتمرير المستوى الأفقي فقط.

الشكل 3-30 مبدأ عمل البولاريمتر.

مقياس الاستقطاب (البولاريمتر)

يُستخدم البولاريمتر polarimeter لتحديد نوعية المركّب أكان نشطًا ضوئيًا أم لا؟ يقارن البولاريمتر استقطاب الضوء قبل مروره عبر عيّنة وبعد المرور، فالمركّبات النشطة ضوئيًا تغيّر من اتجاه الاستقطاب **(الشكل 3-30)**.

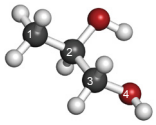
الشكل 3-31 البولاريمتر المستخدم في المختبرات الكيميائية.

ويقيس البولاريمتر التغيّر في زاوية الاستقطاب، كما يخبرنا أنّ عملية إدارة الضوء المستقطب قد تمّت باتجاه حركة عقارب الساعة أو بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وذلك بالنسبة إلى الضوء المستقطَب المستوي الساقط.

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

مثال 12

الجزيئات النشطة ضوئيًا تُسمّى جزيئات كيرالية (لديها مركز غير متماثل). هل بروبيلين جليكول (propylene glycol $(C_3H_6(OH)_2$) هو جزيء كيرالي؟ إذا كان الأمر كذلك، فأية ذرّة كربون هي مركز كيرالي؟

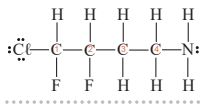


الحل بروبيلين جليكول هو جزيء كيرالي، وبالتالي، فهو نشط ضوئيًا. ذرّة الكربون رقم 2 هي مركز كيرالي لأنها مرتبطة بأربع مجموعات مختلفة.

المجموعات المرتبطة بالكربون رقم 2
- $-CH_2OH$
- $HO-$
- $H-$
- $-CH_3$ =

مثال 13

يمكن أن تحتوي الجزيئات على أكثر من مركز كيرالي (مراكز غير متماثلة). أيٌّ من ذرّات الكربون الموضّحة في الجزيء الموجود إلى اليسار هي مراكز كيرالية؟



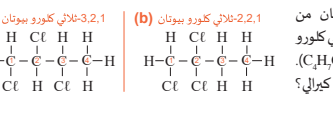
الحل ذرّتا الكربون رقم 1 و رقم 2 هما مركزان كيراليّان لأنّ لكل منهما 4 مجموعات مختلفة مرتبطة بها.

المجموعات المرتبطة بالكربون رقم1 :
- $H-$
- $Cℓ-$
- $F-$
- $-C_3H_3FNH_2$

المجموعات المرتبطة بالكربون رقم2
- $H-$
- $-CHCℓF$
- $F-$
- $-C_2H_4NH_2$

مثال 14

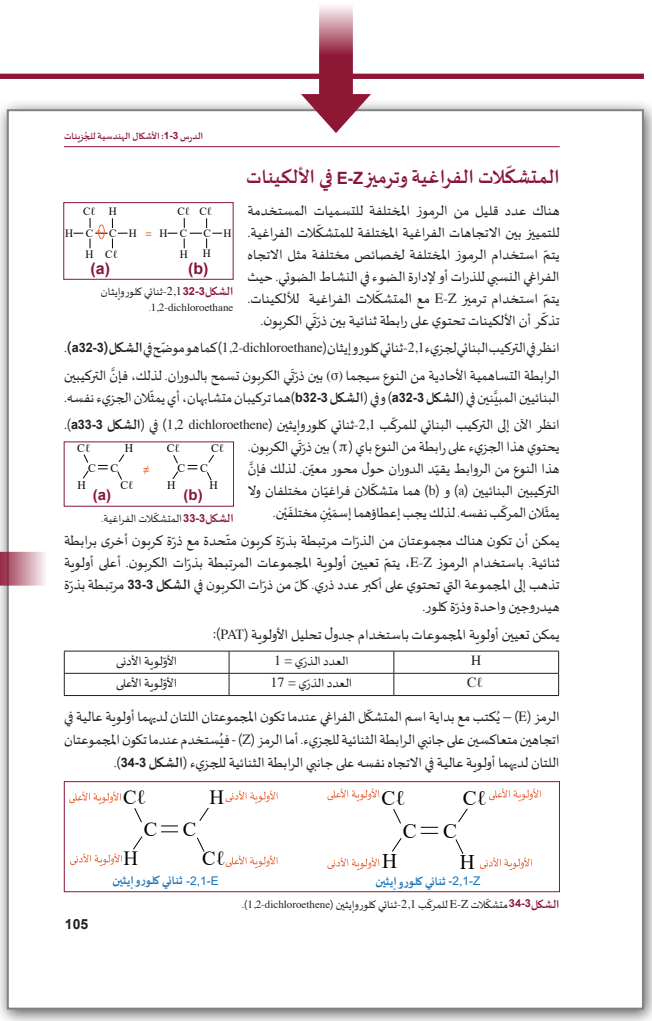
الجزيء (a) و الجزيء (b) نوعان من المتشكّلات التركيبية للمركّب ثلاثي كلورو البيوتان، ($C_4H_7Cℓ_3$ trichlorobutane). أيٌّ من هذين الجزيئين هو جزيء كيرالي؟ اشرح اختيارك.



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

المتشكّلات الفراغية وترميز E-Z في الألكينات

1. ذكّر الطلاب بأن الألكينات عبارة عن مركّبات هيدروكربونية تحتوي على رابطة ثنائية.
2. باستخدام مجموعة النماذج الجزيئية، صمّم نموذجًا لجزيء 2,1-ثنائي كلورو الإيثان، كما هو مبين في الشكل 3-32، وبيّن للطلاب أن الرابطة C-C يمكنها أن تدور.
3. الآن، صمّم نموذجًا للمركّب 2,1-ثنائي كلورو الإيثين. الرابطة الثنائية هنا لا يمكنها أن تدور. ولهذا السبب يُعدّ هذا المركّب متشكّلًا فراغيًا. لن نقول إنّ عملية الربط هنا مختلفة، لأن كل ذرة كربون تكون مرتبطة بذرة كلور واحدة، وذرة هيدروجين واحدة في كلا الجزيئين.
4. ولتسمية هذين الجزيئين، نحدّد أولًا الأولويات في التسمية، ثم نحلّل جانبَيْ ذرة الكربون الموجودَيْن في هذين الجزيئين. الترميز E يمثّل اتجاهين متعاكسين للمجموعتين ذات الأولوية الأعلى الموجودتين على جانبي الرابطة الثنائية، ويمثّل الترميز Z الاتجاه نفسه للمجموعتين ذات الأولوية الأعلى الموجودتين على جانبي الرابطة الثنائية.
5. **يستكشف:** هنالك طريقة واحدة توضّح أن "E" تمثّل التضاد، أي إنَّ المجموعتين تقعان على جانبين متعاكسين للجزيء. يمكن للطلاب إجراء بحث عن طرق أخرى لتذكر ذلك، ثم اطلب إليهم أن يأتوا بطرقهم الخاصة بهم لتذكر أي من الترميزين.



الدرس 3-1: الأشكال الهندسية للجزيئات

المتشكّلات الفراغية وترميز E-Z في الألكينات

هناك عدد قليل من الرموز المختلفة للتسميات المستخدمة للتمييز بين الاتجاهات الفراغية المختلفة للمتشكّلات الفراغية. يتمّ استخدام الرموز المختلفة لخصائص مختلفة مثل الاتجاه الفراغي النسبي للذرات أو لإدارة الضوء في النشاط الضوئي. حيث يتمّ استخدام ترميز E-Z مع المتشكّلات الفراغية للألكينات. تذكّر أن الألكينات تحتوي على رابطة ثنائية بين ذرّتي الكربون.

(a) (b)

الشكل 3-32 | 2,1-ثنائي كلوروإيثان 1,2-dichloroethane

انظر في التركيب البنائي لجزيء 2,1-ثنائي كلوروإيثان (1,2-dichloroethane) كما هو موضّح في الشكل (3-32a). الرابطة التساهمية الأحادية من النوع سيجما (σ) بين ذرّتي الكربون تسمح بالدوران. لذلك، فإنّ التركيبين البنائيين المبيَّنين في (الشكل 3-32a) وفي (الشكل 3-32b) هما تركيبان متشابهان، أي يمثّلان الجزيء نفسه.

انظر الآن إلى التركيب البنائي للمركّب 2,1-ثنائي كلوروإيثين (1,2 dichloroethene) في (الشكل 3-33a). يحتوي هذا الجزيء على رابطة من النوع باي (π) بين ذرّتي الكربون. هذا النوع من الروابط يقيّد الدوران حول محور معيّن. لذلك فإنّ التركيبين البنائيين (a) و (b) هما متشكّلان فراغيّان مختلفان ولا يمثّلان المركّب نفسه. لذلك يجب إعطاؤهما إسمَيْن مختلفَيْن.

(a) (b)

الشكل 3-33 | المتشكّلات الفراغية

يمكن أن تكون هناك مجموعتان من الذرّات مرتبطة بذرة كربون متّحدة مع ذرة كربون أخرى برابطة ثنائية. باستخدام الرموز E-Z، يتمّ تعيين أولوية المجموعات المرتبطة بذرّات الكربون. أعلى أولوية تذهب إلى المجموعة التي تحتوي على أكبر عدد ذري. كلّ من ذرّات الكربون في **الشكل 3-33** مرتبطة بذرة هيدروجين واحدة وذرّة كلور.

يمكن تعيين أولوية المجموعات باستخدام جدول تحليل الأولوية (PAT):

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

الرمز (E) – يُكتب مع بداية اسم المتشكّل الفراغي عندما تكون المجموعتان اللتان لديهما أولوية عالية في اتجاهين متعاكسين 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**).

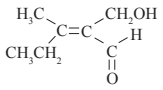
الشكل 3-34 | متشكّلات E-Z للمركب 2,1-ثنائي كلوروإيثين (1,2-dichloroethene).

105

الوحدة 3: الكيمياء العضوية

مثال 15

هل الجزيء الآتي هو المتشكّل الفراغي (E) أو (Z)؟



الحلّ

الجزيء يحتوي على رابطة ثنائية بين ذرّتَيْ كربون. كلّ ذرّة كربون من هاتين الذرّتَين مرتبطة بمجموعات مختلفة. لذلك، ولتحديد نوع المتشكّل الفراغي، علينا أن نأخذ بالاعتبار المجموعات المرتبطة مباشرة بكل من الذرّتَيْن. ترتبط ذرّة الكربون إلى اليسار بمجموعتين: الأولى هي مجموعة $-CH_3$ التي تحتوي على ذرّة كربون واحدة مرتبطة مباشرة بثلاث ذرّات هيدروجين، والمجموعة الثانية هي مجموعة $-CH_2CH_3$. وترتبط ذرّة الكربون إلى اليمين بذرّة كربون هي نفسها مرتبطة مباشرة بذرّتَيْ هيدروجين وذرّة كربون أخرى. رتّب الذرّات في قائمة بحسب الأولوية في جدول تحليل الأولوية. المجموعة التي لديها أول ذرّة مرتبطة بذرّة الكربون إلى اليسار ولها أعلى عدد ذري يكون لها الأولويّة الأعلى. وبالتالي، فإنّ هذه المجموعة لديها الأولويّة الأعلى.

$-CH_3$	H H H	العدد الذري = 1	الأولويّة الأدنى
$-CH_2CH_3$	C H H	العدد الذري = 6	الأولويّة الأعلى

أما ذرّة الكربون إلى اليمين فلديها أيضًا مجموعتان من ذرّات كربون مرتبطة بها بشكل مباشر. مرة أخرى انظر إلى الذرّات المرتبطة مباشرة بهذه الذرّة.

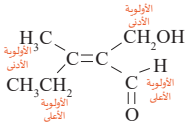
يحتوي الكربون الموجود في مجموعة $-CH_2OH$ على ذرّتَيْ هيدروجين وذرّة أكسجين واحدة مرتبطة به مباشرةً. يحتوي الكربون الموجود في مجموعة $-CHO$ على ذرّة هيدروجين واحدة وذرّة أكسجين واحدة مرتبطة به مباشرة برابطة ثنائية. تحسب الذرّات المرتبطة برابطة ثنائية مرتين. رتّب تلك الذرّات في قائمة وفقًا للأولوية في جدول تحليل الأولوية (PAT).

$-CH_2OH$	O H H	العدد الذري = 1	الأولويّة الأدنى
$-CHO$	O O H	العدد الذري = 8	الأولويّة الأعلى

الذرّة الأولى في كلّ قائمة هي الأكسجين، لذلك، انتقل إلى الذرّة الثانية في كلّ قائمة.

الأكسجين لديه أولويّة أعلى من الهيدروجين. لذلك، يتمّ إعطاء مجموعة $-CHO$ الأولويّة الأعلى.

المجموعتان اللتان لديهما الأولويّة الأعلى موجودتان إلى الجانب نفسه من الجزيء، ولهذا يكون المتشكّل الفراغي لهذا الجزيء من النوع (Z).



استكشف الطرائق التي يمكن استخدامها لتتذكر معنى -(E) مقابل معنى -(Z). هل يمكنك التوصّل إلى طريقة خاصة بك؟

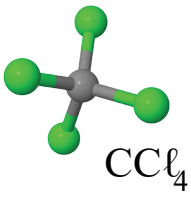
106

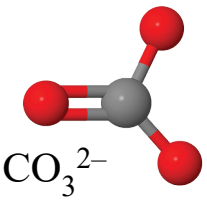
1-3 الاشكال الهندسية للجزيئات والمتشكّلات

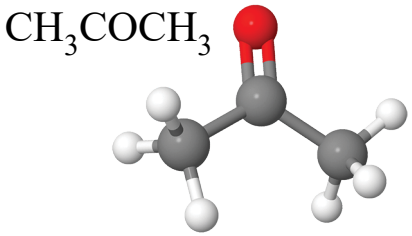
الإجابات/ عيّنة بيانات

المواد المطلوبة: مجموعة النماذج الجزيئية.

يحتاج هذا النشاط إلى أن يعمل الطلاب على أوراق العمل في مجموعات ثنائية، ويصمّموا نماذج للجزيئات. ويجب أن يتجوّل المعلم بين المجموعات، وأن يتحقّق من دقة النماذج التي صمّمها الطلاب. أعطِ الطلاب بعض التلميحات إلى ما يمكن أن تكون عليه النماذج.







تبين هذه المخطّطات التراكيب البنائية الصحيحة. اطلب إلى الطلاب أن يلاحظوا أن ذرتَي الأكسجين المرتبطتين برابطتين أحاديتين في أيون الكربونات لديها جانب واحد غير ممتلئ، وأن كل جانب غير ممتلئ سيحصل على إلكترون واحد، وأن الإلكترونين الإضافيين هما سبب الشحنة (-2) التي يحملها الأيون.

الدرس 1-3: الأشكال الهندسية للجُزيئات

1-3 الأشكال الهندسية للجزيئات والمتشكّلات

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن أن تساعد النماذج الجزيئية في فهم الأشكال الجزيئية، المتشكّلات الفراغية، والمراكز الكيرالية؟ (العمل مجموعات ثنائية).
المواد المطلوبة	مجموعة النماذج الجزيئية

خطوات العمل

الجزء I: الأشكال الهندسية الجزيئية المتوقّعة باستخدام نظرية VSEPR

أكمل الجدول أدناه الموجود في أوراق العمل لـ: CH_3COCH_3 ، CO_3^{2-} ، $CC\ell_4$

قم بتصميم نماذج لكلٍّ من الجزيئات والأيونات، واطلب من المعلّم تقويم النموذج.

الذرة الداخلية	عدد المجالات الإلكترونية	الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني	قيم زوايا الرابطة المثالية	قيم زوايا الرابطة الفعلية	عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة	عدد المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	الشكل الهندسي الجزيئي المتوقّع

الجزء II: المتشكّلات التركيبية

1. صمّم نماذج لـ 1,1,5,5- ثنائي كلوروبنتان (1,5-dichloropentane) و3,3- ثنائي كلوروبنتان (3,3-dichloropentane).
2. صِف، من حيث الروابط، سبب تصنيف هذين الجزيئين على أنهما متشكّلان تركيبيّان.
3. صمّم نموذجين مختلفين للجزيء 1,3- 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 أنّ هذين التركيبين متطابقان ويمثّلان الجزيء نفسه .

الجزء III: المتشكّلات الفراغية E-Z

1. صمّم المتشكّلين الفراغيين– (Z) - (E) للجزيء 1-كلورو-1-فلورو-2-ميثيل-1-بيوتين (1-chloro-1-fluoro-2-methyl-1-butene).

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

الجزء IV: مراكز كيرالية (مراكز غير متماثلة)

1. صمّم نموذجًا من سلسلة مفتوحة للمركّب فركتوز (Fructose) كما التركيب الموجود في أوراق العمل. باستخدام النموذج، صف للمعلم ذرّات الكربون التي تُعدُّ مراكز كيرالية (مراكز غير متماثلة).
2. ضع دائرة حول جميع المراكز الكيرالية (غير المتماثلة) على التركيب الموجود في أوراق العمل للمركّب حمض ألانين (CH_3CHNH_2COOH).

إستنتاج: صِف الفرق بين المتشكّلات التركيبية والمتشكّلات الفراغية.

107

في الجزء I: الأشكال الهندسية الجزيئية المتوقّعة باستخدام نظرية VSEPR

جدول بيانات

المركب	الذرّة الداخلية	عدد المجالات الإلكترونية	الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني	قيم زوايا الرابطة المثالية	قيَم زوايا الرابطة الفعلية	عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة	عدد المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	الشكل الهندسي الجزيئي المتوقّع
CCl_4	C	4	رباعي الأوجه	109.5°	109.5°	4	0	رباعي الأوجه
CO_3^{2-}	C	3	مثلث مسطح	120°	120°	3	0	مثلّث مسطّح
CH_3COCH_3	C	3	مثلث مسطح	120°	120°	3	0	مثلّث مسطّح

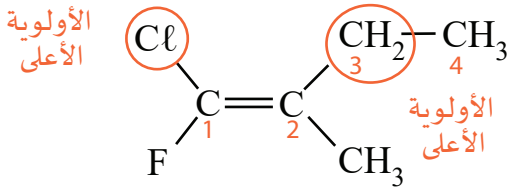
الجزء II: المتشكّلات التركيبية

أوضح من حيث الربط، سبب تصنيف الجزيئين 5,1-ثنائي كلورو بنتان (1,5-dichloropentane)، و3,3-ثنائي كلورو بنتان (3,3-dichloropentane) على أنهما متشكّلان تركيبيان.

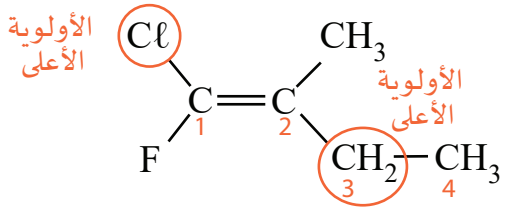
إن هذين الجزيئين هما متشكّلان تركيبيّان، لأن لهما الصيغة الجزيئية نفسها وهي $C_5H_{10}C\ell_2$، ولكن مواضع ذرات الكلور فيها مختلفة: في 5,1-ثنائي كلورو بنتان، تكون ذرتا الكلور مرتبطتين بذرتَي الكربون الأولى والخامسة، أما في 3,3-ثنائي كلورو بنتان، فتكون ذرتا الكلور مرتبطتين بذرة الكربون الثالثة.

الجزء III: المتشكّلات الفراغية E-Z

انظر إلى الذرات المرتبطة مباشرة مع ذرتي الكربون التي هما مرتبطتان بر ابطة ثنائية. الذرات المرتبطة بالكربون رقم واحد هي الكلوروالفلور. ذرة الكلورلديها أولوية أعلى من ذرة الفلوروذلك لأن عددها الذري أعلى من ذلك لذرة الفلور.



E- 1-كلورو - 1 - فلورو - 2 - ميثيل - 1 - بيوتين



Z- 1-كلورو - 1 - فلورو - 2 - ميثيل - 1 - بيوتين

PAT لكل من Cℓ، وF:

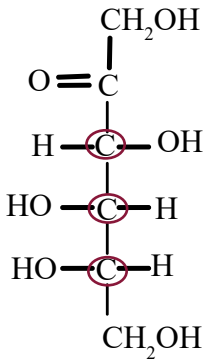
Cℓ	**العدد الذري = 17**	**أولوية أعلى**
F	**العدد الذري = 9**	**أولوية أدنى**

PAT لكل من $-CH_3$، و$-C_2H_5$:

$-CH_3$	**H H H**	**العدد الذري = 1+1+1=3**	**أولوية أدنى**
$-C_2H_5$	**C H H**	**العدد الذري = 2 + 6 = 8**	**أولوية أعلى**

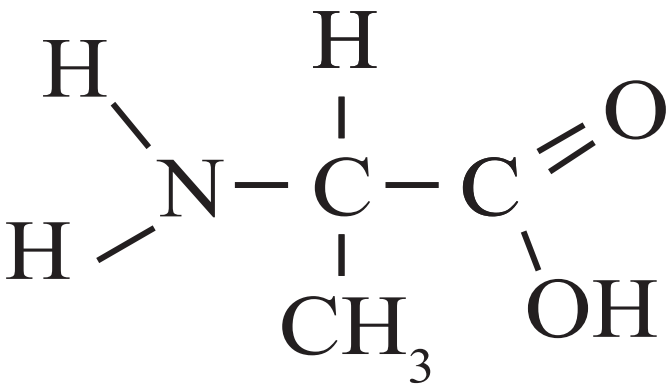
بحسب PAT، تنتمي الأولوية الأعلى إلى Cℓ، و$-C_2H_5$. ولجعل هذا الجزيء متشكّلًا فراغيًا، ترميزه (E)، يجب أن يكون Cℓ، و$-C_2H_5$ على الجهة نفسها، ولجعل هذا الجزيء متشكّلًا فراغيًا، ترميزه (Z)، يجب أن يكون Cℓ، و$-C_2H_5$ على الجهتين المتعاكستين.

مراكز كيرالية: IV (مراكز غير متماثلة)



فركتوز

Fructose



حمض ألانين

Amino acid alanine

CH_3CHNH_2COOH

استنتاج

صف الفرق بين المتشكّلات التركيبية والمتشكّلات الفراغية.

المتشكّلات التركيبية: لها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكن بترابط مختلف.

المتشكّلات الفراغية: لها نفس الصيغة الجزيئية والصيغة البنائية، ولكنّ الذرات فيها تمتلك ترتيبًا فراغيًا متنوّعًا ومختلفًا.

تقويم الدرس 3-1

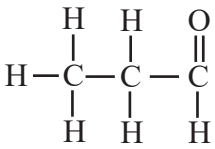
الإجابات

1. ما الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني المتوقّع لذرّة ذات 3 مجالات إلكترونية؟
   a. خطّي
   b. رباعي الأوجه
   c. مثلّث مسطّح
   d. هرمي مزدوج ثلاثي
   c. مثلّث مسطّح

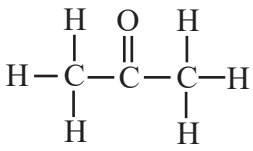
2. ما نوع تهجين الأفلاك الذي ينتج عنه الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني المثلّث المسطّح؟
   a. sp
   b. sp^2
   c. sp^3
   d. sp^3d
   b. sp^2

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

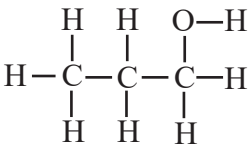
الجزيء1



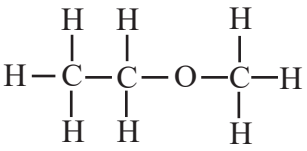
a)



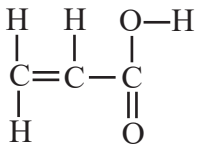
b)



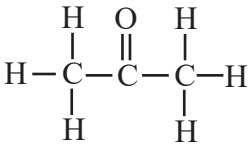
c)



d)



a.



4. ما عدد مجموعات الذرّات المختلفة التي يجب أن ترتبط بالذرّة لجعلها مركزًا كيراليًا (غير متماثل)؟
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   d. 4

تقويم الدرس 3-1 — الإجابات

5. صف الفرق بين المتشكّلات التركيبية والمتشكّلات الفراغية .

المتشكّلات التركيبية: لها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكن بترابط مختلف.

المتشكّلات الفراغية: لها نفس الصيغة الجزيئية والصيغة البنائية، ولكنها تمتلك تراكيب بنائية لها اتجاهات فراغية مختلفة.

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

يحتوي الجزيء على رابطة ثنائية إذا تم استخدام ترميز E-Z للتمييز بين متشكلين فراغيين اثنين متشابهين.

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

في الشكل (E) للمتشكّل الفراغي، تكون الذرات ذات الأولوية الأعلى موجودة على الجهتين المتعاكستين للجزيء، وكذلك الذرات ذات الأولوية الأدنى. أما في الشكل (Z) للمتشكل الفراغي، فتكون الذرات ذات الأولوية الأعلى موجودة على الجهة نفسها للجزيء، وتكون الذرات ذات الأولوية الأدنى موجودة على الجهة الأخرى للجزيء.

8. أيٌّ من مجموعات الذرّات الآتية تأخذ الأولوية الأعلى لمتشكّل فراغي من النوع (E - Z) $-CH_2C\ell$ أو $-COOH$؟

ادعم اختيارك بإظهار جدول تحليل الأولوية (PAT).

أولًا، سنرتب الذرات بحسب أولوية كل مجموعة وظيفية، ثم ندوّن العدد الذري لها.

في مجموعة الكلوروميثيل هناك ذرة كلور وذرتي هيدروجين مترابطة جميعها بروابط أحادية لذلك الأولوية تحسب حسب مجموع العدد الذري لكل من الكلور وذرتي هيدروجين.

أما مجموعة الكربوكسيل فأحد ذرات الأكسجين مرتبطة برابطة ثنائية مع ذرة الكربون لذلك تحسب مرتين بجدول الأولوية وبالتالي يحسب العدد الذري للأكسجين ثلاث مرات بالجدول . هذا لم يذكر في كتاب الطالب لذلك على المعلم ذكرها كتطبيق آخر أثناء الشرح.

وسيكون جدول تحليل الأولوية على النحو الآتي:

$-CH_2C\ell$	Cℓ H H	العدد الذري = 1 + 1 + 17 = 19	أولوية أدنى
-COOH	O O O	العدد الذري = 8 + 8 + 8 = 24	أولوية أعلى

بحسب PAT، تنتمي الأولوية الأعلى إلى -COOH

إعادة تدريس

1. لمراجعة الدرس، يمكن أن يصمّم الطلاب بطاقات تعليمية عن الأفلاك المهجَّنة، توضح كل بطاقة تعليمية عدد المجالات الإلكترونية، والشكل الهندسي للمجال الإلكتروني، والشكل الهندسي الفراغي للمجال الإلكتروني، مع ذكر مثال واحد على الأقلّ.
2. يمكن أن تُستخدم البطاقات التعليمية في ألعاب مراجعة متعدّدة. إحدى هذه الألعاب هي أن يتبادل الطلاب المعلومات عن الخصائص الموجودة على بطاقاتهم، ويجب على شركائهم توقّع الفلك المهجّن. وعندما يتمكّن الطلاب من توقّع الفلك المهجن، يأخذون بطاقات زملائهم، على أن يفوز الطلاب الذين يجمعون معظم البطاقات.

إثراء

1. للتوسّع مع الطلاب، سوف نناقش أفلاك sp^3d^2 المهجّنة.
2. فقد تشكّلت ستة أفلاك "sp^3d^2" مهجَّنة مكوّنة من فلك s واحد، وثلاثة أفلاك p، وفلكين d.
3. تبقى أفلاك d الذرية الثلاثة الأخرى غير مهجَّنة.
4. تنتشر الأفلاك الستة المهجَّنة لتكوّن شكلًا هندسيًا للمجال الإلكتروني يُسمّى "ثماني الأوجه".
5. في هذا الشكل الهندسي أربعة أفلاك مهجَّنة تأخذ المواقع الوسطية في هيئة شكل مربّع مسطّح، وتكون قيمة الزوايا فيه تساوي $90°$.
6. يأخذ الفلكان المتبقيان الموقعين المحوريين، بحيث تكون قيمة الزاوية تساوي $90°$ من المحور الوسطي للأفلاك.

ملاحظات

الدرس 3-2
ميكانيكيات التفاعلات العضويّة

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع/ الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد كتاب المعلم
1 حصة	ما هي ميكانيكية التفاعل؟	الصفحتان 109، 110	الصفحة 158
1 حصة	تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات وقاعدة ماركوفنيكوف	الصفحتان 111، 112	الصفحة 159
2 حصتان	ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي S_N1 و S_N2	الصفحات 113-115	الصفحتان 160، 161
1 حصة	الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل	الصفحة 116	الصفحة 161
1 حصة	التحلّل المائي لكلوريد الأسيل وتفاعل الكحول مع كلوريد الأسيل أو أنهيدريد الحمض	الصفحتان 117، 118	الصفحة 162
1 حصة	تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية والاستبدال النيوكليوفيلي	الصفحة 119	الصفحات 163-166 ورقة النشاط 2-3

الزّمن المقترح للدّرس

يستغرق تنفيذ هذا الدرس (7) حصص صفية، ويتضمّن حصة واحدة لنشاط تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية والاستبدال النيوكليوفيلي ومناقشة الأفكار المتعدّدة.

الأنشطة	مواد من أجل النّشاط
2-3 تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية والاستبدال النيوكليوفيلي	أوراق عمل لتفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية والاستبدال النيوكليوفيلي

مخرجات التعلّم

C1203.3 يصف ميكانيكيات (آليّات) تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات، وتفاعلات الاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلية في مركّبات، مثل هاليدات الألكيل (مركّبات الألكانات الهالوجينية)

C1203.4 يصف الخصائص الكيميائية لمركّبات مجموعة الكربونيل من خلال ميكانيكية (آلية) تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي، ويوضح كيف يعتمد نشاطها الكيميائي على السالبية الكهربائية للمجموعة أو المجموعات المرتبطة بها.

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

المعرفة السابقة

يفترض أن يكون الطلاب على دراية بالمواضيع الآتية:

- تفاعلات الإضافة
- تفاعلات الاستبدال
- تعريف المصطلحين "إلكتروفيل ونيوكليوفيل"

المفردات

كاربوكاتيون	Carbocation
قاعدة ماركوفنيكوف	Markovnikov's Rule
المجموعة المغادرة	Leaving Group
الأسَيلة	Acylation

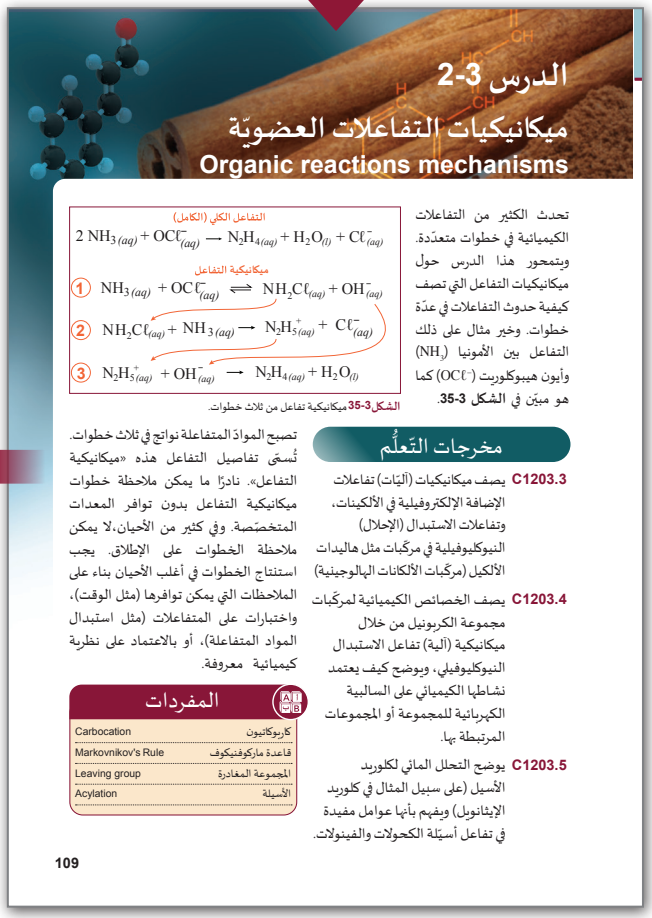
افتتاحية الدرس

1. تم تصميم نشاط الاندماج هذا لمساعدة الطلاب على فهم معنى «ميكانيكية» ومعنى «ميكانيكية التفاعل». سيحتاج الطلاب إلى مجموعة النماذج الجزيئية، ويمكنهم تتبّع التعليمات في ورقة نشاط الاندماج.

2. سيدرك الطلاب بسرعة أن هذا النشاط أكثر صعوبة مما كان يبدو في البداية. ومع ذلك ، وإلى جانب كونه تشبيهًا جذابًا لميكانيكية التفاعل ، إلا أنه أيضاً تمرين مميز في الكتابة العلمية. لذا، يجب تشجيع الطلاب المتفوّقين في فنون اللغة والكفاءة العلمية التّدرب على الكتابة العلمية وتطوير مهارتهم فيها.

3. اطلب إلى الطلاب الإجابة عن أسئلة نشاط الشرح، واطلب إليهم توضيح السبب الذي جعل النماذج في **الشكل 3-39** تمثّل جزيئات متطابقة وليس متشكّلات فراغية باستخدام المعلومات التي نوقشت بخصوص المتشكّلات (الايزومرات) في الدرس الأول .

يحدث الدوران بصورة طبيعية حول الروابط الأحادية (σ). ولكن الدوران حول الروابط الثنائية أو الثلاثية يكون مقيدًا بتكوين رابطة أو رابطتين من روابط باي pi bonds. يمكن تحقيق الأشكال الثلاثة للجزيئات في الشكل 3-39 من خلال دوران إحدى ذرات الكربون حول رابطة الكربون-الكربون الأحاديّة. شجع الطلاب على التحقق من ذلك بأنفسهم.



الدرس 3-2

ميكانيكيات التفاعلات العضويّة

Organic reactions mechanisms

تحدث الكثير من التفاعلات الكيميائية في خطوات متعدّدة. وبتمحور هذا الدرس حول ميكانيكيات التفاعل التي تصف كيفية حدوث التفاعلات في عدّة خطوات. وخير مثال على ذلك التفاعل بين الأمونيا (NH_3) وأيون هيبوكلوريت ($OC\ell^-$) كما هو مبيّن في **الشكل 3-35**.

التفاعل الكلي (الكامل)

$$2\,NH_{3\,(aq)} + OC\ell^-_{(aq)} \longrightarrow N_2H_{4(aq)} + H_2O_{(\ell)} + C\ell^-_{(aq)}$$

ميكانيكية التفاعل

① $NH_{3\,(aq)} + OC\ell^-_{(aq)} \rightleftharpoons NH_2C\ell_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

② $NH_2C\ell_{(aq)} + NH_{3\,(aq)} \longrightarrow N_2H_5^+{}_{(aq)} + C\ell^-_{(aq)}$

③ $N_2H_5^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \longrightarrow N_2H_{4\,(aq)} + H_2O_{(\ell)}$

الشكل 3-35 ميكانيكية تفاعل من ثلاث خطوات.

تصبح الموادّ المتفاعلة نواتج في ثلاث خطوات. تُسمّى تفاصيل التفاعل هذه «ميكانيكية التفاعل». نادرًا ما يمكن ملاحظة خطوات ميكانيكية التفاعل بدون توافر المعدات المتخصّصة. 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.

مخرجات التّعلُّم

C1203.3 يصف ميكانيكيات (آليّات) تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات، وتفاعلات الاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلية في مركّبات مثل هاليدات الألكيل (مركّبات الألكانات الهالوجينية)

C1203.4 يصف الخصائص الكيميائية لمركّبات مجموعة الكربونيل من خلال ميكانيكية (آلية) تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي، 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 الإيثانويل) ويفهم بأنها عوامل مفيدة في تفاعل أسيّلة الكحولات والفينولات.

المفردات

Carbocation	كاربوكاتيون
Markovnikov's Rule	قاعدة ماركوفنيكوف
Leaving group	المجموعة المغادرة
Acylation	الأسيلة

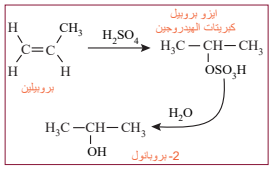
ما هي ميكانيكية التفاعل؟

تستخدم ميكانيكيات التفاعل في كثير من التخصّصات وفروع العلوم لوصف كيفية حدوث عملية ما، على سبيل المثال يتمُّ الإنتاج التجاري للمركّب كحول إيزوبروبيل (2-بروبانول) isopropyl alcohol من خلال تفاعلين اثنين كما يوضّح (**الشكل 3-36**).

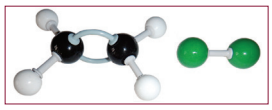
تستخدم ميكانيكيات التفاعل الكيميائي في كثير من الأحيان الصيغ والتراكيب. ولفهم ميكانيكيات التفاعل على نحو أفضل نقوم بالخطوات الآتية:

1. قم بإعداد النماذج الجزيئية كما هو مبيّن في (**الشكل 3-37**).
2. بدءًا من ذرّات صيغ هذين الجزيئين، اكتب التعليمات، ورقّم كلّ خطوة، حول كيفية إعداد الجزيء، في (**الشكل 3-38**). وهذا يشمل الروابط التي «ستنكسر» والروابط التي «ستتكوّن».
3. يمكنك استخدام أيّة روابط إضافية وليس ذرّات، من مجموعة النماذج.

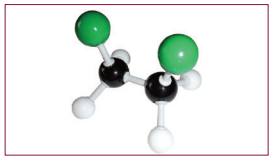
اختبر جودة كتابة الخطوات بإعطائها لزميل في الصف وأطلب منه اتباع تعليمات الخطوات كما هي مكتوبة. هل أنتجت الخطوات نموذجًا ناجحًا؟ تخيّل أنك تقوم بهذه الخطوات لعملية لا يمكن رؤيتها. تشبه كلّ خطوة مكتوبة خطوة في ميكانيكية التفاعل، حيث تتضمّن بعض الميكانيكيات خطوة واحدة فقط، أمّا الميكانيكيات الأخرى فيمكن أن تتكوّن من خطوات متعدّدة.



الشكل 3-36 تفاعل إنتاج 2- بروبانول.

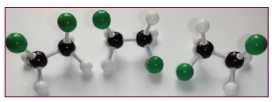


الشكل 3-37 نماذج المتفاعلات.



الشكل 3-38 نموذج الناتج.

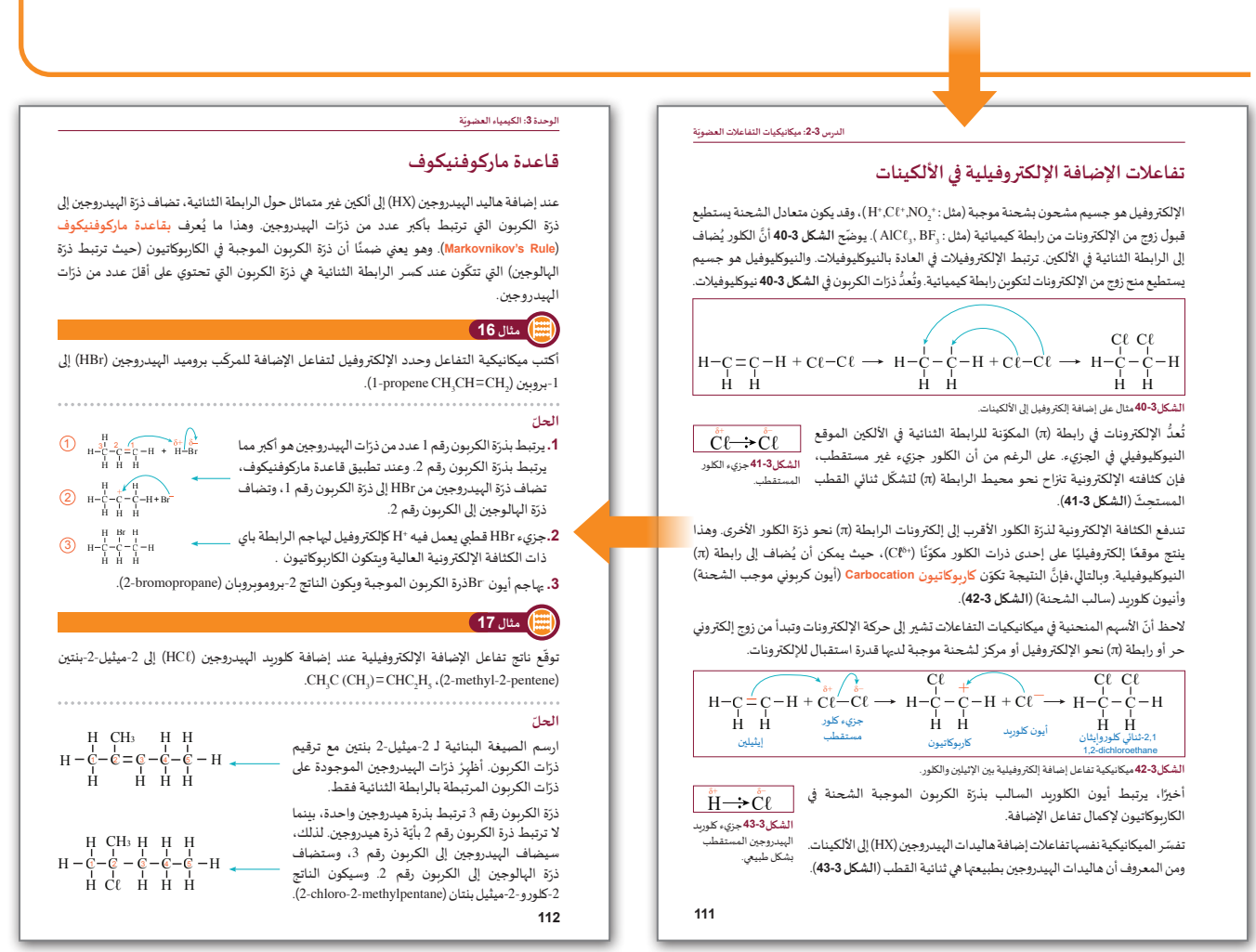
باستخدام المعلومات التي نوقشت حول المتشكّلات في الدرس 1، بيّن السبب الذي يجعل النماذج الثلاثة في الشكل 3-39 تمثّل جزيئات متطابقة وليس متشكّلات فراغية مختلفة.



الشكل 3-39 لماذا تتطابق هذه النماذج الثلاثة؟

تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات وقاعدة ماركوفنيكوف

1. تمَّت دراسة المركّبات الإلكتروفيلية بإيجاز شديد في الصف 11 وستتمّ مراجعتها مرة أخرى في هذا الدرس. تكسب الإلكتروفيلات الإلكترونات وتمنح النيوكليوفيلات الإلكترونات. ولكن المركّبات الإلكتروفيلية لا تكون بالضرورة أيونات موجبة، بل يمكن أن تكون مركّبات متعادلة أيضًا.
2. اشرح للطلاب كيف تكون شحنة الروابط القطبية موجبة أكثر بقليل عند أحد جوانب الجزيء (شحنة موجبة جزئية)، وشحنة سالبة أكثر بقليل عند الطرف الآخر للجزيء نفسه (شحنة سالبة جزئية). حتى الروابط غير القطبية، فقد يكون لها الصفة القطبية اللحظية وذلك بسبب تغيّر الكثافة الإلكترونية.
3. باستخدام النموذج الجزيئي، اشرح للطلاب ميكانيكية الإضافة في التفاعلات الإلكتروفيلية، واذكر كيفية تكوين الكاربوكاتيون.



الدرس 3-2: ميكانيكيات التفاعلات العضوية

تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات

الإلكتروفيل هو جسيم مشحون بشحنة موجبة (مثل: $H^+, C\ell^+, NO_2^+$)، وقد يكون متعادل الشحنة يستطيع قبول زوج من الإلكترونات من رابطة كيميائية (مثل: $AlC\ell_3, BF_3$). يوضّح **الشكل 3-40** أنّ الكلور يُضاف إلى الرابطة الثنائية في الألكين. ترتبط الإلكتروفيلات في العادة بالنيوكليوفيلات. والنيوكليوفيل هو جسيم يستطيع منح زوج من الإلكترونات لتكوين رابطة كيميائية. وتُعدُّ ذرّات الكربون في **الشكل 3-40** نيوكليوفيلات.

الشكل 3-40 مثال على إضافة إلكتروفيل إلى الألكينات.

تُعدُّ الإلكترونات في رابطة (π) المكوّنة للرابطة الثنائية في الألكين الموقع النيوكليوفيلي في الجزيء. على الرغم من أن الكلور جزيء غير مستقطب، فإن كثافته الإلكترونية تنزاح نحو محيط الرابطة (π) لتشكّل ثنائي القطب المستحدَث (**الشكل 3-41**).

الشكل 3-41 جزيء الكلور المستقطب.

تندفع الكثافة الإلكترونية لذرّة الكلور الأقرب إلى إلكترونات الرابطة (π) نحو ذرّة الكلور الأخرى. وهذا ينتج موقعًا إلكتروفيليًا على إحدى ذرات الكلور مكوّنًا ($C\ell^{\delta+}$)، حيث يمكن أن يُضاف إلى رابطة (π) النيوكليوفيلية. وبالتالي، فإنّ النتيجة تكوّن **كاربوكاتيون Carbocation** (أيون كربوني موجب الشحنة) وأنيون كلوريد (سالب الشحنة) (**الشكل 3-42**).

لاحظ أنّ الأسهم المنحنية في ميكانيكيات التفاعلات تشير إلى حركة الإلكترونات وتبدأ من زوج إلكتروني حر أو رابطة (π) نحو الإلكتروفيل أو مركز لشحنة موجبة لديها قدرة استقبال للإلكترونات.

الشكل 3-42 ميكانيكية تفاعل إضافة إلكتروفيلية بين الإثيلين والكلور.

أخيرًا، يرتبط أيون الكلوريد السالب بذرّة الكربون الموجبة الشحنة في الكاربوكاتيون لإكمال تفاعل الإضافة.

الشكل 3-43 جزيء كلوريد الهيدروجين المستقطب بشكل طبيعي.

تفسّر الميكانيكية نفسها تفاعلات إضافة هاليدات الهيدروجين (HX) إلى الألكينات. ومن المعروف أن هاليدات الهيدروجين بطبيعتها هي ثنائية القطب (**الشكل 3-43**).

قاعدة ماركوفنيكوف

عند إضافة هاليد الهيدروجين (HX) إلى ألكين غير متماثل حول الرابطة الثنائية، تضاف ذرّة الهيدروجين إلى ذرّة الكربون التي ترتبط بأكبر عدد من ذرّات الهيدروجين. وهذا ما يُعرف **بقاعدة ماركوفنيكوف (Markovnikov's Rule)**. وهو يعني ضمنًا أن ذرّة الكربون الموجبة في الكاربوكاتيون (حيث ترتبط ذرّة الهالوجين) التي تتكوّن عند كسر الرابطة الثنائية هي ذرّة الكربون التي تحتوي على أقلّ عدد من ذرّات الهيدروجين.

مثال 16

أكتب ميكانيكية التفاعل وحدد الإلكتروفيل لتفاعل الإضافة للمركّب بروميد الهيدروجين (HBr) إلى 1-بروبين ($CH_3CH{=}CH_2$ 1-propene).

الحل

1. يرتبط بذرّة الكربون رقم 1 عدد من ذرّات الهيدروجين هو أكبر مما يرتبط بذرّة الكربون رقم 2. وعند تطبيق قاعدة ماركوفنيكوف، تضاف ذرّة الهيدروجين من HBr إلى ذرّة الكربون رقم 1، وتضاف ذرّة الهالوجين إلى الكربون رقم 2.
2. جزيء HBr قطبي يعمل فيه H^+ كإلكتروفيل لمهاجم الرابطة باي ذات الكثافة الإلكترونية العالية ويتكون الكاربوكاتيون .
3. يهاجم أيون Br^- ذرة الكربون الموجبة ويكون الناتج 2-بروموبروبان (2-bromopropane).

مثال 17

توقّع ناتج تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية عند إضافة كلوريد الهيدروجين (HCℓ) إلى 2-ميثيل-2-بنتين (2-methyl-2-pentene، $CH_3C(CH_3){=}CHC_2H_5$).

الحل

ارسم الصيغة البنائية لـ 2-ميثيل-2 بنتين مع ترقيم ذرّات الكربون. أظهِرْ ذرّات الهيدروجين الموجودة على ذرّات الكربون المرتبطة بالرابطة الثنائية فقط.

ذرّة الكربون رقم 3 ترتبط بذرة هيدروجين واحدة، بينما لا ترتبط ذرة الكربون رقم 2 بأيّة ذرة هيدروجين. لذلك، سيضاف الهيدروجين إلى الكربون رقم 3، وستضاف ذرّة الهالوجين إلى الكربون رقم 2. وسيكون الناتج 2-كلورو-2-ميثيل بنتان (2-chloro-2-methylpentane).

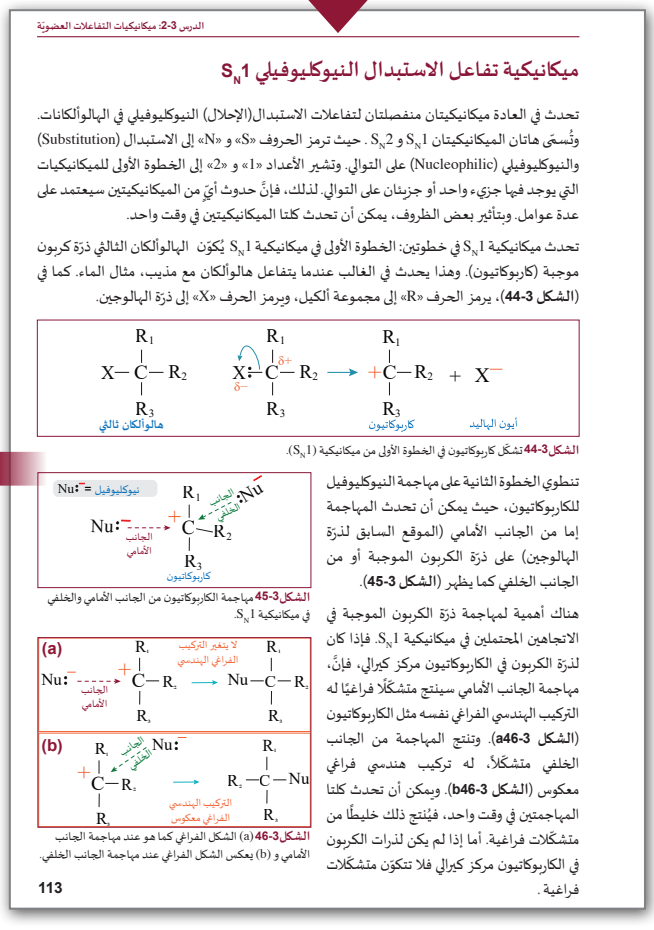
ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي S_N1 وS_N2

1. يُعدّ استخدام النموذج الجزيئي أفضل طريقة لتفسير ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي S_N1 وS_N2. سيتمكن الطلاب من فهم الأمثلة بصورة أفضل عندما يستطيعون تصوّر عملية الاستبدال.

2. اشرح للطلاب أن ميكانيكية S_N1 تحدث في خطوتين: يتم في الخطوة الأولى فصل الهالوجين عن الألكان، فيتكوّن كاربوكاتيون وأيون الهاليد. ثم يهاجم النيوكليوفيل الكاربوكاتيون. عادة ما يكون النيوكليوفيل أيونًا سالب الشحنة لذلك ينجذب الى الكاربوكاتيون الموجب الشحنة. يمكن أن يهاجم النيوكليوفيل من الجانب الأمامي أو الخلفي. بيّن للطلاب كيف أنَّ المهاجمة من الجانب الخلفي ينتج جزيئًا فراغيًا معكوساً. يفضل استخدام النماذج الجزيئية لتوضيح الميكانيكية بشكل أوضح.

3. تحدث ميكانيكية S_N2 في خطوة واحدة فقط، لأن النيوكليوفيل يهاجم هاليد الألكيل في الوقت الذي لا يزال فيه الهالوجين مرتبطًا. وهذا يعني أن النيوكليوفيل يمكن أن يهاجم فقط من الجانب الخلفي. ونتيجة لذلك، يحدث الاستبدال في الوقت نفسه. وحيث يهاجم النيوكليوفيل من الجانب الخلفي، يتم تشكيل مركّب فراغي معكوس.

4. وللتدرّب على كلتا الميكانيكيتين، اطلب إلى الطلاب تمثيل المثال 18 باستخدام مجموعات النماذج الجزيئية.



الدرس 3-2: ميكانيكيات التفاعلات العضوية

ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي S_N1

تحدث في العادة ميكانيكيتان منفصلتان لتفاعلات الاستبدال(الإحلال) النيوكليوفيلي في الهالوألكانات. وتُسمّى 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 جزيء واحد أو جزيئان على التوالي. لذلك، فإنَّ حدوث أيّ 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 يُكوّن الهالوألكان الثالثي ذرّة كربون موجبة (كاربوكاتيون). وهذا يحدث في الغالب عندما يتفاعل هالوألكان مع مذيب، مثال الماء. كما في (**الشكل 3-44**)، يرمز الحرف «R» إلى مجموعة ألكيل، ويرمز الحرف «X» إلى ذرّة الهالوجين.

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

تنطوي الخطوة الثانية على مهاجمة النيوكليوفيل للكاربوكاتيون، حيث يمكن أن تحدث المهاجمة إما من الجانب الأمامي (الموقع السابق لذرّة الهالوجين) على ذرّة الكربون الموجبة أو من الجانب الخلفي كما يظهر (**الشكل 3-45**).

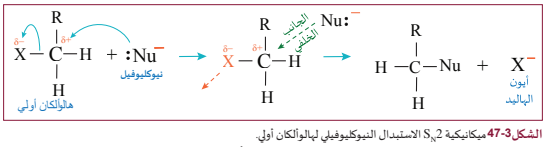
الشكل 3-45 مهاجمة الكاربوكاتيون من الجانب الأمامي والخلفي في ميكانيكية S_N1.

هناك أهمية لمهاجمة ذرّة الكربون الموجبة في الاتجاهين المحتملين في ميكانيكية S_N1. فإذا كان لذرّة الكربون في الكاربوكاتيون مركز كيرالي، فإنَّ، مهاجمة الجانب الأمامي سينتج متشكّلًا فراغيًا له التركيب الهندسي الفراغي نفسه مثل الكاربوكاتيون (**الشكل 3-46a**). وتنتج المهاجمة من الجانب الخلفي متشكّلاً، له تركيب هندسي فراغي معكوس (**الشكل 3-46b**). ويمكن أن تحدث كلتا المهاجمتين في وقت واحد، فيُنتج ذلك خليطًا من متشكّلات فراغية. أما إذا لم يكن لذرات الكربون في الكاربوكاتيون مركز كيرالي فلا تتكوّن متشكّلات فراغية.

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

ميكانيكية تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي S_N2

تحدث ميكانيكية S_N2 في خطوة واحدة، وتتضمّن جزيئين. وتكون المهاجمة من الجانب الأمامي مقيّدة، لأنّ ذرّة الهالوجين لا تزال مرتبطة بهالوألكان أوليّ. ولأنَّ المهاجمة من الجانب الخلفي فقط ممكنة، فإنّ المركّب العضوي الناتج عن الاستبدال S_N2 سيُظهر بنيةً فراغية معكوسة مقارنة بالهالو ألكان الأصلي (**الشكل 3-47**).



الشكل 3-47 ميكانيكية S_N2 الاستبدال النيوكليوفيلي لهالوألكان أولي.

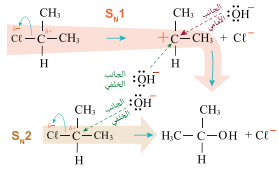
يعتمد استمرار التفاعل عن طريق ميكانيكية تفاعل S_N1 أو S_N2 على عدة عوامل. تشمل بعض العوامل الأكثر شيوعًا نوع RX، والمذيب، والمجموعة المغادرة، وطبيعة النيوكليوفيل. وبشكل عام، فإنَّ هاليد الألكيل الثالثي يخضع لميكانيكية S_N1، أمّا هاليد الألكيل الأولي فيخضع لميكانيكية S_N2. ويمكن لهاليد الألكيل الثانوي أن يتبع أي من ميكانيكية S_N1 أو S_N2 تبعًا للعوامل السابق ذكرها.

مثال 18

ارسم جزيئين متطابقين للمركّب 2-كلورو بروبان (2-chloropropane). عيّن على الجزيء الأوّل المكان الذي يمكن أن يهاجم فيه أيون OH^- (الجانب الأمامي والجانب الخلفي) من خلال تفاعل استبدال S_N1. وعيّن على الجزيء الثاني المكان الذي يمكن أن يهاجم فيه أيون OH^- من خلال ميكانيكية تفاعل الاستبدال S_N2

الحلّ

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



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

الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل

1. اسأل الطلاب: ما هي مجموعة الكربونيل؟ قد يتذكرون ذلك مما تعلموه في الصف 11.

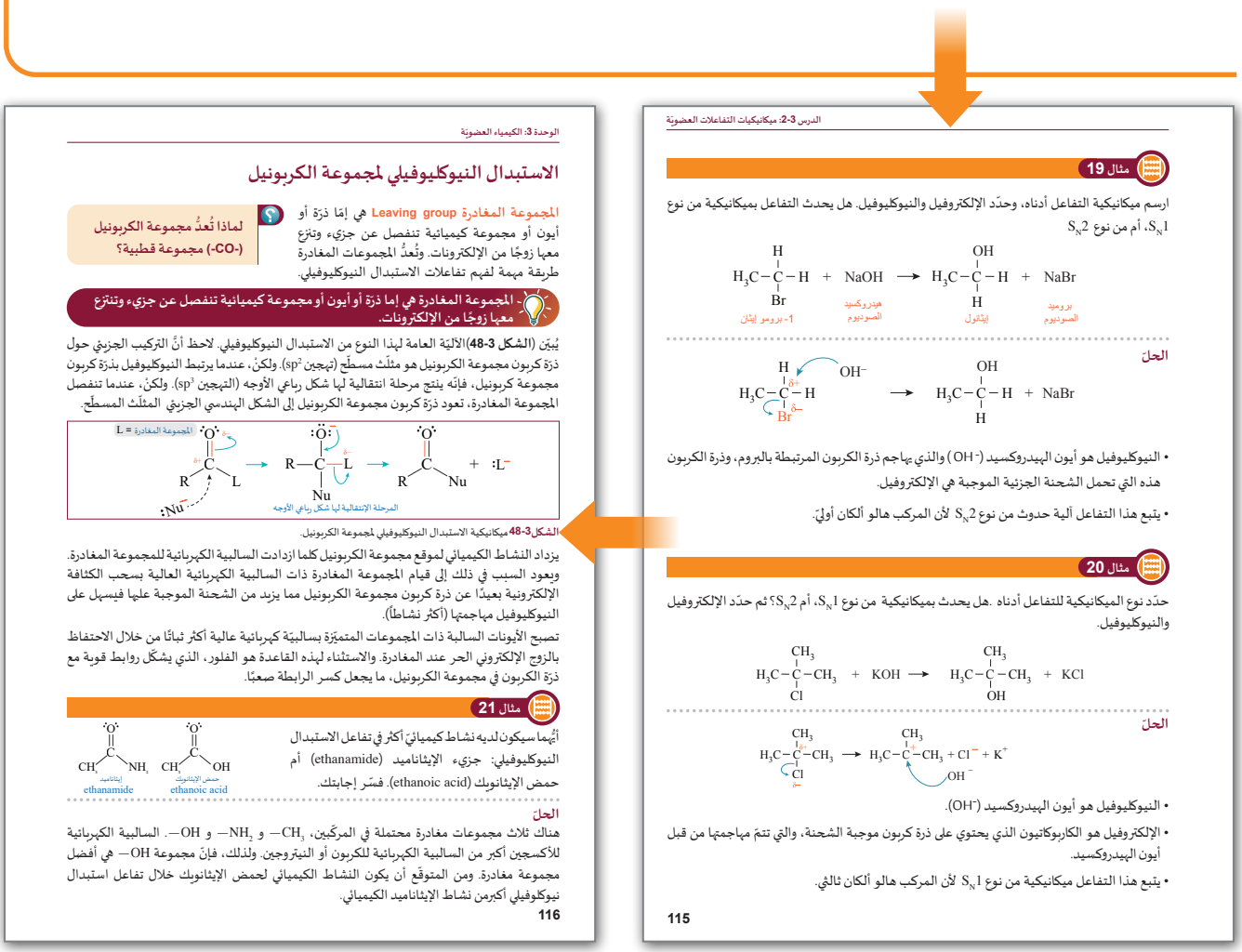
مجموعة الكربونيل هي مجموعة وظيفية تتكوّن من ذرة كربون مرتبطة بر ابطة ثنائية مع ذرة أكسجين.

2. اطرح على الطلاب هذا السؤال: لماذا تُعدّ مجموعة الكربونيل مجموعة قطبية؟

تُعدّ مجموعة الكربونيل مجموعة قطبية بسبب وجود فرق في السالبية الكهربائية بين ذرتي الأكسجين (3.44) والكربون (2.55) لذلك، ستقوم ذرة الأكسجين بجذب زوج الإلكترونات بقوة أكبر وتشكّل شحنة سالبة جزئية. أمّا السالبية الكهربائية لذرة الكربون فتكون أقل وتشكّل شحنة موجبة جزئية.

تجعل الشحنة الجزئية الموجبة من الكربون إلكتروفيل يمكن مهاجمته بالنيوكليوفيلات في تفاعلات الاستبدال.

3. استخدم **الشكل 3-48** لشرح كيفية حدوث الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل. اشرح بصورة مفصّلة تكوّن شكل هندسي جزيئي رباعي الأسطح من مثلّث مسطّح ثم العودة إلى مثلّث مسطّح. اطلب إلى الطلاب تحديد المجالات الإلكترونية ونوع تهجين الأفلاك.



الدرس 3-2: ميكانيكيات التفاعلات العضوية

مثال 19

ارسم ميكانيكية التفاعل أدناه، وحدّد الإلكتروفيل والنيوكليوفيل. هل يحدث التفاعل بميكانيكية من نوع S_N1، أم من نوع S_N2

الحلّ

- النيوكليوفيل هو أيون الهيدروكسيد (^-OH) والذي يهاجم ذرة الكربون المرتبطة بالبروم، وذرة الكربون هذه التي تحمل الشحنة الجزئية الموجبة هي الإلكتروفيل.
- يتبع هذا التفاعل آلية حدوث من نوع S_N2 لأن المركب هالو ألكان أوليّ.

مثال 20

حدّد نوع الميكانيكية للتفاعل أدناه .هل يحدث بميكانيكية من نوع S_N1، أم S_N2؟ ثم حدّد الإلكتروفيل والنيوكليوفيل.

الحلّ

- النيوكليوفيل هو أيون الهيدروكسيد (^-OH).
- الإلكتروفيل هو الكاربوكاتيون الذي يحتوي على ذرة كربون موجبة الشحنة، والتي تتمّ مهاجمتها من قبل أيون الهيدروكسيد.
- يتبع هذا التفاعل ميكانيكية من نوع S_N1 لأن المركب هالو ألكان ثالثي.

115

الوحدة 3: الكيمياء العضوية

الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل

المجموعة المغادرة Leaving group هي إمّا ذرّة أو أيون أو مجموعة كيميائية تنفصل عن جزيء وتنزع معها زوجًا من الإلكترونات. وتُعدُّ المجموعات المغادرة طريقة مهمة لفهم تفاعلات الاستبدال النيوكليوفيلي.

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

المجموعة المغادرة هي إما ذرّة أو أيون أو مجموعة كيميائية تنفصل عن جزيء وتنزع معها زوجًا من الإلكترونات.

يُبيّن (**الشكل 3-48**)الآليّة العامة لهذا النوع من الاستبدال النيوكليوفيلي. لاحظ أنَّ التركيب الجزيئي حول ذرّة كربون مجموعة الكربونيل هو مثلّث مسطّح (تهجين sp^2). ولكنّ، عندما يرتبط النيوكليوفيل بذرّة كربون مجموعة كربونيل، فإنّه ينتج مرحلة انتقالية لها شكل رباعي الأوجه (التهجين sp^3). ولكنّ، عندما تنفصل المجموعة المغادرة، تعود ذرّة كربون مجموعة الكربونيل إلى الشكل الهندسي الجزيئي المثلّث 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 بعيدًا عن ذرة كربون مجموعة الكربونيل مما يزيد من الشحنة الموجبة عليها فيسهل على النيوكليوفيل مهاجمتها (أكثر نشاطا).

تصبح الأيونات السالبة ذات المجموعات المتميّزة بسالبيّة كهربائية عالية أكثر ثباتًا من خلال الاحتفاظ بالزوج الإلكتروني الحر عند المغادرة. والاستثناء لهذه القاعدة هو الفلور، الذي يشكّل روابط قوية مع ذرّة الكربون في مجموعة الكربونيل، ما يجعل كسر الرابطة صعبًا.

مثال 21

أيّهما سيكون لديه نشاط كيميائيّ أكثر في تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي: جزيء الإيثانواميد (ethanamide) أم حمض الإيثانويك (ethanoic acid). فسّر إجابتك.

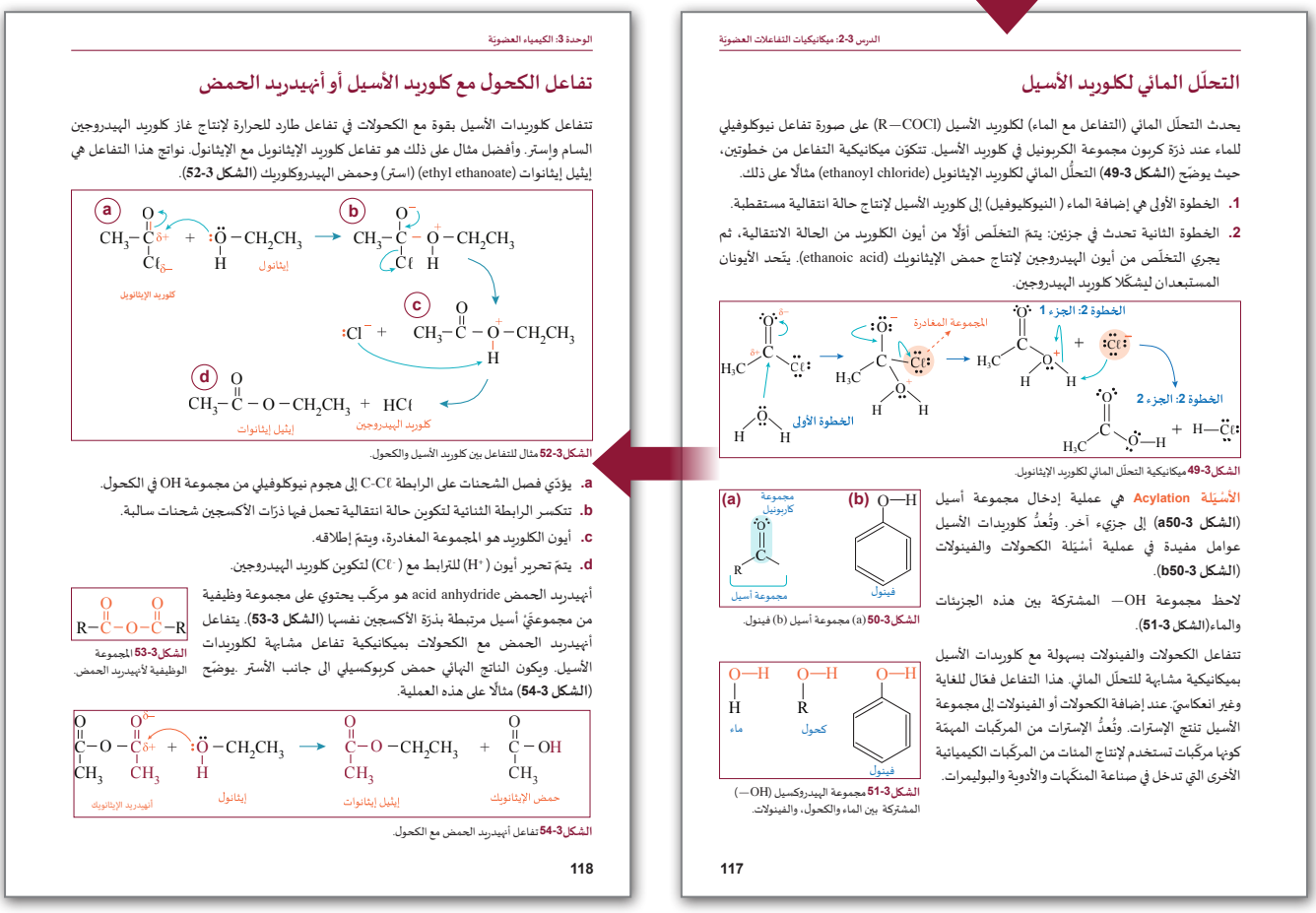
الحلّ

هناك ثلاث مجموعات مغادرة محتملة في المركّبين، $-CH_3$ و $-NH_2$ و $-OH$. السالبية الكهربائية للأكسجين أكبر من السالبية الكهربائية للكربون أو النيتروجين. ولذلك، فإنّ مجموعة $-OH$ هي أفضل مجموعة مغادرة. ومن المتوقّع أن يكون النشاط الكيميائي لحمض الإيثانويك خلال تفاعل استبدال نيوكلوفيلي أكبرمن نشاط الإيثانواميد الكيميائي.

116

التحلّل المائي لكلوريد الأسيل

1. للتحلّل المائي لكلوريد الأسيل ميكانيكية تفاعل من خطوتين. وضح الميكانيكية على السبّورة.
2. كلوريدات الأسيل مركّبات مرغوبة بسبب تفاعلها النشط، ممّا يجعل التفاعلات أسرع وأكثر كفاءة. اشرح، من حيث المجموعات المغادرة وقوة الرابطة، السبب الذي يجعل فلوريدات الأسيل غير مرغوب فيها.
3. الفلور ليس مجموعة مغادرة جيدة، على الرغم من أن له أعلى سالبية كهربائية من أيّة ذرة أخرى. ويعود ذلك لأنه يشكل روابط تساهمية قوية جدًا (بسبب صغر حجمه وقلة الإلكترونات الحاجبة نسبيًا).
4. حتى إنْ حدثت المرحلة الأولى من التحلّل المائي لفلوريد الأسيل ، فإنَّ مجموعة الكربونيل لن تتكوّن لأنَّ من غير المحتمل أن تغادر ذرة الفلور.
5. ناقش ميكانيكية تفاعل الكحول مع كلوريد الأسيل. وهذا تفاعل طارد للحرارة ينتج حمض الهيدروكلوريك وأستر.
6. يحدث تفاعل مماثل عندما يتفاعل أنهيدريد الحمض مع الكحول. ينتج هذا التفاعل حمض كربوكسيلي وإستر. اطلب إلى الطلاب تكرار ميكانيكيات كلا التفاعلين مع الكحول.



التحلّل المائي لكلوريد الأسيل

يحدث التحلّل المائي (التفاعل مع الماء) لكلوريد الأسيل (R—COCl) على صورة تفاعل نيوكلوفيلي للماء عند ذرة كربون مجموعة الكربونيل في كلوريد الأسيل. تتكوّن ميكانيكية التفاعل من خطوتين، حيث يوضّح (**الشكل 3-49**) التحلُّل المائي لكلوريد الإيثانويل (ethanoyl chloride) مثالًا على ذلك.

1. الخطوة الأولى هي إضافة الماء (النيوكليوفيل) إلى كلوريد الأسيل لإنتاج حالة انتقالية مستقطبة.
2. الخطوة الثانية تحدث في جزئين: يتمّ التخلّص أوّلًا من أيون الكلوريد من الحالة الانتقالية، ثم يجري التخلّص من أيون الهيدروجين لإنتاج حمض الإيثانويك (ethanoic acid). يتّحد الأيونان المستبعدان ليشكّلا كلوريد الهيدروجين.

الشكل 3-49 ميكانيكية التحلّل المائي لكلوريد الإيثانويل.

الأسْيَلة Acylation هي عملية إدخال مجموعة أسيل (**الشكل 3-50a**) إلى جزيء آخر. وتُعدُّ كلوريدات الأسيل عوامل مفيدة في عملية أسْيَلة الكحولات والفينولات (**الشكل 3-50b**).

الشكل 3-50 (a) مجموعة أسيل (b) فينول.

لاحظ مجموعة —OH المشتركة بين هذه الجزيئات والماء(**الشكل 3-51**).

تتفاعل الكحولات والفينولات بسهولة مع كلوريدات الأسيل بميكانيكية مشابهة للتحلّل المائي. هذا التفاعل فعّال للغاية وغير انعكاسيّ. عند إضافة الكحولات أو الفينولات إلى مجموعة الأسيل تنتج الإسترات. وتُعدُّ الإسترات من المركّبات المهمّة كونها مركّبات تستخدم لإنتاج المنات من المركّبات الكيميائية الأخرى التي تدخل في صناعة المنكّهات والأدوية والبوليمرات.

الشكل 3-51 مجموعة الهيدروكسيل (—OH) المشتركة بين الماء والكحول، والفينولات.

تفاعل الكحول مع كلوريد الأسيل أو أنهيدريد الحمض

تتفاعل كلوريدات الأسيل بقوة مع الكحولات في تفاعل طارد للحرارة لإنتاج غاز كلوريد الهيدروجين السام وإستر. وأفضل مثال على ذلك هو تفاعل كلوريد الإيثانويل مع الإيثانول. نواتج هذا التفاعل هي إيثيل إيثانوات (ethyl ethanoate) (استر) وحمض الهيدروكلوريك (**الشكل 3-52**).

الشكل 3-52 مثال للتفاعل بين كلوريد الأسيل والكحول.

a. يؤدّي فصل الشحنات على الرابطة C-Cℓ إلى هجوم نيوكلوفيلي من مجموعة OH في الكحول.
b. تتكسر الرابطة الثنائية لتكوين حالة انتقالية تحمل فيها ذرّات الأكسجين شحنات سالبة.
c. أيون الكلوريد هو المجموعة المغادرة، ويتمّ إطلاقه.
d. يتمّ تحرير أيون (H^+) للترابط مع ($Cℓ^-$) لتكوين كلوريد الهيدروجين.

أنهيدريد الحمض acid anhydride هو مركّب يحتوي على مجموعة وظيفية من مجموعتيْ أسيل مرتبطة بذرّة الأكسجين نفسها (**الشكل 3-53**). يتفاعل أنهيدريد الحمض مع الكحولات بميكانيكية تفاعل مشابهة لكلوريدات الأسيل. ويكون الناتج النهائي حمض كربوكسيلي الى جانب الأستر .يوضّح (**الشكل 3-54**) مثالًا على هذه العملية.

الشكل 3-53 المجموعة الوظيفية لأنهيدريد الحمض.

الشكل 3-54 تفاعل أنهيدريد الحمض مع الكحول.

2-3 تفاعلات الإضافة الإلكتروفيليّة والاستبدال النيوكليوفيليّ

الإجابات/ عيّنة بيانات

المواد المطلوبة: أوراق عمل لتفاعلات إضافة إلكتروفيليّة وتفاعلات استبدال نيوكليوفيليّ.

يجب أن يتمّ هذا النشاط في مجموعات ثنائية. ولتحقيق أقصى قدر من المشاركة ، تكون المجموعات الصغيرة أفضل.

الجزء 1 : تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات

المعلوم: يمكن أن يتفاعل الإيثين مع البروم في محلول كلوريد الصوديوم ليشكّل كلًّا من:

2,1- ثنائي برومو إيثان

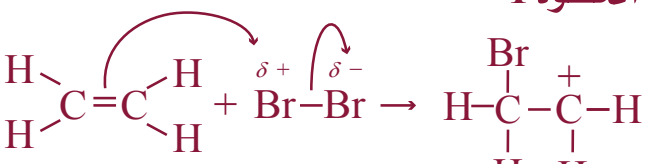
1,2-dibromoethane

1-برومو-2-كلورو إيثان

1-bromo-2-chloroethane

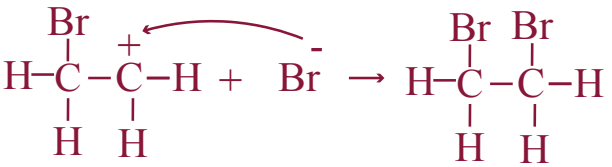
- ارسم تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية التي تفسّر تكوّن كلا الناتجين.

الخطوة 1



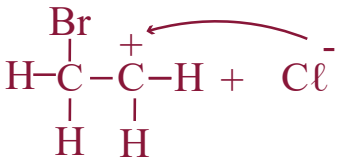
كاربوكاتيون

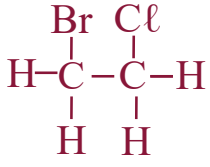
الاحتمال الأول للخطوة 2



2،1- ثنائي برومو إيثان

الاحتمال الثاني للخطوة 2





1-برومو-2-كلورو إيثان

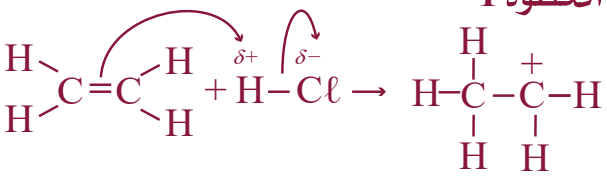
2-3 تفاعلات الإضافة الإلكتروفيليّة والاستبدال النيوكليوفيليّ

الإجابات/ عيّنة بيانات

الجزء 1 : تفاعلات الإضافة للألكينات

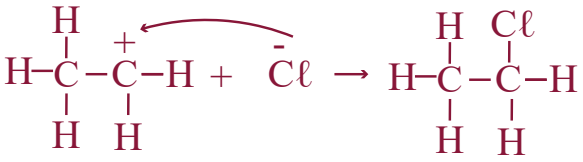
ارسم الميكانيكية وتوقّع ناتج تفاعل كلوريد الهيدروجين مع الإيثين.

الخطوة 1



كاربوكاتيون

الخطوة 2

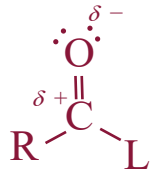


كلورو إيثان chloro ethane

الناتج المتوقع من تفاعل كلوريد الهيدروجين مع الأيثين هو كلورو إيثان

الجزء II: الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل

a. ارسم الصيغة البنائية لمجموعة الكربونيل، وضع عليها رموز الاستقطاب δ+ و δ–.



ملاحظة: عند هذه النقطة، سيعيّن المعلم اثنين من النيوكليوفيلات من الجدول في ورقة العمل لكل مجموعة. وسيكون على الطلاب بعد ذلك الإجابة عن الأسئلة اعتمادًا على النيوكليوفيلات المعطاة لهم.

d. باستخدام جدول قوة النيوكليوفيلات، حدّد النيوكليوفيل الذي سيكون المجموعة المغادرة الأكثر مثالية، وما سيكون النيوكليوفيل المستبدَل على مجموعة الإيثانويل.

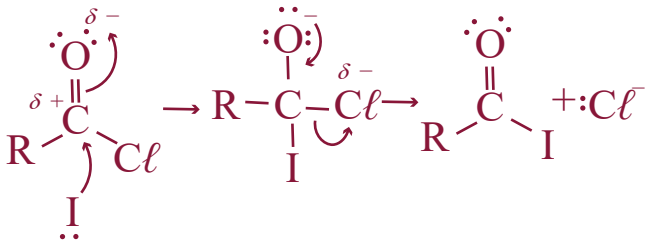
تستند هذه الإجابات إلى النيوكليوفيليين، Cl^- و I^- ستكون المجموعة المغادرة هي النيوكليوفيل الأضعف، وبالتالي Cl^- المجموعة المثالية المغادرة وسيكون I^- النيوكليوفيل البديل في وجود المذيبات القطبية مثل الماء أو الكحول.

e. فسِّر سبب كون أحد النيوكليوفيلين أقوى من الآخر من حيث العوامل المبينة في الجزء II b من هذا النشاط.

أيون اليوديد هو نيوكليوفيل أقوى لأنَّ لديه سالبية كهربائية أقل من الكلور، واليود هو أيضًا أكثر استقطابًا من الكلور لأن إلكترونات التكافؤ في المستوى الطاقة الخامس ($5s^25p^5$) تكون أبعد عن النواة ومحجوبة أكثر بالإلكترونات الداخلية مقارنة بالكلور ذو إلكترونات التكافؤ في مستوى الطاقة الثالث ($3s^23p^5$).

أشر الى الطلاب أنه على الرغم من وجود 3 عوامل مُبيّنة، لن يؤدي إلى أن تكون جميع العوامل الثلاثة صحيحة.

f. ارسم ميكانيكية توضّح تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي الذي توقّعت. بيّن الناتج في الرسم.



أنشطة إختيارية

1. ملاحظات الطلاب:

- كلوريد الإيثانويل والماء

يمكن للمعلم عرض مقاطع فيديو أو القيام بإجراء التجربة أمام الطلاب. أضف كلوريد الإيثانويل إلى الماء، وضع ورقة الدليل العام (أو ورقة تبّاع الشمس) الرطبة على فوهة أنبوب الاختبار.

تتكوّن فقّاعات ، وترتفع درجة الحرارة ، ويصبح لون ورقة الدليل العام احمر، مشيرًا بذلك إلى تصاعد غاز حمضي. وهذا يشير أيضًا إلى أن الماء هو نيوكليوفيل قوي.

- كلوريد الإيثانويل والميثانول

يمكن للمعلم عرض مقاطع فيديو أو القيام بإجراء التجربة أمام الطلاب. أضف كلوريد الإيثانويل إلى الميثانول ، وضع ورقة الدليل العام الرطبة على فوهة أنبوب الاختبار.

هذا التفاعل أكثر قوة من التفاعل بين كلوريد الإيثانول والماء: تتصاعد الفقاعات، وترتفع درجة الحرارة، ويصبح لون ورقة الدليل العام أحمر، مشيرًا بذلك إلى تصاعد غاز حمضي. وهذا يشير أيضًا إلى أن الميثانول هو نيوكليوفيل أقوى من الماء.

- كلوريد الإيثانويل مع محلول الأمونيا المركز.

يمكن للمعلم عرض مقاطع فيديو أو القيام بإجراء التجربة أمام الطلاب. أضف كلوريد الإيثانويل إلى محلول الأمونيا المركز، وضع ورقة الدليل العام الرطبة على فوهة أنبوب الاختبار.

هذا التفاعل أقوى من التفاعلين السابقين: تتصاعد الفقاعات، وترتفع درجة الحرارة، ويصبح لون ورقة الدليل العام أكثر أحمرارًا، مشيرًا بذلك إلى تصاعد غاز حمضي. لم يتمّ إنتاج بخار أبيض. وهذا يشير إلى أن الأمونيا هي نيوكليوفيل قوي للغاية.

علينا الملاحظة هنا أن القوة النسبية للتفاعلات تأتي من القوة النسبية للنيوكليوفيلات الثلاث. الماء نيوكليوفيل أضعف من الميثانول. أما الأمونيا فهي النيوكليوفيل الأقوى.

تقويم الدرس 3-2

الإجابات

1. أيٌّ من ذرّات الكربون تضاف إليها ذرّة الكلور في تفاعل إضافة إلكتروفيلية حيث يُضاف HCℓ إلى 1-بيوتين (1-butene)؟

1-بيوتين

a. C1
b. C2
c. C3
d. C4
b. **C2**

2. أيٌّ من الآتي يعبّر بشكل صحيح عن الاستبدال النيوكليوفيلي لهالوألكان؟

a. يمكن أن تحدث مهاجمة الجانب الخلفي فقط، ما يؤدّي إلى الاحتفاظ بالشكل الفراغي الهندسي.
b. يمكن أن تحدث مهاجمة الجانب الأمامي فقط، ما يؤدّي إلى عكس الشكل الفراغي الهندسي.
c. تؤدّي 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، وتؤدّي مهاجمة الجانب الأمامي إلى عكس الشكل الفراغي الهندسي.
c. **تؤدّي مهاجمة الجانب الأمامي إلى الاحتفاظ بالشكل الفراغي الهندسي، وتؤدي مهاجمة الجانب الخلفي إلى عكس الشكل الفراغي الهندسي .**

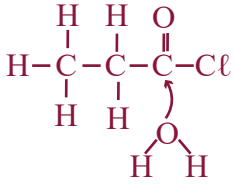
3. أيٌّ من الأشكال الآتية ينتج عن الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل؟

a. كاربوكاتيون له شكل رباعي الأوجه على ذرّة كربون الكربونيل
b. كاربوكاتيون له شكل مثلّث مسطح على ذرّة كربون الكربونيل
c. أنيون حالة انتقالية له شكل رباعي الأوجه على ذرّة كربون الكربونيل
d. أنيون حالة انتقالية له شكل مثلث مسطح على ذرّة كربون الكربونيل
c. **أنيون حالة انتقالية له شكل رباعي الأوجه على ذرّة كربون الكربونيل**

تقويم الدرس 3-2 — الإجابات

4. أين سيرتبط جزيء الماء في تفاعل التحلّل النيوكليوفيلي لكلوريد البروبانويل (propanoyl chloride)؟

ارسم الصيغة البنائية لجزيء كلوريد البروبانويل، وعيّن على الرسم مكان ارتباط جزيء الماء.



يرتبط جزيء الماء في الموقع الموضّح لكلوريد البروبانويل.

5. أين ستضاف ذرّة البروم من بروميد الهيدروجين (HBr)على جزيء الألكين ذي الرابطة الثنائية غير المتماثلة بين ذرّتي كربون وفقًا لقاعدة ماركوفنيكوف؟

وفقًا لقاعدة ماركوفنيكوف ، فإن ذرة الهيدروجين تضُاف إلى ذرة الكربون الغير مشبعة التي ترتبط بأكبر عدد من ذرات الهيدروجين. وهذا يعني أن ذرة البروم ستضاف إلى ذرة الكربون الغير مشبعة التي ترتبط بأقل عدد من ذرات الهيدروجين.

6. فسر تأثير السالبية الكهربائية للمجموعة المغادرة على النشاط الكيميائي لتفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لمركبات مجموعة الكربونيل؟

ينتج عن المجموعات ذات السالبية الكهربائية الأعلى زيادة في نشاط التفاعل في موقع الكربونيل. لذلك، تجذب المجموعات ذات السالبية الكهربائية العالية الكثافة الإلكترونية، وهذا ينشّط مجموعة الكربونيل.

7. ما الذي يصف المجموعة المغادرة القوية على نحو أفضل: إلكتروفيل قوي أو نيوكليوفيل قوي؟ فسر اجابتك.

المجموعات المغادرة هي إمّا ذرة أو أيون أو مجموعة كيميائية تنفصل عن جزيء وتنزع معها زوجاً من الإلكترونات. فالمجموعة المغادرة القوية هي المجموعة التي تستطيع أن تحمل إلكترونات إضافية أكثر. تُعرف الإلكتروفيلات بالمواد التي لديها شغف بجذب الإلكترونات، بالتالي فإن المجموعة المغادرة الأقوى هي الإلكتروفيل الأقوى.

إعادة تدريس

1. يحتوي هذا الدرس على عدد من ميكانيكيات التفاعل. ويجب على الطلاب التدرّب على هذه الميكانيكيات والتشارك في شرحها وتوضيحها.
2. يمكن أن يكون أحد الطلاب مسؤولًا عن تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية للألكينات ، والتحلّل المائي لكلوريد الأسيل.
3. ويمكن لطالب آخر أن يكون مسؤولاً عن تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل وتفاعل الكحول مع كلوريد أسيل أو أنهيدريد الحمض.
4. سيتبادل الطالبان فهمهما للمواضيع.

إثراء

1. للتوسع، يمكن للطلاب إجراء الاستقصاء 3-2.
2. إذا علمت أن الإيثين يمكن أن يتفاعل مع البروم في محلول كلوريد الصوديوم المائي لتكوين كل من 2,1-ثنائي برومو إيثان و 1-برومو -2-كلوروإيثان. ارسم ميكانيكيات تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية التي تفسّر تكوّن كلا الناتجين.
3. ارسم الميكانيكية وتوقّع ناتج تفاعل كلوريد الهيدروجين مع الإيثين.
4. ارسم الشكل البنائي لمجموعة الكربونيل وعيّن رموز الاستقطاب $\delta+$ و $\delta-$
5. أيُّ من النيوكليوفيلات سيكون الأكثر مثالية كمجموعة مغادرة، تمثّل تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الايثانويل.
   - قدم تفسيرًا لكون أحد النيوكليوفيلات أقوى من الآخر.
   - ارسم ميكانيكية توضح تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي الذي توقّعت. قم بتضمين النواتج في الرسم.

الدرس 3-3
المركّبات العضويّة الأروماتية

مصادر تعلّم الدّرس

الموضوع/ الوقت	المحتوى	موارد كتاب الطالب	موارد كتاب المعلم
$\frac{1}{2}$ حصة	البنزين	الصفحتان 121، 122	الصفحة 172
$\frac{1}{2}$ حصّة	حلقة البنزين والأرينات وتسمية الأرينات البسيطة	الصفحتان 123، 124	الصفحة 173
1 حصّة	أولوية التسمية بحسب قواعد IUPAC	الصفحات 125-127	الصفحتان 174، 175
1 حصّة	تسمية وتركيب الألدهيدات الأروماتية	الصفحتان 128، 129	الصفحة 176
2 حصّة	تسمية وتركيب الكيتونات الأروماتية والأحماض الكربوكسيلية البسيطة	الصفحتان 130، 131	الصفحتان 177، 178
2 حصّة	تسمية وتركيب الفينولات والإسترات الأروماتية وكلوريدات الأسيل الأروماتية	الصفحات 132-136	الصفحات 178-180
1 حصّة	ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الأرينات	الصفحة 137	الصفحة 181
2 حصّة	عملية نيترة الأرينات وأكسدة ألكيلات الأرينات	الصفحتان 138، 139	الصفحة 182
1 حصّة	تفاعلات الفينول	الصفحتان 140، 141	الصفحة 183
1 حصّة	نمذجة المركّبات الأروماتية	الصفحة 142	الصفحات 184–187 ورقة النشاط 3-3

الأنشطة	مواد من أجل النّشاط
3-3 نمذجة المركّبات الأروماتية	مجموعة باسكو للنماذج الجزيئية (PS-3400) أو مجموعة مشابهة لها.

مخرجات التعلّم

C1204.1 يفسر ويستخدم طريقة تسمية، وكتابة الصيغ البنائية لفئات المركّبات الأروماتية الآتية:

- الأرينات
- هاليدات الأريل (الأرينات الهالوجينية).
- الفينولات
- الألدهيدات والكيتونات الأروماتية.
- الأحماض الكربوكسيلية والأسترات، وكلوريدات الأسيل الأروماتية.

C1204.2 يصف كيمياء الأرينات (على سبيل المثال البنزين، وميثيل البنزين)؛ كما يتضح من تفاعلات الاستبدال (الإحلال) بإلكتروفيلات مثل تفاعل نيترة وأكسدة السلسلة الجانبية.

C1204.3 يدرس ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الأرينات، وتأثير عدم تمركز الإلكترونات في الأرينات في مثل هذه التفاعلات.

C1204.4 يصف كيمياء الفينول، كما يتضح من تفاعلاته مع القواعد، وفلز الصوديوم وباستخدام تفاعلات الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الحلقة الأروماتية (العطرية).

الزّمن المقترح للدّرس

يستغرق تنفيذ هذا الدرس 12 حصة صفية، وتتضمّن حصة واحدة لنشاط نمذجة المركّبات الأروماتية، ومناقشة أفكار.

المعرفة السابقة

يُفترض أن يكون الطلاب على دراية بالمواضيع الآتية:

- التراكيب البنائية والمعادلات لمركّبات عضويّة مختلفة.
- تسمية المركّبات العضويّة الأليفاتية بحسب الأيوباك.

المفردات

Arenes	الأرينات
Alkylarenes	ألكيل الأرينات
Benzylic position	الموقع البنزيلي
Benzylic hydrogen	الهيدروجين البنزيلي
Halogenoarenes	هاليدات الأريل (الأرينات الهالوجينية)
Phenol	الفينول
Phenyl	الفينيل
Benzaldehyde	البنزالدهيد
Benzoic acid	حمض البنزويك
Benzoate	البنزوات

افتتاحيّة الدرس

1. تمّ تصميم نشاط الاندماج هذا لتشجيع الطلاب على تعلّم كل ما يتعلق بالمركّبات الأروماتية. وسيتحقّق ذلك من خلال تقديم جزيئات مألوفة للطلاب، لها خصائص مختلفة إختلافًا كبيرًا، إلّا أن كلًا منها يحتوي على حلقة البنزين.
2. على المعلم تشجيع الطلاب على توقّع أيّ الأسماء التي تتوافق مع تركيب بنائي محدّد، ما يشجّعهم على إجراء بحث عن هذه الجزيئات للتأكّد من صحة توقّعاتهم.
3. إجابات نشاط الربط بين أسماء المركّبات وتراكيبها ستكون على النحو الآتي:

سينمالدهيد Cinnamaldehyde (d).

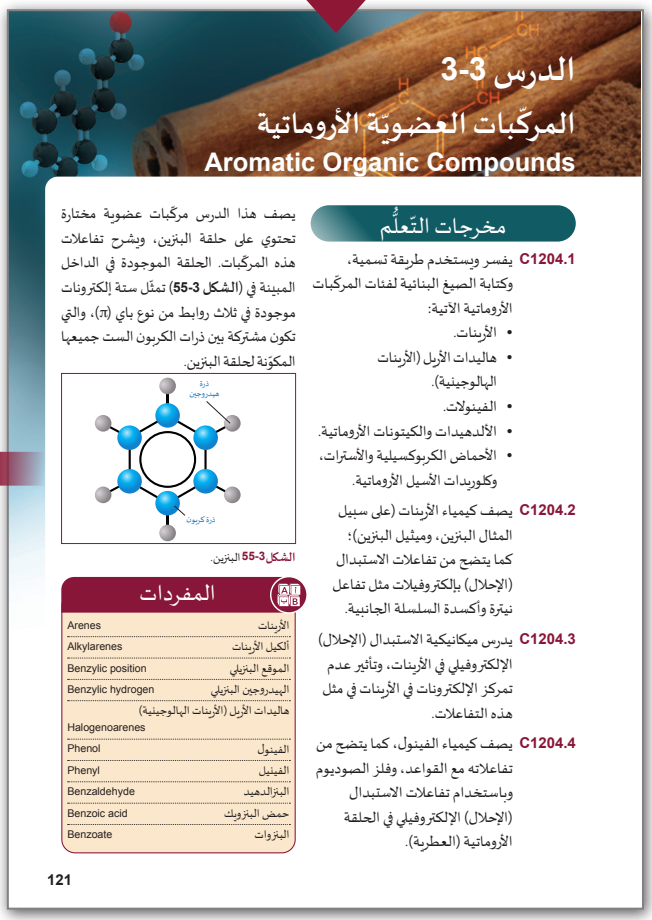
طارد حشرات البعوض DEET (a).

الآيبوبروفين Ibuprofen (e).

الميثامفيتامين Methamphetamine (c).

الفانيلين Vanillin (b).

4. شجّع الطلاب على تصميم هذه التراكيب البنائية وبنائها باستخدام مجموعة النماذج الجزيئية.



الدرس 3-3

المركّبات العضويّة الأروماتية

Aromatic Organic Compounds

مخرجات التّعلُّم

C1204.1 يفسر ويستخدم طريقة تسمية، وكتابة الصيغ البنائية لفئات المركّبات الأروماتية الآتية:
- الأرينات.
- هاليدات الأريل (الأرينات الهالوجينية).
- الفينولات.
- الألدهيدات والكيتونات الأروماتية.
- الأحماض الكربوكسيلية والأسترات، وكلوريدات الأسيل الأروماتية.

C1204.2 يصف كيمياء الأرينات (على سبيل المثال البنزين، وميثيل البنزين)؛ كما يتضح من تفاعلات الاستبدال (الإحلال) بإلكتروفيلات مثل تفاعل نيترة وأكسدة السلسلة الجانبية.

C1204.3 يدرس ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الأرينات، وتأثير عدم تمركز الإلكترونات في الأرينات في مثل هذه التفاعلات.

C1204.4 يصف كيمياء الفينول، كما يتضح من تفاعلاته مع القواعد، وفلز الصوديوم وباستخدام تفاعلات الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الحلقة الأروماتية (العطرية).

يصف هذا الدرس مركّبات عضوية مختارة تحتوي على حلقة البنزين، ويشرح تفاعلات هذه المركّبات. الحلقة الموجودة في الداخل المبينة في (**الشكل 3-55**) تمثّل ستة إلكترونات موجودة في ثلاث روابط من نوع باي (π)، والتي تكون مشتركة بين ذرات الكربون الست جميعها المكوّنة لحلقة البنزين.

الشكل 3-55 البنزين.

المفردات

Arenes	الأرينات
Alkylarenes	ألكيل الأرينات
Benzylic position	الموقع البنزيلي
Benzylic hydrogen	الهيدروجين البنزيلي
هاليدات الأريل (الأرينات الهالوجينية)	
Halogenoarenes	
Phenol	الفينول
Phenyl	الفينيل
Benzaldehyde	البنزالدهيد
Benzoic acid	حمض البنزويك
Benzoate	البنزوات

البنزين – استخداماته التاريخية، ومركّباته، ومخاطره

الشكل 3-56 الكثير من المحرّكات الموجودة في السيارات ذات الأداء العالي تتطلّب وقودًا من الأوكتان ذي التصنيف العالي، مثل هذه السيارة من نوع شيفروليه كورفيت؛ والتي تمّ عرضها في 18 من شهر أكتوبر في العام 2018م في معرض السيارات الذي أقيم في مدينة الدوحة، قطر.

اكتُشِف البنزين لأول مرة في العام 1825م من قبل العالم الإنجليزي المشهور مايكل فارادي. وقد أُثبت في أواخر عشرينات القرن الماضي تسبّبه في مرض سرطان الدم. وقد كان للبنزين استخدامات كثيرة قبل أن يتمّ تحديد خصائصه المسبّبة للسرطان، والتي تتضمّن إعداد القهوة الخالية من الكافيين، والمواد المستخدمة بعد الحلاقة!

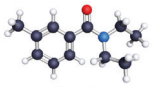
يُعدّ البنزين أحد مكوّنات الجازولين الصغيرة (بنزين السيارات)، والغاية من وجوده في الجازولين هي تعزيز تصنيف الأوكتان المستخدم في المحرّكات ذات الأداء العالي (**الشكل 3-56**). ويعمل البنزين الموجود في الجازولين على التقليل من عملية الفرقعة أو الطرق knocking، وهي عبارة عن تأثير غير مرغوب فيه لعملية الاحتراق. لهذا، تعمل الكثير من الدول على تحديد كمية البنزين التي يمكن إضافتها إلى الجازولين وتنظيمها.

إنّ الكثير من الجزيئات المفيدة، والآمنة والموجودة في الطبيعة تحتوي على حلقة البنزين كونها جزءًا من تراكيبها الجزيئية.

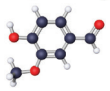
ابحث في أسماء المركّبات الآتية، والتي تحتوي على حلقة البنزين، ثم صل هذه المركّبات بتركيبها (a – e) الموجود إلى اليسار.

- سينمالدهيد Cinnamaldehyde: الجزيء الأساسي المسؤول عن رائحة القرفة ونكهتها.
- "DEET": طارد حشرات البعوض.
- الآيبوبروفين "Ibuprofen": دواء مضادّ للالتهابات ومخفّف للألم.
- الميثامفيتامين Methamphetamine: منشّط خطير للغاية للجهاز العصبي المركزي.
- الفانيلين Vanillin: الجزيء الأساسي المسؤول عن رائحة الفانيلّا ونكهتها.

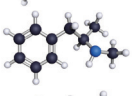
(a)



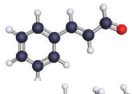
(b)



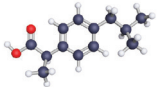
(c)



(d)

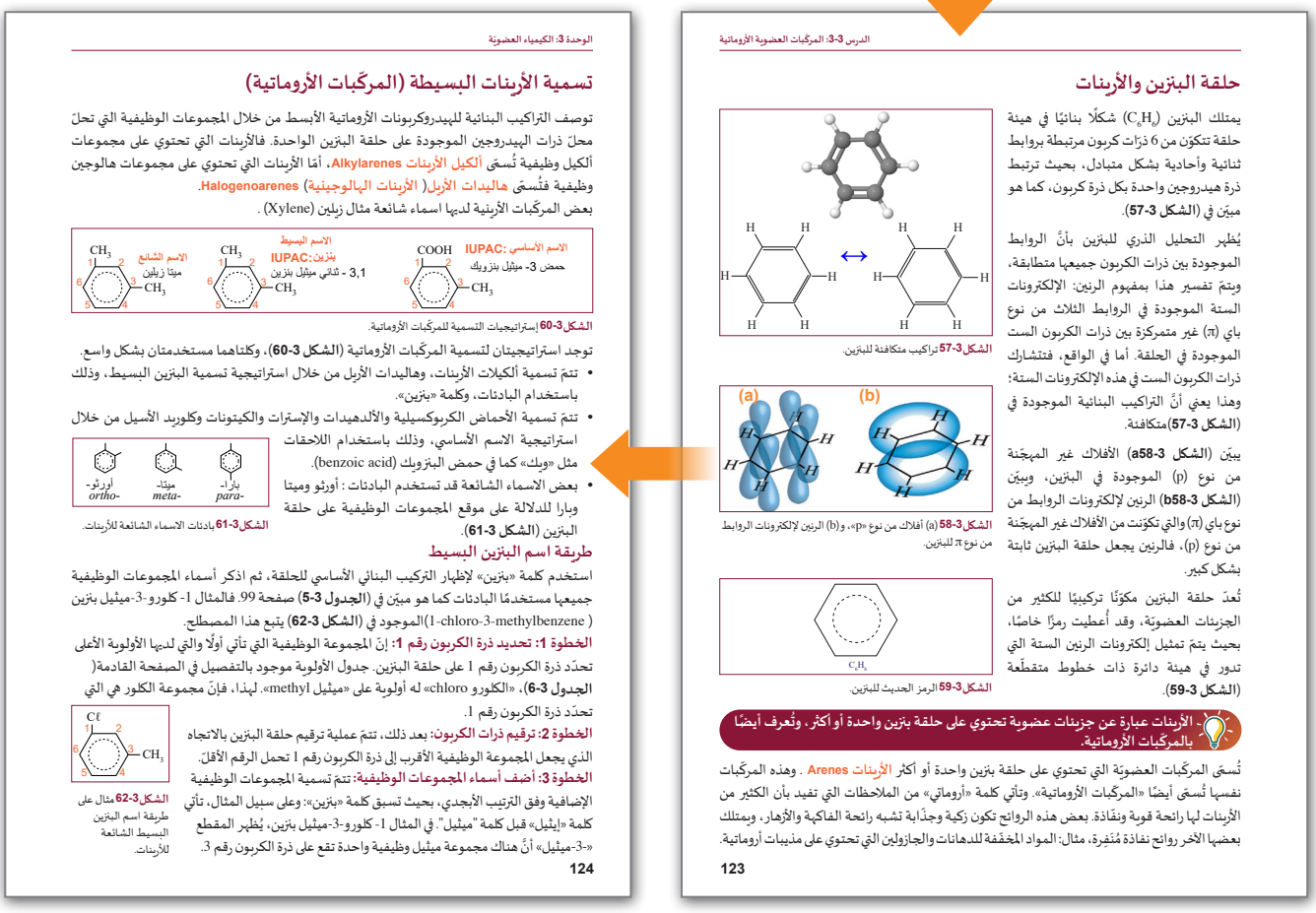


(e)



حلقة البنزين والأرينات

1. وزّع الطلاب في مجموعات ثنائية، ثم اطلب إليهم تصميم حلقة بنزين وبناءها للتعرف على التركيب البنائي لهذا المركب.
2. باستخدام التركيب البنائيَ للبنزين، اشرح كيف تكون الإلكترونات الستة الموجودة في الروابط الثنائية الثلاث غير متمركزة، ولكنها مشتركة بين ذرات الكربون الست جميعها المكوّنة لحلقة البنزين.
3. تحتوي الكثير من المركّبات العضوية على حلقة بنزين، وتسمَى "الأرينات".
4. عند تسمية الأرينات، تأكّد من فهم الطلاب للفرق بين البادئات والخواتيم، حيث يتم تحديد ألكيلات الأرينات، وهاليدات الأريل باستخدام البادئات. أما الأحماض الكربوكسيلية والألدهيدات والإسترات والكيتونات وكلوريدات الأسيل، فتتمّ تسميتها باستراتيجية الاسم الأساسي باستخدام الخواتيم.
5. تمّ استخدام اصطلاح التسمية الأبجدية في السنوات السابقة عند تسمية المركّبات العضوية البسيطة. ذكّر الطلاب بالقواعد بحسب الأيوباك.
6. باستخدام نموذج الأرين، اتبع الخطوات لتسمية الأرين. ثم اطلب إلى الطلاب تحديد أرقام ذرات الكربون، وإضافة المجموعة الوظيفية.
7. بعد التدرب على تسمية بعض الأرينات، على الطلاب إعادة كتابة خطوات التسمية باستخدام أسلوبهم الشخصي.



حلقة البنزين والأرينات

يمتلك البنزين (C_6H_6) شكلًا بنائيًا في هيئة حلقة تتكوّن من 6 ذرّات كربون مرتبطة بروابط ثنائية وأحادية بشكل متبادل، بحيث ترتبط ذرة هيدروجين واحدة بكل ذرة كربون، كما هو مبيّن في (**الشكل 3-57**).

يُظهر التحليل الذري للبنزين بأنَّ الروابط الموجودة بين ذرات الكربون جميعها متطابقة، ويتمّ تفسير هذا بمفهوم الرنين: الإلكترونات الستة الموجودة في الروابط الثلاث من نوع باي (π) غير متمركزة بين ذرات الكربون الست الموجودة في الحلقة. أما في الواقع، فتتشارك ذرات الكربون الست في هذه الإلكترونات الستة؛ وهذا يعني أنَّ التراكيب البنائية الموجودة في (**الشكل 3-57**)متكافئة.

يبيّن (**الشكل 3-58a**) الأفلاك غير المهجّنة من نوع (p) الموجودة في البنزين، ويبيّن (**الشكل 3-58b**) الرنين لإلكترونات الروابط من نوع باي (π) والتي تكوّنت من الأفلاك غير المهجّنة من نوع (p)، فالرنين يجعل حلقة البنزين ثابتة بشكل كبير.

تُعدّ حلقة البنزين مكوّنًا تركيبيًا للكثير من الجزيئات العضويّة، وقد أُعطيت رمزًا خاصًا، بحيث يتمّ تمثيل إلكترونات الرنين الستة التي تدور في هيئة دائرة ذات خطوط متقطّعة (**الشكل 3-59**).

الشكل 3-57 تراكيب متكافئة للبنزين.

الشكل 3-58 (a) أفلاك من نوع «p»، و(b) الرنين لإلكترونات الروابط من نوع π للبنزين.

الشكل 3-59 الرمز الحديث للبنزين.

الأرينات عبارة عن جزيئات عضوية تحتوي على حلقة بنزين واحدة أو أكثر. وتُعرف أيضًا بالمركّبات الأروماتية.

تُسمّى المركّبات العضويّة التي تحتوي على حلقة بنزين واحدة أو أكثر **الأرينات Arenes**. وهذه المركّبات نفسها تُسمّى أيضًا «المركّبات الأروماتية». وتأتي كلمة «أروماتي» من الملاحظات التي تفيد بأن الكثير من الأرينات لها رائحة قوية ونفّاذة. بعض هذه الروائح تكون زكية وجذّابة تشبه رائحة الفاكهة والأزهار، ويمتلك بعضها الآخر روائح نفاذة مُنفّرة، مثال: المواد المخفّفة للدهانات والجازولين التي تحتوي على مذيبات أروماتية.

تسمية الأرينات البسيطة (المركّبات الأروماتية)

توصف التراكيب البنائية للهيدروكربونات الأروماتية الأبسط من خلال المجموعات الوظيفية التي تحلّ محلّ ذرات الهيدروجين الموجودة على حلقة البنزين الواحدة. فالأرينات التي تحتوي على مجموعات ألكيل وظيفية تُسمّى **ألكيل الأرينات Alkylarenes**، أمّا الأرينات التي تحتوي على مجموعات هالوجين وظيفية فتُسمّى **هاليدات الأريل(الأرينات الهالوجينية) Halogenoarenes**.

بعض المركّبات الأرينية لديها اسماء شائعة مثال زيلين (Xylene) .

الشكل 3-60 إستراتيجيات التسمية للمركّبات الأروماتية.

توجد استراتيجيتان لتسمية المركّبات الأروماتية (**الشكل 3-60**)، وكلتاهما مستخدمتان بشكل واسع.

- تتمّ تسمية ألكيلات الأرينات، وهاليدات الأريل من خلال استراتيجية تسمية البنزين البسيط، وذلك باستخدام البادئات، وكلمة «بنزين».
- تتمّ 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 الاسماء الشائعة قد تستخدم البادئات : أورثو وميتا وبارا للدلالة على موقع المجموعات الوظيفية على حلقة البنزين (**الشكل 3-61**).

الشكل 3-61 بادئات الاسماء الشائعة للأرينات.

طريقة اسم البنزين البسيط

استخدم كلمة «بنزين» لإظهار التركيب البنائي الأساسي للحلقة، ثم اذكر أسماء المجموعات الوظيفية جميعها مستخدمًا البادئات كما هو مبيّن في (**الجدول 5-3**) صفحة 99. 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: إنّ المجموعة الوظيفية التي تأتي أولًا 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.

الخطوة 2: ترقيم ذرات الكربون: بعد ذلك، تتمّ عملية ترقيم حلقة البنزين بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقلّ.

الخطوة 3: أضف أسماء المجموعات الوظيفية: تتمّ 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» أنَّ هناك مجموعة ميثيل وظيفية واحدة تقع على ذرة الكربون رقم 3.

الشكل 3-62 مثال على طريقة اسم البنزين البسيط الشائعة للأرينات.

أولوية التسمية بحسب قواعد IUPAC

1. راجع **الجدول 3-6** مع الطلاب، وراجع أولويات تسمية المركّبات.
2. إن السماح للطلاب بمراجعة تعريف الحمض الكربوكسيلي والإسترات وكلوريدات الأسيل والكيتونات، والألدهيدات والكحولات يُعدّ فكرة جيدة.
3. عند مراجعة الطلاب للتعريفات، اذكر الخاتمة لكل فئة. وبإمكان الطلاب تصميم بطاقات تعليمية لتذكّر أولويات التسمية.
4. حلّ المثال 22 على السبّورة.
5. اشرح استخدام المقاطع "ثنائي"، و"ثلاثي"، و"رباعي" عندما توجد مجموعات وظيفية متعدّدة من النوع نفسه.
6. تُعدّ عملية ترقيم حلقة البنزين مهمّة جدًا ولكنها مربكة للطلاب. لذا، تأكد، في كل مثال، من أن يتفحّص الطلاب **الجدول 3-6**، ويدوّنوا أولوية التسمية وفقًا لذلك. فالمجموعة الوظيفية ذات الأولوية الأعلى سيتم تعيينها بأنها تحمل الرقم 1.

أولوية التسمية بحسب قواعد الأيوباك IUPAC

هنالك الكثير من المركّبات يرتبط فيها كثير من المجموعات الوظيفية بالحلقة نفسها. ولتجنّب الإرباك في عملية التسمية، فقد حددت الأيوباك IUPAC قائمة بالأولويات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار في عملية التسمية. فالمجموعة الوظيفية التي لها الأولوية الأعلى وفقًا (**للجدول 3-6**) سوف:

a. تحدّد خاتمة الاسم للجزيء.

b. تحدّد ذرة كربون التي ستحمل رقم 1 عند تسمية الحلقة.

الجدول 3-6 أولوية تسمية الأزينات بحسب الأيوباك IUPAC.

أولوية الاسم	النوع	المجموعة الوظيفية	الخاتمة	مثال
1	أحماض كربوكسيلية	–COOH	"حمض"ويك-	حمض البنزويك Benzoic acid
2	إستر	–COO–R	"وات"	بنزوات الميثيل methylbenzoate
3	كلوريدات الأسيل	–COCl	"ويل-"	كلوريد البنزويل benzoyl chloride
4	ألدهيد	–CHO	"ال"	بنزالدهيد benzaldehyde
5	كيتون	–CO–R	"ون"	فينيل إيثانون phenylethanone
6	فينول	–OH	"فينول"	فينول phenol

دائمًا ما تتم تسمية المجموعات الوظيفية الآتية بإبادئات:

7	هاليدات	–X	بترتيب أبجدي حسب اللغة الإنجليزية : بروموـ كلوروـ فلوروـ ايودو
8	ألكيل	$-C_nH_{2n+1}$	بترتيب أبجدي حسب اللغة الإنجليزية : بيوتيل، إيثيل، ميثيل، بروبيل
9	نيترو	$-NO_2$	نيترو

مثال 22

ما اسم المركّب الهيدروكربوني الأروماتي الذي إلى اليسار بحسب قواعد IUPAC .

الحلّ

توجد في هذا المركّب مجموعتان وظيفيتان، هما الحمض الكربوكسيلي COOH، والميثيل CH_3. الأولويّة الأعلى هنا هي لمجموعة COOH ؛ وذلك لتحديد الخاتمة وذرة الكربون رقم 1. وترتبط مجموعة الميثيل بذرة الكربون رقم 3. لذا، يكون اسم هذا المركّب: حمض 3- ميثيل بنزويك(3-Methylbenzoic acid).

المجموعات الوظيفية الأحاديّة والمتعدّدة

عند كتابة أرقام المجموعات المستبدلة على حلقة البنزين، نجد أن الرقم (1) لا يكتب مع اسم المركّب إلا عندما يكون هنالك اثنان أو أكثر من المجموعات الوظيفية نفسها: على سبيل المثال، تكون كتابة المقطع «1-كلورو» غير صحيحة، أمّا كتابة المقطع «1,2-ثنائي كلورو» فهي صحيحة.

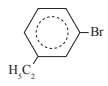
تُستخدم البادئات «ثنائي»، و«ثلاثي»، و«رباعي» عندما يكون هنالك مجموعات وظيفية متعدّدة من النوع نفسه، بحيث يتمّ تدوين أرقام مواقع هذه المجموعات باستخدام أرقام يفصل بينها بفواصل. وهذه الطريقة مشابهة لعملية تسمية الألكانات والهيدروكربونات الأليفاتية الأخرى بطريقة الأيوباك.

تذكّر أنّ عدد البادئات لا يتمّ حسابها ضمن الترتيب الأبجدي للاسم: على سبيل المثال، يوضع المقطع «رباعي إيثيل» قبل المقطع «ميثيل».

في بعض الأحيان يعتبر البنزين مجموعة بديلة و يسمى "فينيل $-C_6H_5$ "، إذا كانت المجموعة المرتبطة بحلقة البنزين تحتوي على أكثر من أربع ذرات كربون مثل فينيل هكسان، أو مجموعة وظيفية (مثل الرابطة الثنائية) كما في مثال 24.

مثال 23

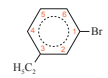
اذكر اسم المركّب الهيدروكربوني الأروماتي الآتي:



الحلّ

هنالك نوعين من المجموعات الوظيفية المرتبطة بحلقة البنزين، وهما: مجموعة، مجموعة إيثيل، ومجموعة البروم. يتم تعيين ذرة البروم على الكربون رقم 1 في حلقة البنزين وذلك بحسب قواعد الأيوباك للأولوية الأعلى. ثم الترقيم باتجاه حركة عقارب الساعة لإعطاء الرقم الأقلّ لمجموعة الإيثيل الأقرب إلى مجموعة البروم. بعد ذلك، يتمّ كتابة اسم برومو أولاً وفق الترتيب الأبجدي، فنحصل على اسم المركّب، ويكون على النحو الآتي:

1 - برومو- 3 -إيثيل بنزين 1-Bromo-3-Ethyl Benzene



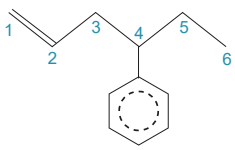
مثال 24

ارسم التركيب البنائي للمركّب 4- فينيل-1-هكسين (4-phenyl-1-hexene)

الحلّ

"1-هكسين" تعني أنّ هناك 6 ذرات كربون في سلسلة تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتي الكربون رقم 1 ورقم 2 .

"4- فينيل" تعني أنّ 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 .



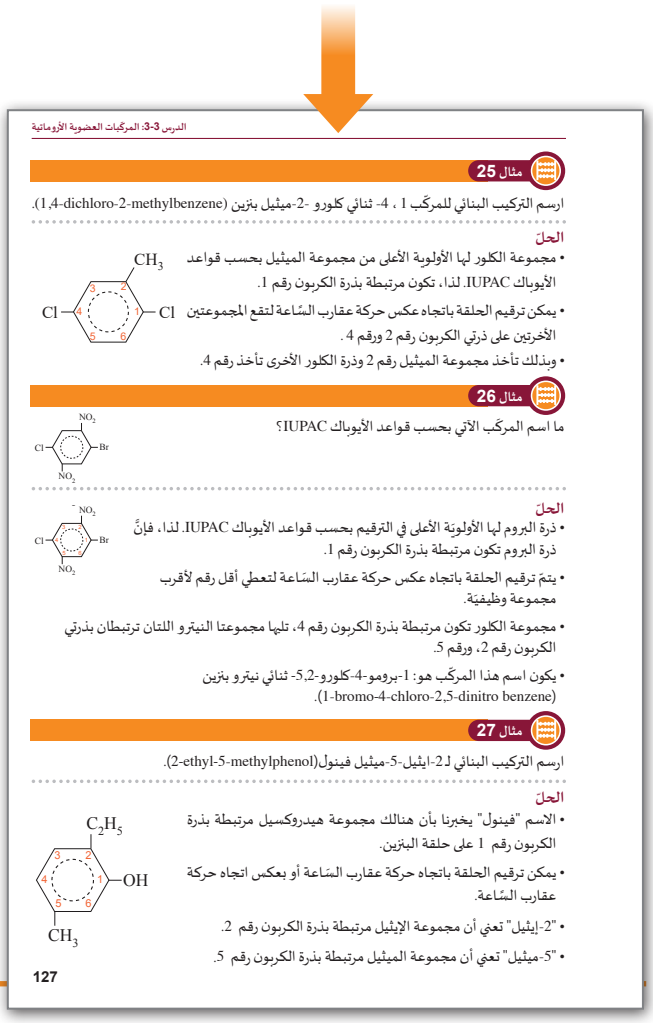
تدريبات على التسمية باستخدام قواعد الأيوباك

تعتبر الأمثلة 25 و 26 و27 أمثلة جيّدة للتدرّب على التسمية باستخدام الأيوباك .

مثال 25 :في هذا المثال يدرك الطالب أن مجموعة الكلور لها أولوية على مجموعة الميثيل, وبالتالي تخذ مجموعة الكلور رقم 1 على حلقة البنزين.

المثال 26: في هذا المثال هناك تحدي أكبر بالنسبة لتعيين المجموعة ذات الأولوية الأعلى، وذلك لأن حلقة البنزين مرتبطة بذرتين من الهالوجينات (Br -Cℓ). دع الطلاب يستنتجون أن الأولوية الأعلى بالتسمية هي لمجموعة البروم وبالتالي تأخذ الرقم 1 على حلقة البنزين. وجه الطلاب حول ترقيم الحلقة بإتجاه عكس عقارب الساعة ليعطي المجموعة الاقرب للبروم أقل ترقيم.

المثال 27: يبين هذا المثال للطلاب ان اسم حلقة البنزين التي تحتوي على مجموعة هيدروكسيل هو فينول، وبالتالي فإن الكربون رقم واحد تُعطى لذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل (OH-)



الدرس 3-3: المركبات العضوية الأروماتية

مثال 25

ارسم التركيب البنائي للمركّب 1 ، 4- ثنائي كلورو -2-ميثيل بنزين (1,4-dichloro-2-methylbenzene).

الحلّ

• مجموعة الكلور لها الأولوية الأعلى من مجموعة الميثيل بحسب قواعد الأيوباك IUPAC. لذا، تكون مرتبطة بذرة الكربون رقم 1.

• يمكن ترقيم الحلقة باتجاه عكس حركة عقارب السّاعة لتقع المجموعتين الأخرتين على ذرتي الكربون رقم 2 ورقم 4 .

• وبذلك تأخذ مجموعة الميثيل رقم 2 وذرة الكلور الأخرى تأخذ رقم 4.

مثال 26

ما اسم المركّب الآتي بحسب قواعد الأيوباك IUPAC؟

الحلّ

• ذرة البروم لها الأولويّة الأعلى في الترقيم بحسب قواعد الأيوباك IUPAC. لذا، فإنّ ذرة البروم تكون مرتبطة بذرة الكربون رقم 1.

• يتمّ ترقيم الحلقة باتجاه عكس حركة عقارب السّاعة لتعطي أقل رقم لأقرب مجموعة وظيفيّة.

• مجموعة الكلور تكون مرتبطة بذرة الكربون رقم 4، تليها مجموعتا النيترو اللتان ترتبطان بذرتي الكربون رقم 2، ورقم 5.

• يكون اسم هذا المركّب هو: 1-برومو-4-كلورو-5,2- ثنائي نيترو بنزين (1-bromo-4-chloro-2,5-dinitro benzene).

مثال 27

ارسم التركيب البنائي لـ2-ايثيل-5-ميثيل فينول(2-ethyl-5-methylphenol).

الحلّ

• الاسم "فينول" يخبرنا بأن هنالك مجموعة هيدروكسيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 1 على حلقة البنزين.

• يمكن ترقيم الحلقة باتجاه حركة عقارب السّاعة أو بعكس اتجاه حركة عقارب السّاعة.

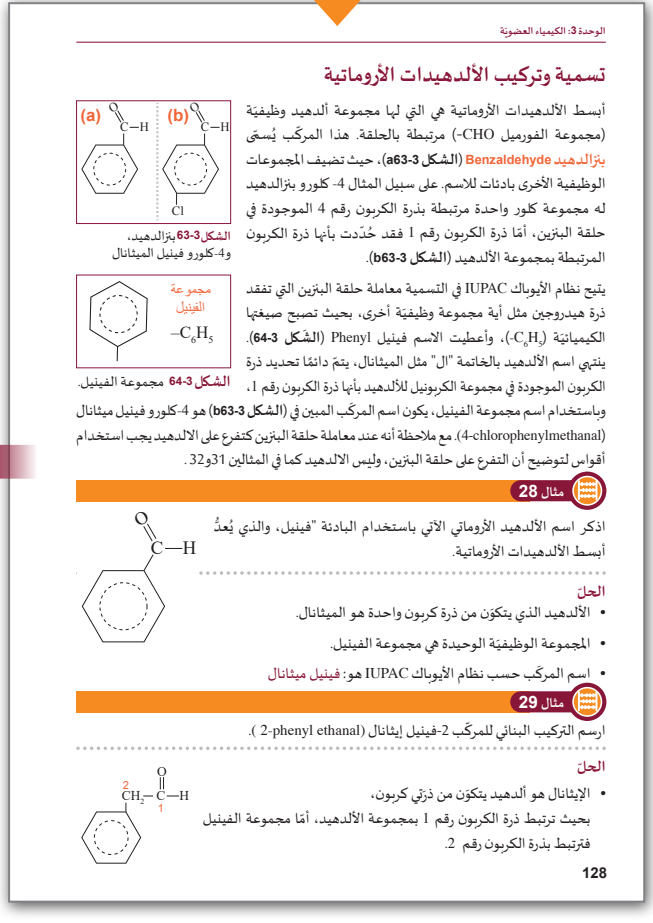
• "2-إيثيل" تعني أن مجموعة الإيثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 2.

• "5-ميثيل" تعني أن مجموعة الميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 5.

127

تسمية وتركيب الألدهيدات الأروماتية

1. سنتعامل الآن مع مجموعة الألدهيدات الوظيفية. فهناك نظامان لتسمية الألدهيدات الأروماتية يجب على الطلاب معرفتهما اعتماداً على تسمية مركب الألدهيد الأروماتي الأساسي C_6H_5CHO حيث يمكن تسميته بنزالدهيد أو فينيل ميثانال.
2. الطريقة الجيدة لتدريس ذلك تكون بالاعتماد على طريقة واحدة في كل مرة. لذا، اطلب إلى الطلاب أن يتذكّروا تعريف الألدهيدات.
3. عندما يرتبط الألدهيد بحلقة البنزين، نسمّيه "البنزالدهيد". وستكون مجموعة الألدهيد الوظيفية مرتبطة بذرة الكربون رقم 1، ثم نجد المجموعات الوظيفية الأخرى المرتبطة بحلقة البنزين. حلّ الأمثلة 28 و 29. وإذا أُتيح وقت كافٍ، أعطِ الطلاب المزيد من الأمثلة للتدرّب على تسميتها.
4. الآن، قدّم نظام التسمية التالي. وعوضًا عن التفكير في حلقة البنزين التي ترتبط بها مجموعة وظيفية، تذكَّر أن المركّب عبارة عن ألدهيد ترتبط به مجموعة وظيفية: في (**الشكل 3-63a**)، لدينا ميثانال مرتبط بمجموعة فينيل أما في (**الشكل 3-63b**) فتحتوي مجموعة الفينيل على ذرة كلور مرتبطة بذرة الكربون الرابعة، ما يجعل اسم المركّب 4-كلورو فينيل ميثانال 4- chloro phenyl methanal.
5. حل المثالين 30 و 31 ثم تحدى الطلاب من خلال حل المثال 32 باستخدام الفينيل.



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

تسمية وتركيب الألدهيدات الأروماتية

أبسط الألدهيدات الأروماتية هي التي لها مجموعة ألدهيد وظيفيّة (مجموعة الفورميل CHO-) مرتبطة بالحلقة. هذا المركّب يُسمّى بنزالدهيد Benzaldehyde (**الشكل 3-63a**)، حيث تضيف المجموعات الوظيفية الأخرى بادئات للاسم. على سبيل المثال 4- كلورو بنزالدهيد له مجموعة كلور واحدة مرتبطة بذرة الكربون رقم 4 الموجودة في حلقة البنزين، أمّا ذرة الكربون رقم 1 فقد حُدّدت بأنها ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الألدهيد (**الشكل 3-63b**).

(a) (b)

الشكل 3-63 بنزالدهيد، و4-كلورو فينيل الميثانال

يتبع نظام الأيوباك IUPAC في التسمية معاملة حلقة البنزين التي تفقد ذرة هيدروجين مثل أية مجموعة وظيفيّة أخرى، بحيث تصبح صيغتها الكيميائيّة ($-C_6H_5$)، وأعطيت الاسم فينيل Phenyl (**الشكل 3-64**). ينتهي اسم الألدهيد بالخاتمة "ال" مثل الميثانال، يتمّ دائمًا تحديد ذرة الكربون الموجودة في مجموعة الكربونيل للألدهيد بأنها ذرة الكربون رقم 1، وباستخدام اسم مجموعة الفينيل، يكون اسم المركّب المبين في (**الشكل 3-63b**) هو 4-كلورو فينيل ميثانال (4-chlorophenylmethanal). مع ملاحظة أنه عند معاملة حلقة البنزين كتفرع على الالدهيد يجب استخدام أقواس لتوضيح أن التفرع على حلقة البنزين، وليس الالدهيد كما في المثالين 31و32.

مجموعة الفينيل $-C_6H_5$

الشكل 3-64 مجموعة الفينيل.

مثال 28

اذكر اسم الألدهيد الأروماتي الآتي باستخدام البادئة "فينيل، والذي يُعدُّ أبسط الألدهيدات الأروماتية.

الحلّ

- الألدهيد الذي يتكوّن من ذرة كربون واحدة هو الميثانال.
- المجموعة الوظيفيّة الوحيدة هي مجموعة الفينيل.
- اسم المركّب حسب نظام الأيوباك IUPAC هو: فينيل ميثانال

مثال 29

ارسم التركيب البنائي للمركّب 2-فينيل إيثانال (2-phenyl ethanal).

الحلّ

- الإيثانال هو ألدهيد يتكوّن من ذرتي كربون، بحيث ترتبط ذرة الكربون رقم 1 بمجموعة الألدهيد، أمّا مجموعة الفينيل فترتبط بذرة الكربون رقم 2.

مثال 30

ارسم التركيب البنائي للمركّب 2،3-ثنائي كلورو-5-إيثيل بنزالدهيد (2،3-dichloro-5-ethylbenzaldehyde).

الحلّ

- يُظهر الاسم بنزالدهيد أنَّ حلقة البنزين مرتبطة بمجموعة ألدهيد، بحيث يتمّ تعيين ذرة الكربون المرتبطة في مجموعة الكربونيل للألدهيد على أنّها ذرة الكربون رقم 1.
- من هذا الموقع، رقّم 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 المركّب الآتي.

الحلّ

- سوف نستخدم اسم المجموعة الوظيفية فينيل، رغم أن المقطع بنزالدهيد واضح جدًا في هذا التركيب. اسم الألدهيد هنا هو الميثانال.
- عيّن ذرة الكربون التي تحمل رقم 1 على حلقة البنزين على أنّها تلك الذرة المرتبطة بمجموعة الكربونيل للألدهيد، ثم رقّم حلقة البنزين باتجاه حركة عقارب الساعة، وذلك لتعيين الأرقام الأقلّ لمجموعتي الميثيل المرتبطة بحلقة البنزين.
- توجد مجموعتا الميثيل على ذرتي الكربون اللتين تحملان الرقمين 3 و4.
- عندها، يكون اسم المركّب على النحو الآتي: (3،4-ثنائي ميثيل) فينيل ميثانال (3,4-dimethyl)phenylmethanal ويسمى أيضاً: (3،4- ثنائي ميثيل) بنزالدهيد

مثال 32

اذكر اسم المركّب الآتي.

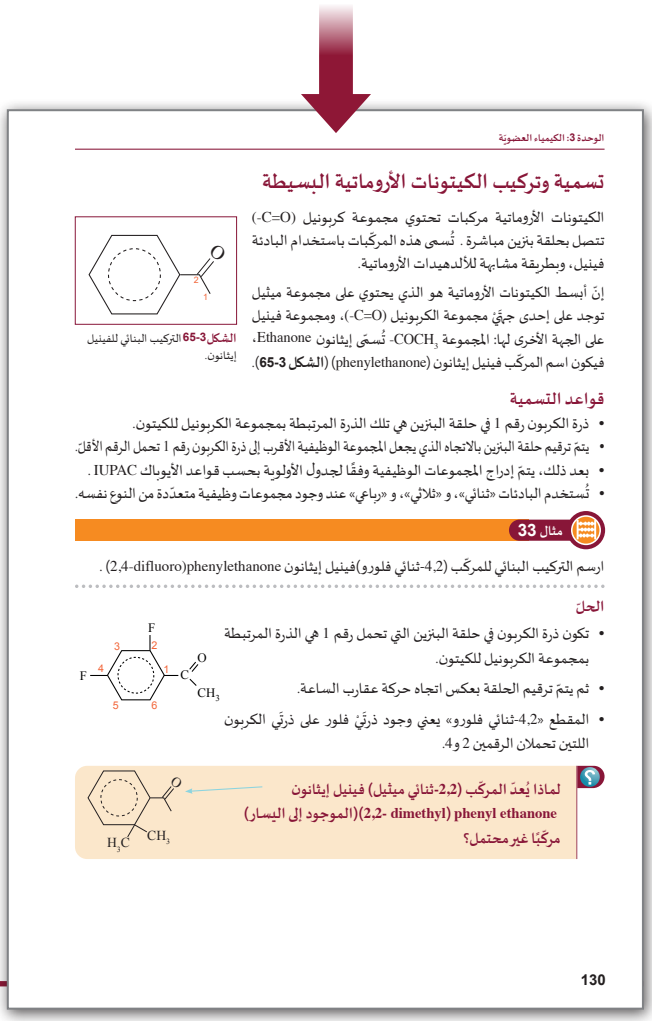
الحلّ

- لاحظ أنّ المقطع بنزالدهيد يُعدّ جزءًا من هذا الجزيء.
- عيّن ذرة الكربون التي تحمل رقم 1 على حلقة البنزين على أنّها تلك الذرة المرتبطة بمجموعة الكربونيل للألدهيد.
- إذا كانت مواقع ذرات الفلور الثلاث متماثلة على حلقة البنزين، فرقّم حلقة البنزين بالاتّجاه الذي تريد.
- عندها، يكون اسم المركّب بحسب الأيوباك هو: 3،4،5-ثلاثي فلوروبنزالدهيد (3,4,5 -trifluorobenzaldehyde) ويسمى أيضاً: (3،4،5-ثلاثي فلورو) فينيل ميثانال

تسمية وتركيب الكيتونات الأروماتية البسيطة

1. راجع الكيتونات مع الطلاب. تُستخدم الكيتونات الأروماتية المرتبطة بحلقة البنزين البادئة فينيل في تسمية مركّباتها كما هي الحال في الألدهيدات.
2. اشرح السبب الذي جعل المركّب 2,2-ثنائي ميثيل فينيل إيثانون 2,2- dimethyl phenyl ethanone مركّبا غير محتمل.

لتوضيح الفكرة نقارن بين ذرات الكربون في الألكان الحلقي وفي حلقة البنزين. تمتلك ذرات الكربون في الألكان الحلقي شكلًا هندسيًا رباعي الأوجه لمجالها الإلكتروني نتج عن أربعة أفلاك sp^3 مهجّنة. وذرات الكربون هذه يمكن أن تشكّل أربع روابط هي: اثنتان مع ذرات الكربون الموجودة في حلقة الكربون، و اثنتان مع مجموعتين وظيفيتين أخريين أو مع ذرتَيْ هيدروجين. بينما تمتلك ذرات الكربون الموجودة في حلقة البنزين شكلًا هندسيًا مثلثًا مسطحًا لمجالها الإلكتروني الناتج عن ثلاثة أفلاك sp^2 مهجّنة. (فلك التكافؤ الرابع هو فلك p غير مهجّن، ويستخدم في الرنين لإلكترونات الروابط من نوع π). وهذا يعني أن ذرات كربون حلقة البنزين يمكن أن تشكّل 3 روابط فقط، هي: اثنتان مع ذرات الكربون الموجودة في حلقة البنزين وواحدة مع مجموعة وظيفية أخرى، أو مع ذرة هيدروجين. لذلك، يمكن أن ترتبط ذرة الكربون الموجودة في حلقة البنزين بمجموعة وظيفية واحدة فقط على الأكثر. أما بالنسبة إلى المركّب 2,2-ثنائي ميثيل فينيل إيثانون (2,2-dimethyl) phenyl ethanone فلديه مجموعتا ميثيل مرتبطتان بذرة الكربون الموجودة في حلقة البنزين، وهذا غير ممكن.



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

تسمية وتركيب الكيتونات الأروماتية البسيطة

الكيتونات الأروماتية مركبات تحتوي مجموعة كربونيل (C=O-) تتصل بحلقة بنزين مباشرة. تُسمى هذه المركّبات باستخدام البادئة فينيل، وبطريقة مشابهة للألدهيدات الأروماتية.

إنّ أبسط الكيتونات الأروماتية هو الذي يحتوي على مجموعة ميثيل توجد على إحدى جهتَيْ مجموعة الكربونيل (C=O-)، ومجموعة فينيل على الجهة الأخرى لها: المجموعة $COCH_3$- تُسمّى إيثانون Ethanone، فيكون اسم المركّب فينيل إيثانون (phenylethanone) (**الشكل 3-65**).

الشكل 3-65 التركيب البنائي للفينيل إيثانون.

قواعد التسمية

- ذرة الكربون رقم 1 في حلقة البنزين هي تلك الذرة المرتبطة بمجموعة الكربونيل للكيتون.
- يتمّ ترقيم حلقة البنزين بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقلّ.
- بعد ذلك، يتمّ إدراج المجموعات الوظيفية وفقًا لجدول الأولوية بحسب قواعد الأيوباك IUPAC.
- تُستخدم البادئات «ثنائي»، و «ثلاثي»، و «رباعي» عند وجود مجموعات وظيفية متعدّدة من النوع نفسه.

مثال 33

ارسم التركيب البنائي للمركّب (2,4-ثنائي فلورو)فينيل إيثانون (2,4-difluoro)phenylethanone.

الحلّ

- تكون ذرة الكربون في حلقة البنزين التي تحمل رقم 1 هي الذرة المرتبطة بمجموعة الكربونيل للكيتون.
- ثم يتمّ ترقيم الحلقة بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة.
- المقطع «2,4-ثنائي فلورو» يعني وجود ذرتَيْ فلور على ذرتَي الكربون اللتين تحملان الرقمين 2 و4.

لماذا يُعدّ المركّب (2,2-ثنائي ميثيل) فينيل إيثانون (2,2- dimethyl) phenyl ethanone (الموجود إلى اليسار) مركّبًا غير محتمل؟

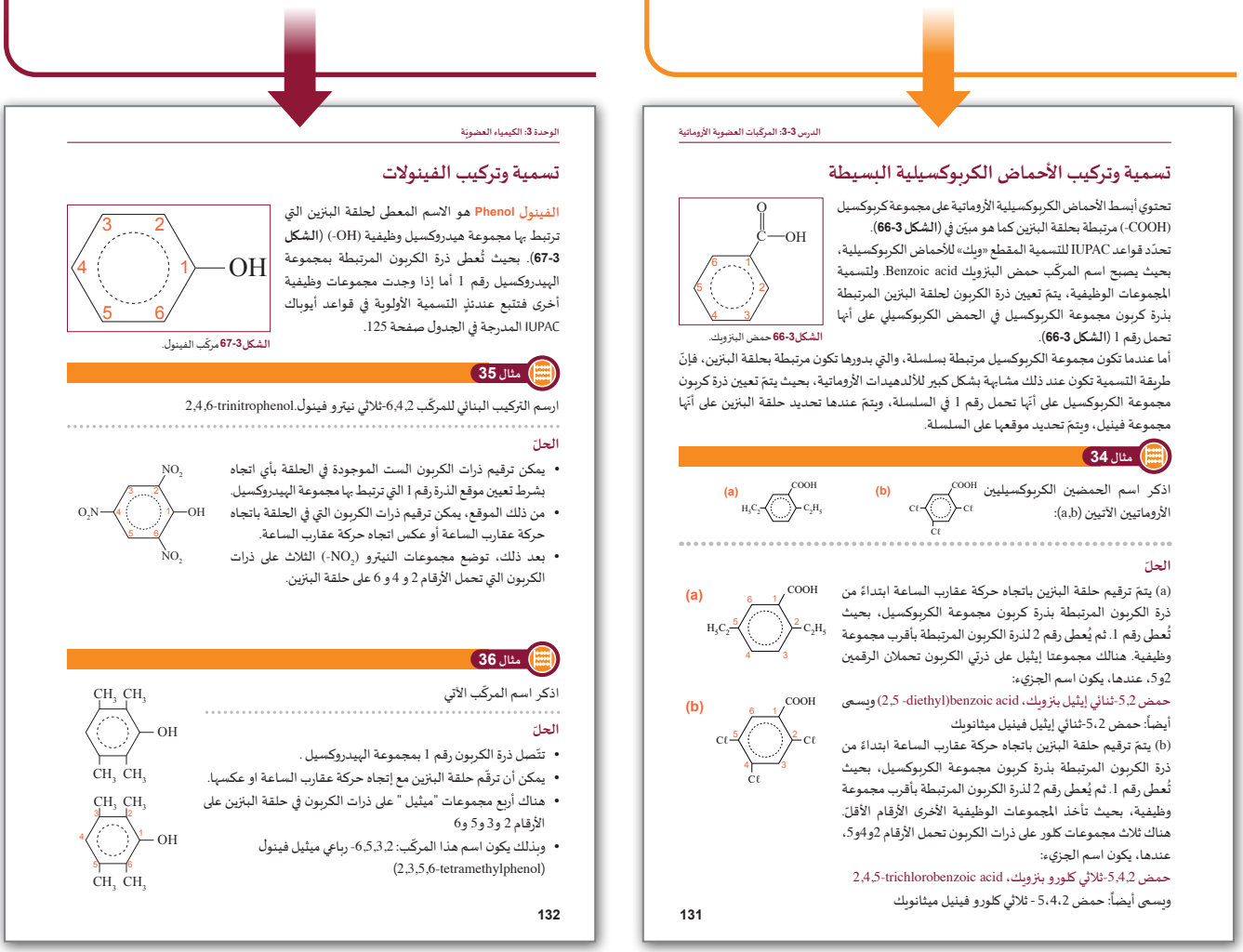
130

تسمية وتركيب الأحماض الكربوكسيلية البسيطة

1. ذكّر الطلاب بأن الأحماض الكربوكسيلية لديها مجموعة الكربوكسيل (-COOH) الوظيفية.
2. عندما ترتبط حلقة البنزين بمجموعة COOH- الوظيفية، يصبح اسم المركّب "حمض البنزويك".
3. يتمّ تعيين ذرة الكربون لحلقة البنزين المرتبطة بذرة كربون مجموعة الكربوكسيل في الحمض الكربوكسيلي على أنها تحمل الرقم 1. ثم، نحدّد مواقع المجموعات الوظيفية الأخرى، ونحدد عدد ذرات الكربون المرتبطة بها.
4. درّب الطلاب على تسمية الأحماض الكربوكسيلية الأروماتية حل المثال رقم 34.

تسمية وتركيب الفينولات

1. ذكّر الطلاب بأن الكحول عبارة عن مركّب يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل (-OH) الوظيفية.
2. عندما ترتبط حلقة البنزين بمجموعة الهيدروكسيل (-OH) الوظيفية، يُسمى المركب الناتج "فينول".
3. يتمّ تعيين ذرة الكربون لحلقة البنزين المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل في الفينول على أنها تحمل الرقم 1. ثم، نحدد مواقع المجموعات الوظيفية الأخرى، ونحدد عدّد ذرات الكربون المرتبطة بها.
4. أما مقاطع التسمية الأخرى فتبقى كما هي في المركّبات الأروماتية الأخرى.



الدرس 3-3: المركّبات العضوية الأروماتية

تسمية وتركيب الأحماض الكربوكسيلية البسيطة

تحتوي أبسط الأحماض الكربوكسيلية الأروماتية على مجموعة كربوكسيل (-COOH) مرتبطة بحلقة البنزين كما هو مبيّن في (**الشكل 3-66**).

تحدّد قواعد IUPAC للتسمية المقطع «ويك» للأحماض الكربوكسيلية، بحيث يصبح اسم المركّب حمض البنزويك Benzoic acid. ولتسمية المجموعات الوظيفية، يتمّ تعيين ذرة الكربون لحلقة البنزين المرتبطة بذرة كربون مجموعة الكربوكسيل في الحمض الكربوكسيلي على أنها تحمل رقم 1 (**الشكل 3-66**).

الشكل 3-66 حمض البنزويك.

أما عندما تكون مجموعة الكربوكسيل مرتبطة بسلسلة، والتي بدورها تكون مرتبطة بحلقة البنزين، فإنّ طريقة التسمية تكون عند ذلك مشابهة بشكل كبير للألدهيدات الأروماتية، بحيث يتمّ تعيين ذرة كربون مجموعة الكربوكسيل على أنّها تحمل رقم 1 في السلسلة، ويتمّ عندها تحديد حلقة البنزين على أنّها مجموعة فينيل، ويتمّ تحديد موقعها على السلسلة.

مثال 34

اذكر اسم الحمضين الكربوكسيليين الأروماتيين الآتيين (a,b):

(a) (b)

الحلّ

(a) يتمّ ترقيم حلقة البنزين باتجاه حركة عقارب الساعة ابتداءً من ذرة الكربون المرتبطة بذرة كربون مجموعة الكربوكسيل، بحيث تُعطى رقم 1. ثم يُعطى رقم 2 لذرة الكربون المرتبطة بأقرب مجموعة وظيفية. هنالك مجموعتا إيثيل على ذرتي الكربون تحملان الرقمين 2و5، عندها، يكون اسم الجزيء:

حمض 2,5-ثنائي إيثيل بنزويك، 2,5 -diethyl)benzoic acid) ويسمى أيضاً: حمض 2،5-ثنائي إيثيل فينيل ميثانويك

(b) يتمّ ترقيم حلقة البنزين باتجاه حركة عقارب الساعة ابتداءً من ذرة الكربون المرتبطة بذرة كربون مجموعة الكربوكسيل، بحيث تُعطى رقم 1. ثم يُعطى رقم 2 لذرة الكربون المرتبطة بأقرب مجموعة وظيفية، بحيث تأخذ المجموعات الوظيفية الأخرى الأرقام الأقلّ. هناك ثلاث مجموعات كلور على ذرات الكربون تحمل الأرقام 2و4و5، عندها، يكون اسم الجزيء:

حمض 2,4,5-ثلاثي كلورو بنزويك، 2,4,5-trichlorobenzoic acid

ويسمى أيضاً: حمض 2،4،5 - ثلاثي كلورو فينيل ميثانويك

تسمية وتركيب الفينولات

الفينول Phenol هو الاسم المعطى لحلقة البنزين التي ترتبط بها مجموعة هيدروكسيل وظيفية (-OH) (**الشكل 3-67**). بحيث تُعطى ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل رقم 1 أما إذا وجدت مجموعات وظيفية أخرى فتتبع عندئذٍ التسمية الأولوية في قواعد أيوباك IUPAC المدرجة في الجدول صفحة 125.

الشكل 3-67 مركّب الفينول.

مثال 35

ارسم التركيب البنائي للمركّب 2,4,6-ثلاثي نيترو فينول.2,4,6-trinitrophenol

الحلّ

- يمكن ترقيم ذرات الكربون الست الموجودة في الحلقة بأي اتجاه بشرط تعيين 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.
- بعد ذلك، توضع مجموعات النيترو ($-NO_2$) الثلاث على ذرات الكربون التي تحمل الأرقام 2 و 4 و 6 على حلقة البنزين.

مثال 36

اذكر اسم المركّب الآتي

الحلّ

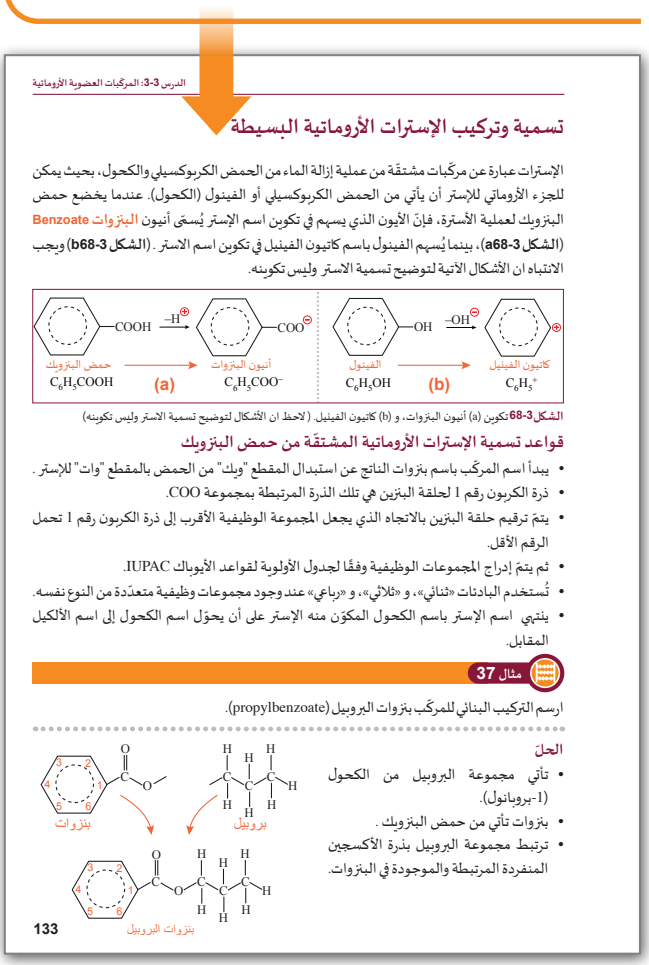
- تتّصل ذرة الكربون رقم 1 بمجموعة الهيدروكسيل .
- يمكن أن ترقّم حلقة البنزين مع إتجاه حركة عقارب الساعة او عكسها.
- هناك أربع مجموعات "ميثيل " على ذرات الكربون في حلقة البنزين على الأرقام 2 و3 و5 و6
- وبذلك يكون اسم هذا المركّب: 2,3,5,6-رباعي ميثيل فينول (2,3,5,6-tetramethylphenol)

تسمية وتركيب الإسترات الأروماتية البسيطة

1. ذكّر الطلاب بأنَّ الإسترات عبارة عن مركّبات تتكوّن عندما تتفاعل الأحماض الكربوكسيلية مع الكحولات.
2. أولًا، سنناقش تسمية الإسترات الأروماتية عندما يكون الحمض هو حمض البنزويك، والكحول لا يحتوي على حلقة بنزين (ليس فينول).
3. سوف تكون تسمية الجزء المشتق من الكحول منتهية بالخاتمة (يل) في البداية، ويكون المقطع (بنزوات) في الخاتمة عند التسمية باللغة الإنجليزية مثل إستر إيثيل بنزوات ، وباللغة العربية تكون كلمة بنزوات في بداية اسم الإستر أي يكتب الاسم السابق إستر بنزوات الإيثيل.
4. يتمّ تعيين ذرة الكربون المرتبطة بذرة كربون مجموعة الكحول على أنها تحمل الرقم 1.

قواعد تسمية الإسترات المشتقة من الفينول

1. سنواصل التعامل مع الإسترات، ولكن هذه المرة بوجود حلقة البنزين في الفينول.
2. ستكون مجموعة COO- مرتبطة بذرة الكربون رقم 1 لحلقة الفينيل من جهة ذرة الأكسجين.
3. سوف تعتمد نهاية الاسم على عدد ذرات الكربون من الحمض، وسوف تنتهي بالمقطع (وات).
4. تدرّب على تسمية مجموعة متنوّعة من الإسترات باستخدام الفينول وحمض البنزويك.



الدرس 3-3: المركبات العضوية الأروماتية

تسمية وتركيب الإسترات الأروماتية البسيطة

الإسترات عبارة عن مركّبات مشتقّة 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 يُسمّى أنيون البنزوات Benzoate (الشكل 3-68a)، بينما يُسهم الفينول باسم كاتيون الفينيل في تكوين اسم الاستر. (الشكل 3-68b) ويجب الانتباه ان الأشكال الآتية لتوضيح تسمية الاستر وليس تكوينه.

الشكل 3-68 تكوين (a) أنيون البنزوات، و (b) كاتيون الفينيل. (لاحظ ان الأشكال لتوضيح تسمية الاستر وليس تكوينه)

قواعد تسمية الإسترات الأروماتية المشتقّة من حمض البنزويك

- يبدأ اسم المركّب باسم بنزوات الناتج عن استبدال المقطع "ويك" من الحمض بالمقطع "وات" للإستر.
- ذرة الكربون رقم 1 لحلقة البنزين هي تلك الذرة المرتبطة بمجموعة COO.
- يتمّ ترقيم حلقة البنزين بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقل.
- ثم يتمّ إدراج المجموعات الوظيفية وفقًا لجدول الأولوية لقواعد الأيوباك IUPAC.
- تُستخدم البادئات «ثنائي»، و«ثلاثي»، و«رباعي» عند وجود مجموعات وظيفية متعدّدة من النوع نفسه.
- ينتهي اسم الإستر باسم الكحول المكوّن منه الإستر على أن يحوّل اسم الكحول إلى اسم الألكيل المقابل.

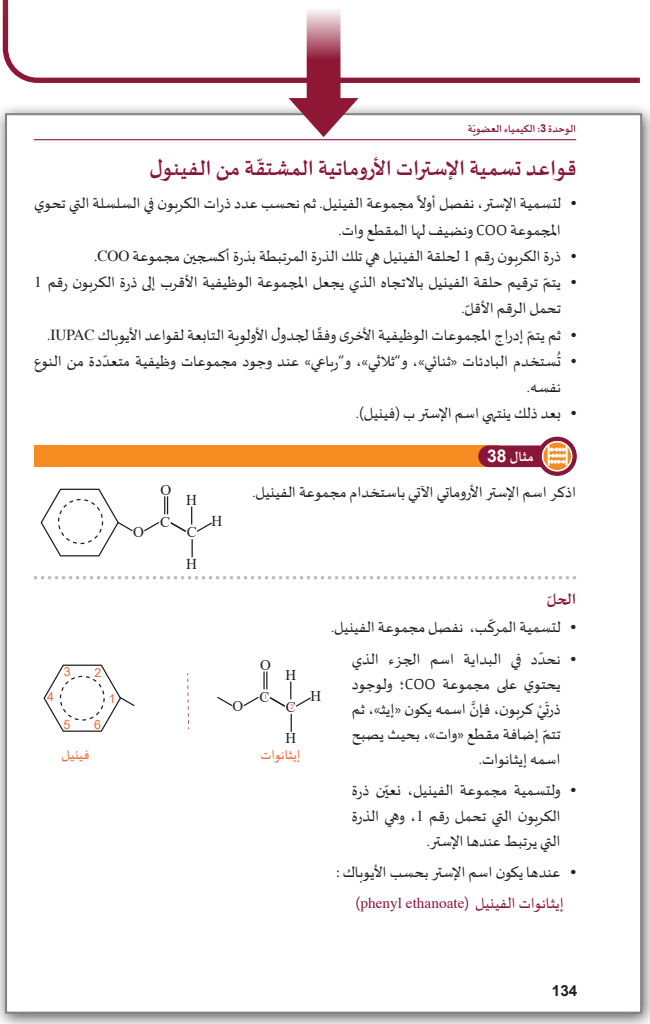
مثال 37

ارسم التركيب البنائي للمركّب بنزوات البروبيل (propylbenzoate).

الحلّ

- تأتي مجموعة البروبيل من الكحول (1-بروبانول).
- بنزوات تأتي من حمض البنزويك .
- ترتبط مجموعة البروبيل بذرة الأكسجين المنفردة المرتبطة والموجودة في البنزوات.

133



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

قواعد تسمية الإسترات الأروماتية المشتقّة من الفينول

- لتسمية الإستر، نفصل أولاً مجموعة الفينيل. ثم نحسب عدد ذرات الكربون في السلسلة التي تحوي المجموعة COO ونضيف لها المقطع وات.
- ذرة الكربون رقم 1 لحلقة الفينيل هي تلك الذرة المرتبطة بذرة أكسجين مجموعة COO.
- يتمّ ترقيم حلقة الفينيل بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقل.
- ثم يتمّ إدراج المجموعات الوظيفية الأخرى وفقًا لجدول الأولوية التابعة لقواعد الأيوباك IUPAC.
- تُستخدم البادئات «ثنائي»، و"ثلاثي»، و"رباعي» عند وجود مجموعات وظيفية متعدّدة من النوع نفسه.
- بعد ذلك ينتهي اسم الإستر ب (فينيل).

مثال 38

اذكر اسم الإستر الأروماتي الآتي باستخدام مجموعة الفينيل.

الحلّ

- لتسمية المركّب، نفصل مجموعة الفينيل.
- نحدّد في البداية اسم الجزء الذي يحتوي على مجموعة COO؛ ولوجود ذرتَيْ كربون، فإنَّ اسمه يكون «إيث»، ثم تتمّ إضافة مقطع «وات»، بحيث يصبح اسمه إيثانوات.
- ولتسمية مجموعة الفينيل، نعيّن ذرة الكربون التي تحمل رقم 1، وهي الذرة التي يرتبط عندها الإستر.
- عندها يكون اسم الإستر بحسب الأيوباك :

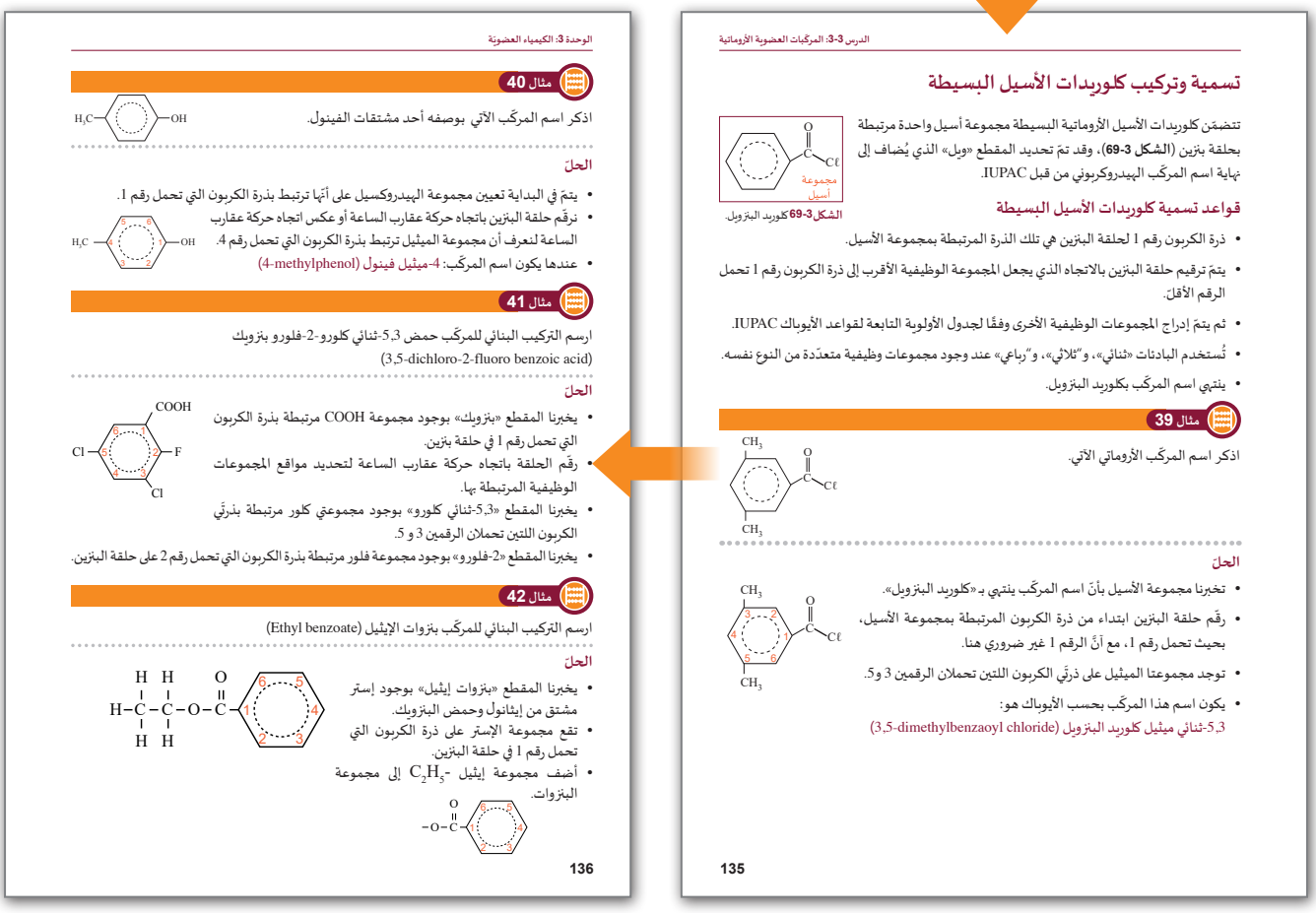
إيثانوات الفينيل (phenyl ethanoate)

فينيل — إيثانوات

134

تسمية وتركيب كلوريدات الأسيل البسيطة

1. اطلب إلى الطلاب رسم التركيب البنائي لكلوريد الأسيل.
2. عندما تكون السلسلة الجانبية "R" عبارة عن حلقة بنزين، فإننا نكوّن كلوريد أسيل أروماتي بسيطًا.
3. اطلب إلى الطلاب رسم ما يرون أنه التركيب البنائي الذي يجب أن يبدو عليه. ثم اطلب إليهم تفحّص التركيب البنائي الموجود في كتاب الطالب. هل كانوا على صواب؟
4. كلوريد الأسيل الأروماتي البسيط يُسمّى "كلوريد البنزويل".
5. عندما توجد مركّبات أخرى مرتبطة بحلقة البنزين، فإن الاسم سيكون له بادئات مختلفة.



الدرس 3-3: المركّبات العضوية الأروماتية

تسمية وتركيب كلوريدات الأسيل البسيطة

تتضمّن كلوريدات الأسيل الأروماتية البسيطة مجموعة أسيل واحدة مرتبطة بحلقة بنزين (**الشكل 3-69**)، وقد تمّ تحديد المقطع «ويل» الذي يُضاف إلى نهاية اسم المركّب الهيدروكربوني من قبل IUPAC.

مجموعة أسيل

الشكل 3-69 كلوريد البنزويل.

قواعد تسمية كلوريدات الأسيل البسيطة

- ذرة الكربون رقم 1 لحلقة البنزين هي تلك الذرة المرتبطة بمجموعة الأسيل.
- يتمّ ترقيم حلقة البنزين بالاتجاه الذي يجعل المجموعة الوظيفية الأقرب إلى ذرة الكربون رقم 1 تحمل الرقم الأقل.
- ثم يتمّ إدراج المجموعات الوظيفية الأخرى وفقًا لجدول الأولوية التابعة لقواعد الأيوباك IUPAC.
- تُستخدم البادئات «ثنائي»، و"ثلاثي»، و"رباعي» عند وجود مجموعات وظيفية متعدّدة من النوع نفسه.
- ينتهي اسم المركّب بكلوريد البنزويل.

مثال 39

اذكر اسم المركّب الأروماتي الآتي.

الحلّ

- تخبرنا مجموعة الأسيل بأنّ اسم المركّب ينتهي بـ«كلوريد البنزويل».
- رقّم حلقة البنزين ابتداء من ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الأسيل، بحيث تحمل رقم 1، مع أنّ الرقم 1 غير ضروري هنا.
- توجد مجموعتا الميثيل على ذرتي الكربون اللتين تحملان الرقمين 3 و5.
- يكون اسم هذا المركّب بحسب الأيوباك هو:

3,5-ثنائي ميثيل كلوريد البنزويل (3,5-dimethylbenzaoyl chloride)

مثال 40

اذكر اسم المركّب الآتي بوصفه أحد مشتقات الفينول.

الحلّ

- يتمّ في البداية تعيين مجموعة الهيدروكسيل على أنّها ترتبط بذرة الكربون التي تحمل رقم 1.
- نرقّم حلقة البنزين باتجاه حركة عقارب الساعة أو عكس اتجاه حركة عقارب الساعة لنعرف أن مجموعة الميثيل ترتبط بذرة الكربون التي تحمل رقم 4.

- عندها يكون اسم المركّب: 4-ميثيل فينول (4-methylphenol)

مثال 41

ارسم التركيب البنائي للمركّب حمض 3,5-ثنائي كلورو-2-فلورو بنزويك (3,5-dichloro-2-fluoro benzoic acid)

الحلّ

- يخبرنا المقطع «بنزويك» بوجود مجموعة COOH مرتبطة بذرة الكربون التي تحمل رقم 1 في حلقة بنزين.
- رقّم الحلقة باتجاه حركة عقارب الساعة لتحديد مواقع المجموعات الوظيفية المرتبطة بها.
- يخبرنا المقطع «3,5-ثنائي كلورو» بوجود مجموعتي كلور مرتبطة بذرتي الكربون اللتين تحملان الرقمين 3 و5.
- يخبرنا المقطع «2-فلورو» بوجود مجموعة فلور مرتبطة بذرة الكربون التي تحمل رقم 2 على حلقة البنزين.

مثال 42

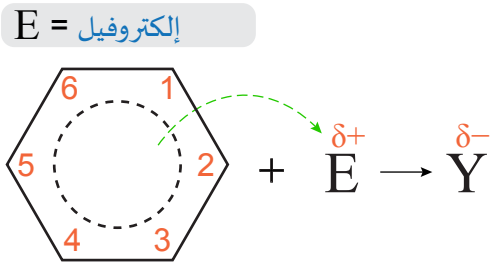
ارسم التركيب البنائي للمركّب بنزوات الإيثيل (Ethyl benzoate)

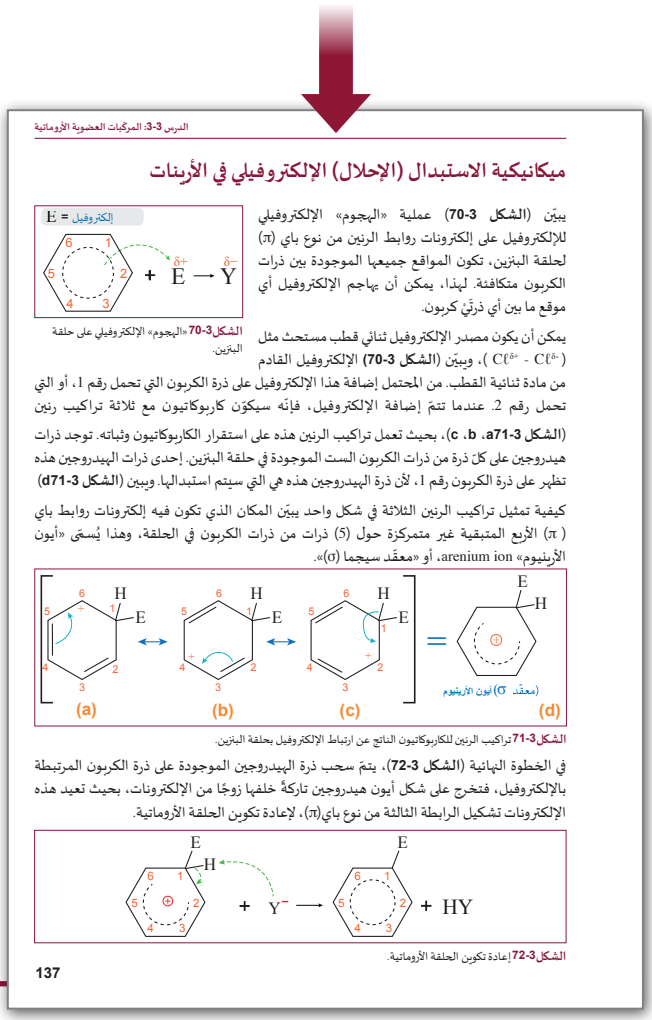
الحلّ

- يخبرنا المقطع «بنزوات إيثيل» بوجود إستر مشتق من إيثانول وحمض البنزويك.
- تقع مجموعة الإستر على ذرة الكربون التي تحمل رقم 1 في حلقة البنزين.
- أضف مجموعة إيثيل C_2H_5- إلى مجموعة البنزوات.

ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الأرينات

1. من المهمّ للطلاب فهم ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الأرينات. قبل عنونة الأرينات، اطلب إلى الطلاب مراجعة تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات. وضّح أن ذلك يحدث في الألكينات، حيث تخضع الجزيئات لتفاعل الإضافة. أما حلقات البنزين عندما تتعرّض إلى تفاعل إلكتروفيلي فإنها لن تخضع لتفاعل الإضافة، بل ستخضع لتفاعل إحلال.
2. لضمان فهم جيد لدى الطلاب، استخدم مخطّطًا على السبّورة، وبيّن للطلاب أن الإلكتروفيل يقترب من حلقة البنزين.
3. كَوْن حلقة البنزين تحتوي على إلكترونات غير متمركزة، فإن بإمكان الإلكتروفيل مهاجمة الموقع الذي يقع بين كلّ ذرتَيْ كربون.
4. عندما يرتبط الإلكتروفيل نفسه بحلقة بنزين، ستُكوّن حلقة البنزين كاربوكاتيون. وهذه الميكانيكية مشابهة لأيّة عملية إحلال إلكتروفيلي تمت مناقشتها في هذه الوحدة.
5. وضّح للطلاب في **الشكل 3-71** كيف تتكوّن ثلاثة تراكيب رنين بنائية. ويمكن تمثيل هذه التراكيب البنائية الثلاثة بواسطة معقد سيجما-σ.
6. في نهاية المطاف يغادر أيون الهيدروجين معيدًا تكوين الحلقة الأروماتية.




الدرس 3-3: المركّبات العضوية الأروماتية

ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي في الأرينات

يبيّن (**الشكل 3-70**) عملية «الهجوم» الإلكتروفيلي للإلكتروفيل على إلكترونات روابط الرنين من نوع باي (π) لحلقة البنزين، تكون المواقع جميعها الموجودة بين ذرات الكربون متكافئة. لهذا، يمكن أن يهاجم الإلكتروفيل أي موقع ما بين أي ذرتَيْ كربون.

يمكن أن يكون مصدر الإلكتروفيل ثنائي قطب مستحث مثل ($Cl^{\delta+} - Cl^{\delta-}$)، وبيّن (**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 تتمّ إضافة الإلكتروفيل، فإنّه سيكوّن كاربوكاتيون مع ثلاثة تراكيب رنين (**الشكل 3-71a، b، c**)، بحيث تعمل تراكيب الرنين هذه على استقرار الكاربوكاتيون وثباته. توجد ذرات هيدروجين على كلّ 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. وبيّن (**الشكل 3-71d**) 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 يُسمّى «أيون الأرنيوم» arenium ion، أو «معقّد سيجما (σ)».

الشكل 3-70 «الهجوم» الإلكتروفيلي على حلقة البنزين.

الشكل 3-71 تراكيب الرنين للكاربوكاتيون الناتج عن ارتباط الإلكتروفيل بحلقة البنزين.

في الخطوة النهائية (**الشكل 3-72**)، يتمّ سحب ذرة الهيدروجين الموجودة على ذرة الكربون المرتبطة بالإلكتروفيل، فتخرج على شكل أيون هيدروجين تاركةً خلفها زوجًا من الإلكترونات، بحيث تعيد هذه الإلكترونات تشكيل الرابطة الثالثة من نوع باي(π)، لإعادة تكوين الحلقة الأروماتية.

الشكل 3-72 إعادة تكوين الحلقة الأروماتية.

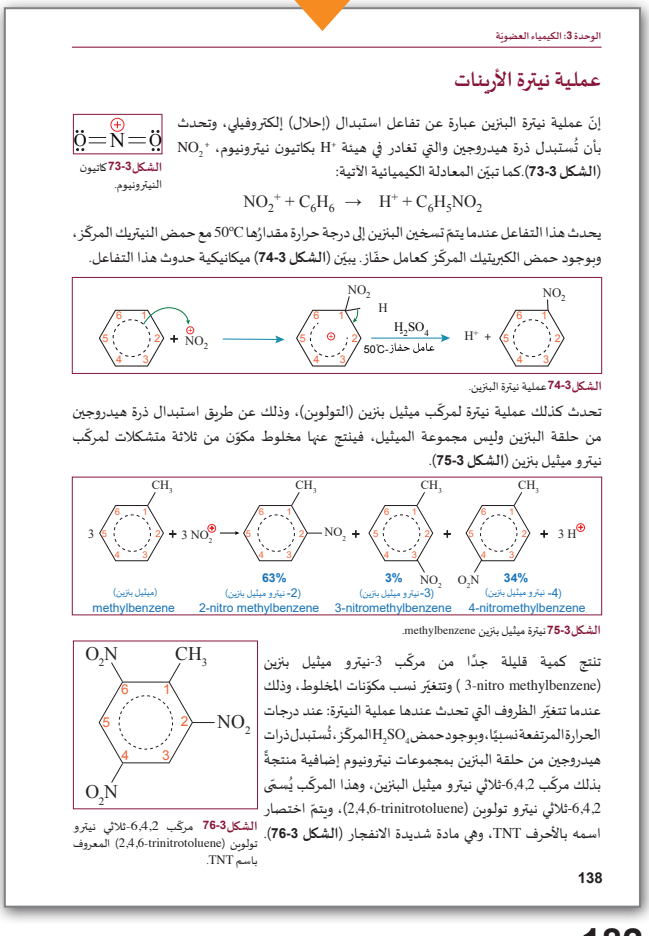
137

عملية نيترة الأرينات

1. درسنا تفاعلات الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي العامة، وأحدها سيكون عبارة عن استبدال (إحلال) إلكتروفيلي لكاتيون النيترونيوم.
2. ارسم ميكانيكية التفاعل على السبّورة، ووضّح كيف يهاجم أيون النيترونيوم حلقة البنزين، لينتهي التفاعل باستبدال أيون الهيدروجين وخروجه.
3. يحدث هذا التفاعل بوجود حمض الكبريتيك المركز كعامل حفّاز وعند درجة حرارة 50 °C.
4. ارسم ميكانيكية التفاعل التي تبين كيف أن أيون النيترونيوم يستبدل أيون الهيدروجين ويحل محله في مركّب التولوين.

أكسدة ألكيلات الأرينات (مركّبات ألكيلات البنزين

1. عندما تكون مجموعة الألكيل مرتبطة بحلقة البنزين، تُسمّى "ألكيل الأرين". اطلب إلى الطلاب رسم مجموعة ألكيل، ثم اطلب إليهم ربطها بحلقة بنزين.
2. باستخدام أمثلة الطلاب، ارسم واحدًا منها على السبّورة، واشرح المقصود بالموقع البنزيلي. أوضح أن ذرة الهيدروجين تُسمّى الهيدروجين البنزيلي عندما تكون موجودة في الموقع البنزيلي.
3. وعندما تكون ذرة الهيدروجين البنزيلي هي الموجودة فقط، فسينتج عن أكسدة ألكيل الأرين حمض كربوكسيلي.



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

عملية نيترة الأرينات

إنّ عملية نيترة البنزين عبارة عن تفاعل استبدال (إحلال) إلكتروفيلي، وتحدث بأن تُستبدل ذرة هيدروجين والتي تغادر في هيئة H^+ بكاتيون نيترونيوم، NO_2^+ (**الشكل 3-73**). كما تبيّن المعادلة الكيميائية الآتية:

$$NO_2^+ + C_6H_6 \rightarrow H^+ + C_6H_5NO_2$$

الشكل 3-73 كاتيون النيترونيوم.

يحدث هذا التفاعل عندما يتمّ تسخين البنزين إلى درجة حرارة مقدارها 50°C مع حمض النيتريك المركّز، وبوجود حمض الكبريتيك المركّز كعامل حفّاز. يبيّن (**الشكل 3-74**) ميكانيكية حدوث هذا التفاعل.

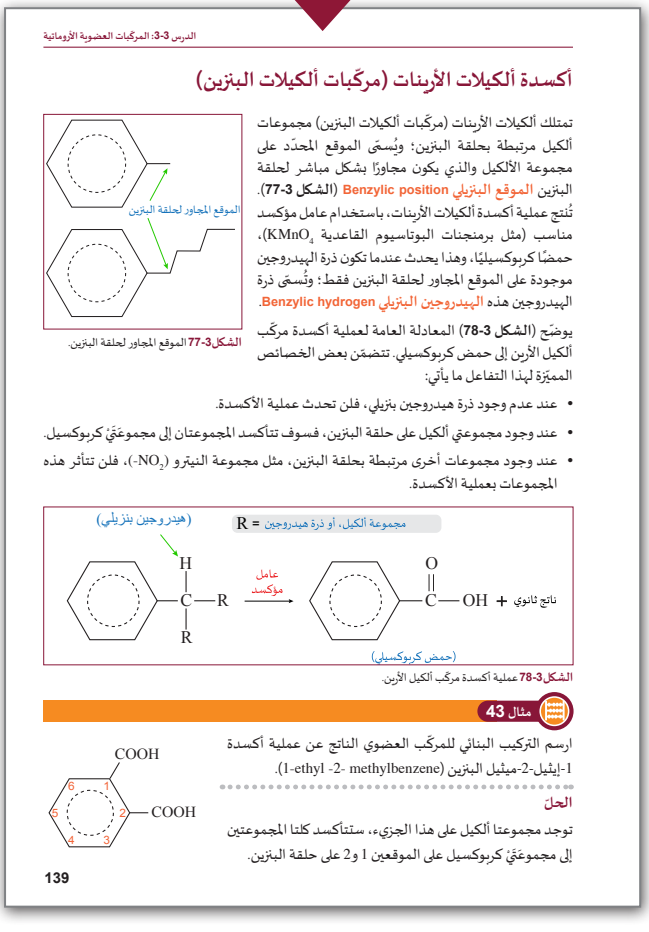
الشكل 3-74 عملية نيترة البنزين.

تحدث كذلك عملية نيترة لمركّب ميثيل بنزين (التولوين)، وذلك عن طريق استبدال ذرة هيدروجين من حلقة البنزين وليس مجموعة الميثيل، فينتج عنها مخلوط مكوّن من ثلاثة متشكلات لمركّب نيترو ميثيل بنزين (**الشكل 3-75**).

الشكل 3-75 نيترة ميثيل بنزين methylbenzene.

تنتج كمية قليلة جدًا من مركّب 3-نيترو ميثيل بنزين (3-nitro methylbenzene) وتتغيّر نسب مكوّنات المخلوط، وذلك عندما تتغيّر الظروف التي تحدث عندها عملية النيترة: عند درجات الحرارة المرتفعة نسبيًا، وبوجود حمض H_2SO_4 المركّز، تُستبدل ذرات هيدروجين من حلقة البنزين بمجموعات نيترونيوم إضافية منتجةً بذلك مركّب 6،4،2-ثلاثي نيترو ميثيل البنزين، وهذا المركّب يُسمّى 6،4،2-ثلاثي نيترو تولوين (2،4،6-trinitrotoluene)، ويتمّ اختصار اسمه بالأحرف TNT، وهي مادة شديدة الانفجار (**الشكل 3-76**).

الشكل 3-76 مركّب 6،4،2-ثلاثي نيترو تولوين (2،4،6-trinitrotoluene) المعروف باسم TNT.



أكسدة ألكيلات الأرينات (مركّبات ألكيلات البنزين)

تمتلك ألكيلات الأرينات (مركّبات ألكيلات البنزين) مجموعات ألكيل مرتبطة بحلقة البنزين؛ ويُسمّى الموقع المحدّد على مجموعة الألكيل والذي يكون مجاورًا بشكل مباشر لحلقة البنزين **الموقع البنزيلي Benzylic position** (**الشكل 3-77**). تُنتج عملية أكسدة ألكيلات الأرينات، باستخدام عامل مؤكسد مناسب (مثل برمنجنات البوتاسيوم القاعدية $KMnO_4$)، حمضًا كربوكسيليًا، وهذا يحدث عندما تكون ذرة الهيدروجين موجودة على الموقع المجاور لحلقة البنزين فقط؛ وتُسمّى ذرة الهيدروجين هذه **الهيدروجين البنزيلي Benzylic hydrogen**.

الشكل 3-77 الموقع المجاور لحلقة البنزين.

يوضّح (**الشكل 3-78**) المعادلة العامة لعملية أكسدة مركّب ألكيل الأرين إلى حمض كربوكسيلي. تتضمّن بعض الخصائص المميّزة لهذا التفاعل ما يأتي:

- عند عدم وجود ذرة هيدروجين بنزيلي، فلن تحدث عملية الأكسدة.
- عند وجود مجموعتي ألكيل على حلقة البنزين، فسوف تتأكسد المجموعتان إلى مجموعتَيْ كربوكسيل.
- عند وجود مجموعات أخرى مرتبطة بحلقة البنزين، مثل مجموعة النيترو ($-NO_2$)، فلن تتأثر هذه المجموعات بعملية الأكسدة.

الشكل 3-78 عملية أكسدة مركّب ألكيل الأرين.

مثال 43

ارسم التركيب البنائي للمركّب العضوي الناتج عن عملية أكسدة 1-إيثيل-2-ميثيل البنزين (1-ethyl -2- methylbenzene).

الحل

توجد مجموعتا ألكيل على هذا الجزيء، ستتأكسد كلتا المجموعتين إلى مجموعتَيْ كربوكسيل على الموقعين 1 و2 على حلقة البنزين.

الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول

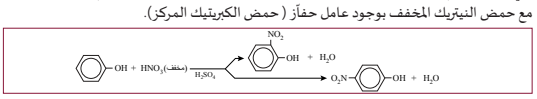
1. من المرجّح أن تخضع الفينولات لتفاعل الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي بشكل أكبر مقارنة بالبنزين.
2. ارسم الفينول على السبّورة، ووضّح أن ذرتَي الكربون اللتين تحملان الرقم 2، والرقم 4 هما الموقعان اللذان قد يقع الاستبدال فيهما، ولكنّ من النادر وغير المحتمل أن يقع الاستبدال على ذرة الكربون رقم 3.
3. باستخدام المثال 44، اسأل الطلاب: أي جزيء يكون تكوينه أقلّ احتمالًا بسبب حدوث تفاعل الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي.
4. سيتوقع الطلاب أن الخيار b هو الأقل احتمالاً لأن يتكوّن بعملية الاستبدال الإلكتروفيلي. اطلب إليهم تفسيرًا منطقيًا لإجابتهم هذه.

تفاعلات الفينول مع القواعد، وفلز الصوديوم

1. بوجود قاعدة قوية، سيتفاعل الفينول معها كحمض ضعيف. لذا، ذكّر الطلاب بأنَّ تفاعل حمض مع قاعدة سيُنتج ملحًا وماء. والملح الذي ينتج عن تفاعل الفينول مع القاعدة هو عبارة عن ملح الفينوكسيد، بالإضافة إلى تكوّن الماء.
2. تفاعل الفينول مع الصوديوم يشبه تفاعل الأحماض الأخرى مع الصوديوم لتكوين الملح وغاز الهيدروجين.
3. الملح الذي تكوّن يسمى فينوكسيد الصوديوم.
4. من خلال مناقشة المثال 45، اشرح بأن الصوديوم ليس الفلز الوحيد الذي يتفاعل مع الفينول.

الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول

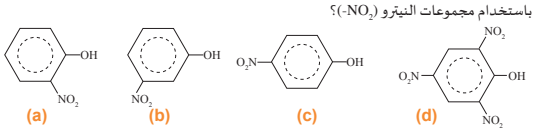
تزيد مجموعة الهيدروكسيل في مركب الفينول الكثافة الإلكترونية في حلقة البنزين، ما يزيد من قدرة الفينول عبر حلقة البنزين على تكوين تفاعلات استبدال إلكتروفيلية محدّدة: على سبيل المثال، يكون معدل نيترة الفينول أسرع بما يقارب 1000 مرة مما يكون عليه نيترة البنزين بمفرده، وتكون ميكانيكية الاستبدال الإلكتروفيلي للفينول في العادة معقّدة. في هذه الميكانيكية، تميل 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. يبين (**الشكل 3-79**)مثال مهم على نيترة الفينول مع حمض النيتريك المخفف بوجود عامل حفاز (حمض الكبريتيك المركز).



الشكل 3-79 نيترة الفينول.

مثال 44

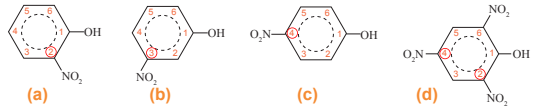
أي من الجزيئات الآتية هي الأقل احتمالًا لتتكوّن بعمليّة الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول باستخدام مجموعات النيترو ($-NO_2$)؟



(a) (b) (c) (d)

الحل

تعمل عملية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول على توجيه حدوث استبدال للمجموعات نحو الموقعين 2 و 4 على حلقة البنزين.



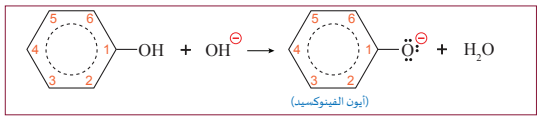
(a) (b) (c) (d)

الخياران (a)، و(c): يمتلك كل منهما مجموعة نيترو مرتبطة بحلقة البنزين على الموقعين 2، و4 على التوالي. أما الخيار (d) فيبيّن أنَّ هنالك مجموعة نيترو واحدة موجودة على ذرة الكربون رقم 4. أما مجموعتا النيترو الأخرى فتكون على ذرة الكربون رقم 2. لذا، يكون الخيار (b) هو الأقل احتمالًا للتشكيل بعمليّة الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي للفينول باستخدام مجموعات النيترو.

تفاعلات الفينول مع القواعد، وفلز الصوديوم

تفاعل الفينول مع القواعد

يتفاعل الفينول، كونه حمضًا ضعيفًا، مع القواعد القوية لتكوين ملح أيون الفينوكسيد والماء (**الشكل 3-80**)، بحيث يُكوّن أيون الفينوكسيد خمسة تراكيب رنين غير متكافئة (غير مبينة) والتي تعمل على استقرار الأيون.



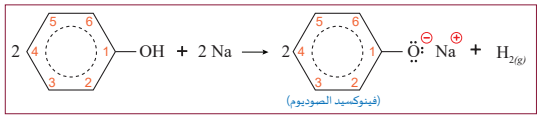
(أيون الفينوكسيد)

الشكل 3-80 تفاعل مركّب الفينول مع الهيدروكسيد لتكوين أيون الفينوكسيد.

تفاعل الفينول مع فلز الصوديوم

الشكل 3-81 التطهير التجميلي.

يتفاعل الفينول مع الفلزات النشطة مثل الصوديوم لتكوين أملاح فلزية لأيون الفينوكسيد، بالإضافة إلى غاز الهيدروجين (**الشكل 3-82**). ويستخدم فينوكسيد الصوديوم كموادّ حافظة في مستحضرات التجميل، وتعمل على تطهير البشرة عن طريق تثبيط نموّ البكتيريا (**الشكل 3-81**).



(فينوكسيد الصوديوم)

الشكل 3-82 يتفاعل الفينول مع فلز الصوديوم لتكوين ملح وغاز هيدروجين.

مثال 45

ما المادتان اللتان يمكن لكلّ منهما أن تتفاعل مع الفينول لإنتاج فينوكسيد البوتاسيوم؟

الحل

مركّب فينوكسيد البوتاسيوم هو عبارة عن ملح فلزي للفينولات. لذا، فإنَّ الفينولات تتفاعل مع القواعد لإنتاج أيون الفينوكسيد. ويُعدّ KOH قاعدة مشابهة لهيدروكسيد الصوديوم. لذا، يمكن أن يتفاعل KOH مع الفينولات لإنتاج فينوكسيد البوتاسيوم. ويعد البوتاسيوم أيضًا فلزًا أكثر نشاطًا من فلز الصوديوم. لذا، يمكن أن يتفاعل فلز البوتاسيوم مع الفينول لإنتاج فينوكسيد البوتاسيوم.

3-3 نمذجة المركّبات الأروماتية

الإجابات/
عيّنة بيانات

المواد المطلوبة: مجموعة باسكو للنماذج الجزيئية (PS-3400) أو مجموعة مشابهة لها.

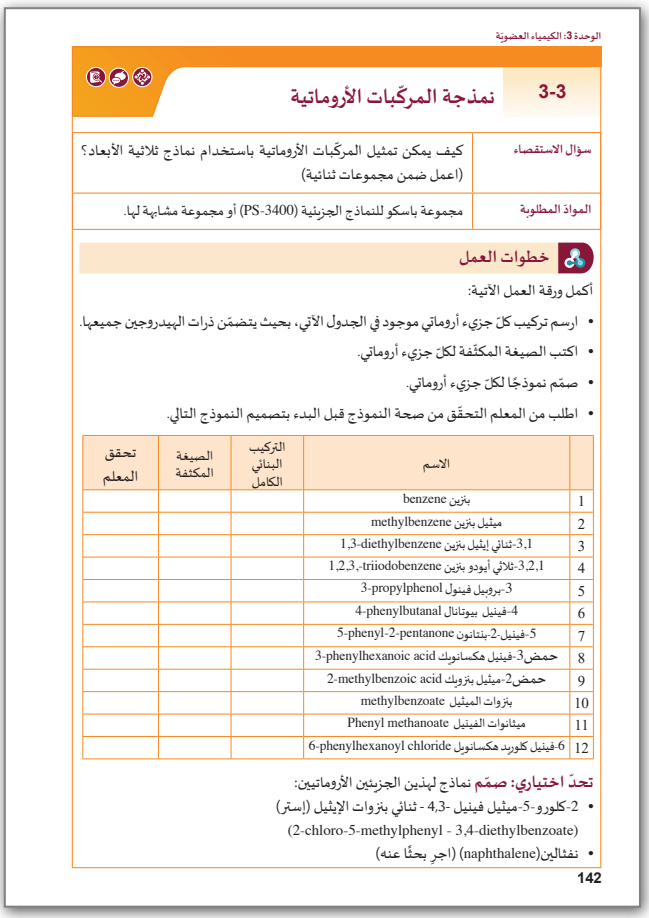
يجب تنفيذ هذا النشاط في مجموعات ثلاثية أو مجموعات صغيرة.

1. سيرسم الطلاب في البداية تراكيبهم البنائية الجزيئية التي في الجدول الموجود في ورقة العمل.
2. ثم سيكتب الطلاب الصيغة المكثّفة، ويصممون نماذجهم الجزيئية ويبنونها.
3. سيتجول المعلم بين المجموعات ليتحقّق من النماذج التي صمّمها الطلاب، وعندما يكون النموذج صحيحًا، سيوقّع المعلم على ورقة العمل التي تخصّ المجموعة.
4. الهدف هنا هو تعبئة الطلاب أوراق عملهم بتوقيع المعلم مقابل كل جزيء صحيح.
5. وعندما يجد الطلاب صعوبة في تصحيح أخطائهم التي ارتكبوها أثناء تنفيذهم هذا النشاط، سيكون بإمكان المعلم مساعدتهم في ذلك.

تحد اختياري:

إذا كان هناك وقت كاف، وكان الطلاب بحاجة إلى مزيد من التحدي، يُطلب إليهم تصميم النموذجين الآتيين وبناؤهما: 2-كلورو-5-ميثيل فينيل-4,3-ثنائي بنزوات الإيثيل (إستر) (2-chloro-5-methylphenyl-3,4-diethylbenzoate)

- نفثالين (naphthalene) (أجر بحثًا عنه)



الوحدة 3: الكيمياء العضوية

3-3 نمذجة المركّبات الأروماتية

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تمثيل المركّبات الأروماتية باستخدام نماذج ثلاثية الأبعاد؟ (اعمل ضمن مجموعات ثنائية)
المواد المطلوبة	مجموعة باسكو للنماذج الجزيئية (PS-3400) أو مجموعة مشابهة لها.

خطوات العمل

أكمل ورقة العمل الآتية:

- ارسم تركيب كلّ جزيء أروماتي موجود في الجدول الآتي، بحيث يتضمّن ذرات الهيدروجين جميعها.
- اكتب الصيغة المكثّفة لكلّ جزيء أروماتي.
- صمّم نموذجًا لكلّ جزيء أروماتي.
- اطلب من المعلم التحقّق من صحة النموذج قبل البدء بتصميم النموذج التالي.

	الاسم	التركيب البنائي الكامل	الصيغة المكثفة	تحقق المعلم
1	بنزين benzene			
2	ميثيل بنزين methylbenzene			
3	1,3-ثنائي إيثيل بنزين 1,3-diethylbenzene			
4	1,2,3-ثلاثي أيودو بنزين 1,2,3,-triiodobenzene			
5	3-بروبيل فينول 3-propylphenol			
6	4-فينيل بيوتانال 4-phenylbutanal			
7	5-فينيل-2-بنتانون 5-phenyl-2-pentanone			
8	حمض3-فينيل هكسانويك 3-phenylhexanoic acid			
9	حمض2-ميثيل بنزويك 2-methylbenzoic acid			
10	بنزوات الميثيل methylbenzoate			
11	ميثانوات الفينيل Phenyl methanoate			
12	6-فينيل كلوريد هكسانويل 6-phenylhexanoyl chloride			

تحدّ اختياري: صمّم نماذج لهذين الجزيئين الأروماتيين:

- 2-كلورو-5-ميثيل فينيل -4,3 - ثنائي بنزوات الإيثيل (إستر) (2-chloro-5-methylphenyl - 3,4-diethylbenzoate)
- نفثالين(naphthalene) (اجر بحثًا عنه)

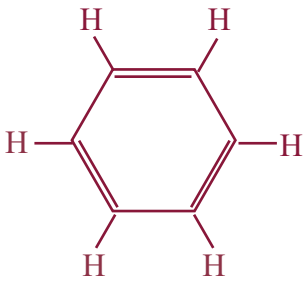
142

3-3 نمذجة المركّبات الأروماتية

الإجابات/
عيّنة بيانات

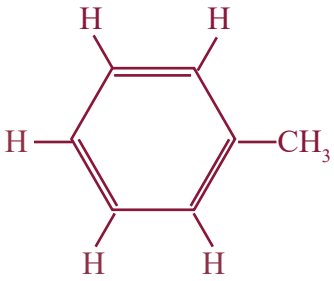
البيانات:

1. البنزين benzene



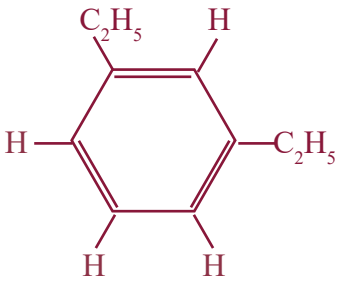
C_6H_6

2. ميثيل بنزين methylbenzene



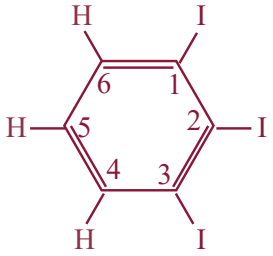
C_7H_8

3. 3,1-ثنائي إيثيل بنزين 1,3-diethylbenzene



$C_{10}H_{14}$

4. 3,2,1-ثلاثي أيودو بنزين 1,2,3-triiodobenzene

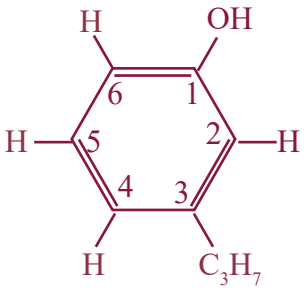


$C_6H_3I_3$

3-3 نمذجة المركّبات الأروماتية

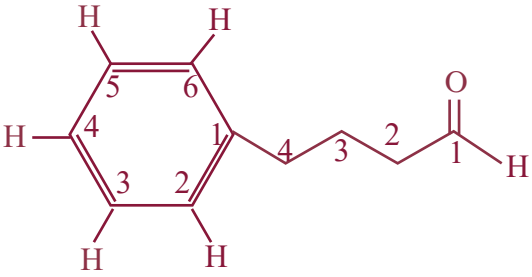
الإجابات/
عيّنة بيانات

5. 3-بروبيل فينول 3-propylphenol



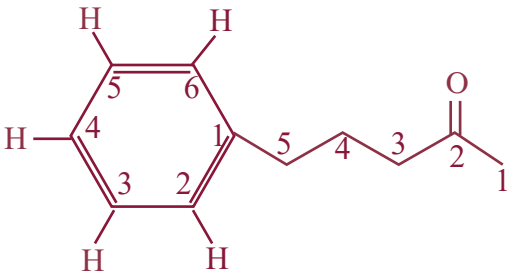
$C_9H_{11}OH$

6. 4-فينيل بيوتانال 4-phenylbutanal



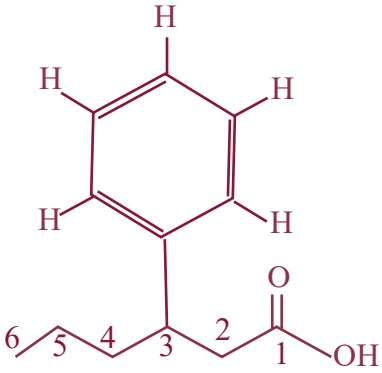
$C_{10}H_{11}OH$

7. 5-فينيل-2-بنتانون 5-phenyl-2-pentanone



$C_{11}H_{14}O$

8. حمض 3-فينيل هكسانويك 3-phenylhexanoic acid

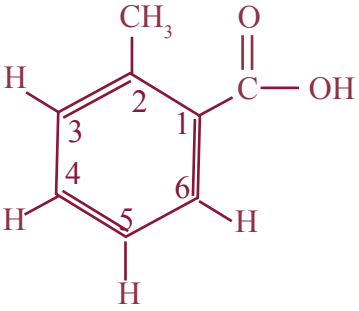


$C_{11}H_{15}COOH$

3-3 نمذجة المركّبات الأروماتية

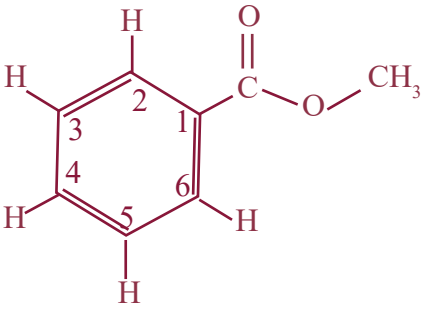
الإجابات/
عيّنة بيانات

9. حمض2-ميثيل بنزويك 2-methylbenzoic acid



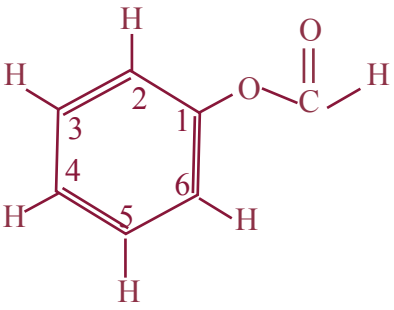
C_7H_7COOH

10. بنزوات الميثيل methyl benzoate



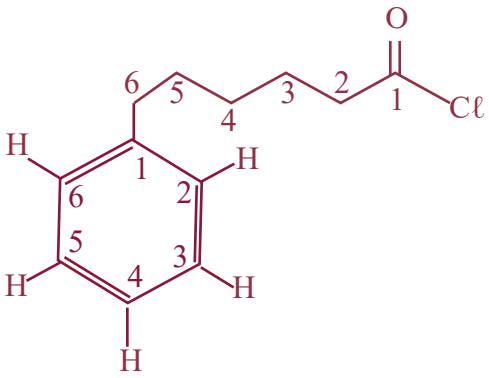
$C_6H_5COOCH_3$

11. ميثانوات الفينيل Phenyl methanoate



$HCOOC_6H_5$

12. 6-فينيل كلوريد هكسانويل 6-Phenyl hexanoyl chloride

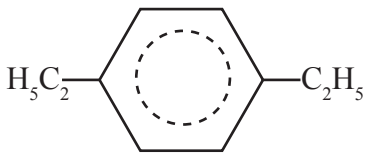


$C_{11}H_{15}COC\ell$

تقويم الدرس 3-3 — الإجابات

1. ما الصيغة الكيميائية للبنزين؟
   a. C_6H_5
   b. C_6H_6
   c. C_6H_{12}
   d. C_6H_5OH
   b. C_6H_6

2. ما اسم الجزيء الموجود إلى اليسار؟

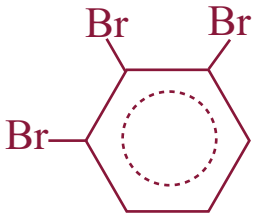


   a. 2,1-ثنائي إيثيل بنزين (1,2-diethylbenzene)
   b. 4,1-ثنائي إيثيل بنزين (1,4-diethylbenzene)
   c. 2,1-ثنائي ميثيل بنزين (1,2-dimethylbenzene)
   d. 4,1-ثنائي ميثيل بنزين (1,4-dimethylbenzene)
   b. 4,1-ثنائي إيثيل بنزين (1,4-diethylbenzene)

3. ما عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في الجزيء الأروماتي الناتج عند حدوث عملية استبدال لمجموعتي نيترو على حلقة البنزين؟
   a. 2
   b. 4
   c. 6
   d. 8
   b. 4

4. ما الناتج من عملية أكسدة ألكيل البنزين؟
   a. إستر أروماتي
   b. كحول أروماتي
   c. ألدهيد أروماتي
   d. حمض كربوكسيلي أروماتي
   d. حمض كربوكسيلي أروماتي

5. ارسم التركيب البنائي للمركّب 3,2,1-ثلاثي برومو بنزين (1,2,3-tribromobenzene).

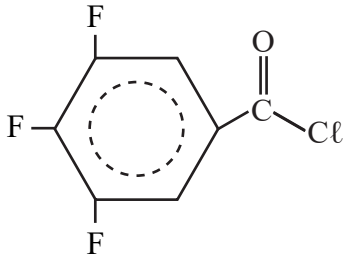


تقويم الدرس 3-3 — الإجابات

6. ما الغاز الناتج عن تفاعل الفينول (phenol) مع فلز الصوديوم؟

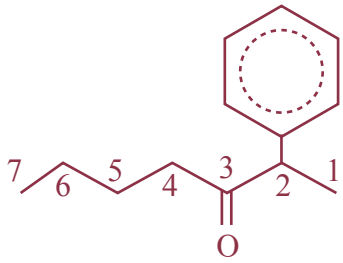
الغاز الناتج عن تفاعل الفينول (phenol) مع فلز الصوديوم هو غاز الهيدروجين.

7. ما اسم الجزيء الموجود إلى اليسار؟



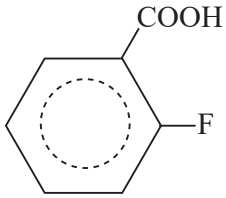
5,4,3-ثلاثي فلورو كلوريد البنزويل
(3,4,5,-trifluoro benzoyl chloride).

8. ارسم التركيب البنائي للمركّب 2- فينيل-3-هبتانون (2-phenyl-3-heptanone).



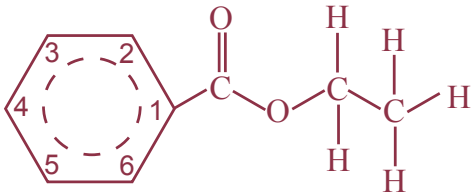
2-فينيل-3-هبتانون
(2-phenyl-3-heptanone)

9. ما اسم الجزيء الموجود إلى اليسار؟



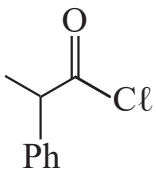
حمض 2-فلورو بنزويك (2-fluorobenzoic acid)

10. ارسم التركيب البنائي للمركّب بنزوات الإيثيل (ethyl benzoate).



بنزوات الإيثيل (ethyl benzoate)

11. ما اسم الجزيء الموجود إلى اليسار؟



2-فينيل كلوريد البروبانويل 2-phenyl propanoyl chloride

إعادة تدريس

1. هذا الموضوع طويل جدًا، ويمكن أن يجد الطلاب صعوبة في تذكّر أنواع المركّبات المختلفة جميعها.
2. لتدريب الطلاب على المركّبات، أعطهم 10 دقائق لمراجعة أسماء الجزيئات الأروماتية البنائية وتراكيبها المختلفة.
3. بعد ذلك، وباستخدام الألواح البيضاء، اطلب إلى الطلاب رسم جزيء محدّد، مثل ألدهيد أروماتي. اذكر في البداية المركّبات البسيطة والعامة فقط، ثم سيرسم الطلاب هذه الجزيئات على ألواحهم البيضاء، ويرفعونها عاليًا. ثم اطلب إليهم تتبع الجزيئات التي رسموها بالشكل الصحيح.
4. عندما يتعرّف الطلاب إلى المركّبات العامة، أعطهم أسماءً لمركّبات محدّدة، مثل 1-ميثيل-3-بروبيل بنزين (1-methyl-3-propylbenzene)، واطلب إليهم ترقيم حلقة البنزين.

إثراء

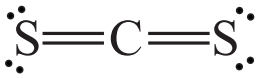
1. للتوسّع، سيرسم الطلاب التراكيب البنائية للمركّبات المحدّدة من قبل المعلم، ويصمّمون تراكيبها ويبنونها باستخدام مجموعة النموذج الجزيئي.
2. من الأمثلة على الجزيئات التي ستعطى للطلاب لرسمها وتصميم تراكيبها البنائية وبنائها:
   البنزين benzene، ميثيل البنزين methylbenzene، 3,1-ثنائي إيثيل البنزين 1,3-diethylbenzene،
   3,2,1-ثلاثي أيودو بنزين 1,2,3-triiodobenzene، 3-بروبيل فينول 3-propylphenol،
   4-فينيل بيوتانال 4-phenylbutanal، 5-فينيل-2-بنتانون 5-phenyl-2-pentanone،
   حمض 3-فينيل هكسانويك 3-phenylhexanoic acid،
   حمض 2-ميثيل بنزويك 2-methylbenzoic acid، بنزوات الميثيل methylbenzoate،
   ميثانوات الفينيل phenylmethanoate،
   6 -فينيل كلوريد هكسانويل 6-phenylhexanoyl chloride.
3. عندما يُنهي الطلاب النشاط شجّعهم على تصميم الجزيئين الأروماتيين الآتيين وبنائهما:

   2-كلورو-5-ميثيل-فينيل-4,3-ثنائي بنزوات الإيثيل (إستر)

   (2-chloro-5methylphenyl-3,4-diethylbenzoate)

   - نفثالين (naphthalene) (أجر بحثًا عنه)

اختيار من متعدّد

1. ما نوع المجالات الإلكترونية حول ذرة الكربون في  مركّب 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

a. مجالان مرتبطان

2. ما عدد الأفلاك المهجّنة التي تتشكّل عندما تتعرّض ذرة لتهجين من نوع (sp^2)؟

a. 1

b. 2

c. 3

d. 4

c. 3

3. ما الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني الذي يكون مصاحبًا لتهجين من نوع (sp^3)؟

a. ثماني الأوجه

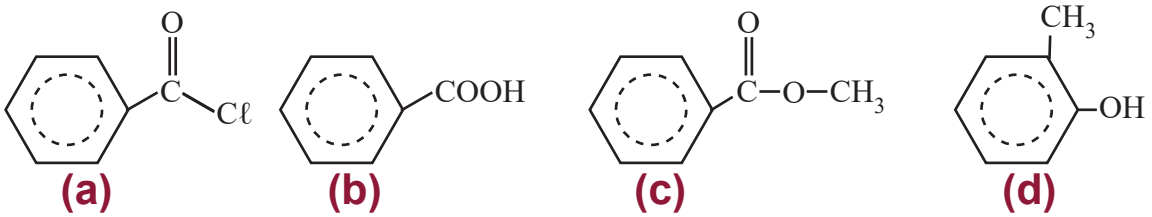
b. رباعي الأوجه

c. مثلّث مسطح

d. هرمي ثلاثي الأوجه

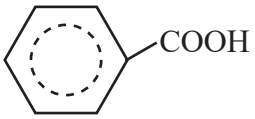
b. رباعي الأوجه

4. أيٌّ من الأشكال الآتية يُعدّ مثالًا على حمض كربوكسيلي أروماتي؟

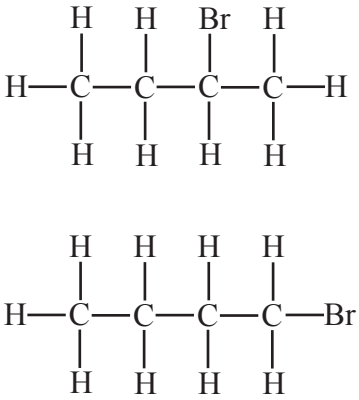


(a) (b) (c) (d)

b.



5. أيٌّ من العبارات الآتية تصف هذين الجزيئين بالطريقة الأفضل؟



a. متشكّلان فراغيّان يمتلكان ترابطًا مختلفًا.

b. متشكّلان فراغيان يمتلكان الترابط نفسه.

c. متشكّلان تركيبيان يمتلكان ترابطًا مختلفًا.

d. متشكّلان تركيبيّان يمتلكان الترابط نفسه.

c. متشكّلان تركيبيان يمتلكان تر ابطًا مختلفًا.

6. أيٌّ ممّا يأتي يتكوّن أثناء حدوث ميكانيكية الإضافة الإلكتروفيلية للألكين؟

a. معقّد سيجما σ

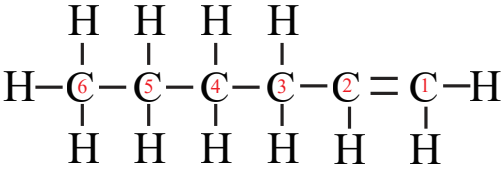
b. كاربوكاتيون

c. رابطة ثنائية

d. مجموعة مغادرة

b. كاربوكاتيون

7. أيَّة ذرة من ذرات الكربون التي توجد في مركّب 1-هكسين (1-hexene) المجاور سيُضاف إليها الكلور القادم من حمض الهيدروكلوريك؟



a. 1

b. 2

c. 3

d. 6

b. 2

8. أيٌّ من العبارات الآتية تعبّر بشكل صحيح عمّا يتعلق بالاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلي 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.

b. تحدث مهاجمة للجانب الخلفي فقط، مع حدوث انعكاس بالبنية الهندسية الفراغية.

9. أيٌّ من المواقع الآتية ستتم "مهاجمته" من قبل النيوكليوفيل في أثناء حدوث عملية الاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل؟

a. مجموعة "R"

b. المجموعة المغادرة

c. ذرة الكربون الموجودة في مجموعة الكربونيل

d. ذرة الأكسجين الموجودة في مجموعة الكربونيل

c. ذرة الكربون الموجودة في مجموعة الكربونيل

10. أيٌّ من المركّبات الآتية ينتج عندما تتمّ أسْيَلَة الكحول؟

a. إستر

b. كيتون

c. ألدهيد

d. حمض كربوكسيلي

a. إستر

11. أيٌّ من العبارات الآتية تصف المجموعة المغادرة القوية؟

a. لها سالبية كهربائية منخفضة، وتأخذ معها زوجًا منفردًا من الإلكترونات.

b. لها سالبية كهربائية مرتفعة، وتأخذ معها زوجًا منفردًا من الإلكترونات.

c. لها سالبية كهربائية منخفضة، وتترك خلفها زوجًا منفردًا من الإلكترونات.

d. لها سالبية كهربائية مرتفعة، وتترك خلفها زوجًا منفردًا من الإلكترونات.

b. لها سالبية كهربائية مرتفعة، وتأخذ معها زوجًا منفردًا من الإلكترونات.

12. أيٌّ من المركّبات الآتية تصف الأرينات جميعها بالطريقة الأفضل؟

a. الكحولات

b. الألدهيدات

c. كلوريدات الأسيل

d. المركّبات الأروماتية

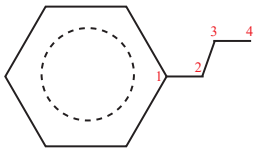
d. المركّبات الأروماتية

13. ما اسم المجموعة التي تُستبدل (تحل محل) بذرة الهيدروجين عندما يخضع أحد الأرينات إلى نيترة إلكتروفيلية؟

a. النيترايت
b. النيترات
c. النيتروجين
d. النيترونيوم

d. النيترونيوم

14. أيٌّ من الأرقام الآتية يحدّد الموقع المجاور لحلقة البنزين في هذا الجزيء الموجود إلى اليسار؟



a. 1
b. 2
c. 3
d. 4

b. 2

15. أيٌّ من الصيغ الآتية هي الصيغة المكثّفة للفينول (phenol)؟

a. C_6H_6
b. C_6H_5
c. C_6H_5OH
d. C_6H_6OH

c. C_6H_5OH

16. نحو أيَّة ذرة من ذرات الكربون الموجودة في حلقة البنزين ستوجّه مجموعة الهيدروكسيل المجموعات بأكبر نسب عندما يخضع الفينول لعملية استبدال (إحلال) إلكتروفيلي؟

a. 1 و 2
b. 1 و 4
c. 2 و 3
d. 2 و 4

d. 2 و 4

17. ما الذي ينتج عندما يتفاعل كلٌّ من: هيدروكسيد الصوديوم، أو فلز الصوديوم مع مركّب الفينول؟

a. الماء
b. غاز الهيدروجين
c. بنزوات الصوديوم
d. فينوكسيد الصوديوم

d. فينوكسيد الصوديوم

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 3-1: الأشكال الهندسية الجزيئية

18. ما قيمة زاوية الرابطة المثالية التي توجد بين الأفلاك المُهجّنة من نوع (sp^2)؟

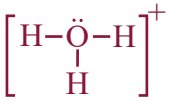
قيمة زاوية الرابطة المثالية التي توجد بين الأفلاك التي كان تهجينها من نوع (sp^2) هي 120°.

19. فسّر، من حيث مساحة الكثافة الإلكترونية، السبب في نقص قيمة الزاوية بين المجالات الإلكترونية المرتبطة عندما يكون مجال إلكتروني واحد على الأقل مشغولًا من قبل إلكترونات غير مرتبطة.

تمتلك أزواج الإلكترونات الحرة أو غير المرتبطة مساحة من الكثافة الإلكترونية العالية، ما يجعلها تشغل مساحة أكبر من المساحة التي تشغلها أزواج الإلكترونات المرتبطة. وهذا هو السبب في أن زوج الإلكترونات الحر وغير المرتبط يدفع أزواج الإلكترونات المرتبطة، ما يجعل قيم زواياها أصغر من القيم المتوقّعة. كما ان قوى التنافر بين زوج الإلكترونات غير المرتبطة (الحرة) وزوج الإلكترونات المرتبطة أقوى من قوى التنافر بين أزواج الإلكترونات المرتبطة بعضها ببعض.

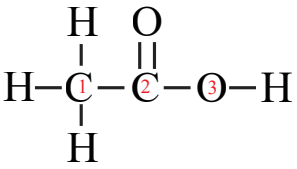
20. حدّد نوع التهجين، الشكل الهندسي الجزيئي لأيون الهيدرونيوم. (H_3O^+)

نرسم في البداية تركيب لويس لأيون الهيدرونيوم.



يخبرنا تركيب لويس أن لهذا الأيون 4 مجالات إلكترونية؛ 3 منها مرتبطة، وزوج واحد من الإلكترونات غير مرتبط. المجالات الإلكترونية الأربعة تخبرنا أن أيون الهيدرونيوم لديه أفلاك sp^3 المهجنة. وكَوْن أيون الهيدرونيوم يمتلك زوجًا حرًّا واحدًا من الإلكترونات، فإن شكله الهندسي الجزيئي يكون عبارة عن هرمي ثلاثي الأوجه بزاوية رابطة، مقدارها 107° تقريبًا.

21. حدّد الشكل الهندسي الجزيئي والشكل الهندسي للمجالات الإلكترونية التي توجد حول الذرّات التي تحمل الأرقام 1 و 2 و 3 في جزيء حمض الإيثانويك (ethanoic acid) الآتي:

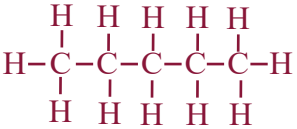


ذرة الكربون التي تحمل الرقم 1 لديها أربعة مجالات إلكترونية، وهذه المجالات جميعها مرتبطة. لذا، فإن الشكل الهندسي والشكل الهندسي الجزيئي للمجالات الإلكترونية كليهما رباعي الأوجه.

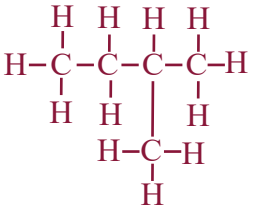
ذرة الكربون التي تحمل الرقم 2 لديها ثلاثة مجالات إلكترونية، وهذه المجالات جميعها مرتبطة. لذا، فإن الشكل الهندسي والشكل الهندسي الجزيئي للمجالات الإلكترونية كليهما مثلّث مسطّح.

ذرة الأكسجين التي تحمل الرقم 3 لديها مجالين لإلكترونات مرتبطة ومجالين لإلكترونات غير مرتبطة. لذا فإن الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني رباعي الأوجه بينما الشكل الهندسي الجزيئي المتوقع شكل منحني.

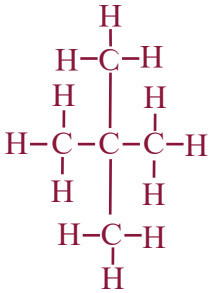
22. ارسم المتشكلات البنائية الثلاثة من نوع السلسلة الكربونية لمركب البنتان (pentane).



بنتان *Pentane*



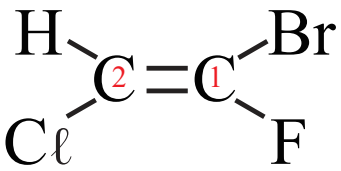
آيزوبنتان
Iso-pentane



نيو-بنتان
Neo-pentane

2,2-ثنائي ميثيل بروبان **2-ميثيل بيوتان**

23. باستخدام جدول تحليل الأولوية (PAT)، أَيُعدُّ التركيب البنائي للمركّب 1-برومو-2-كلورو-1-فلورو إيثين (1-bromo-2-chloro-1-fluoroethene) متشكّلًا فراغيًّا من نوع (E)، أم متشكّلًا فراغيًّا من نوع (Z).



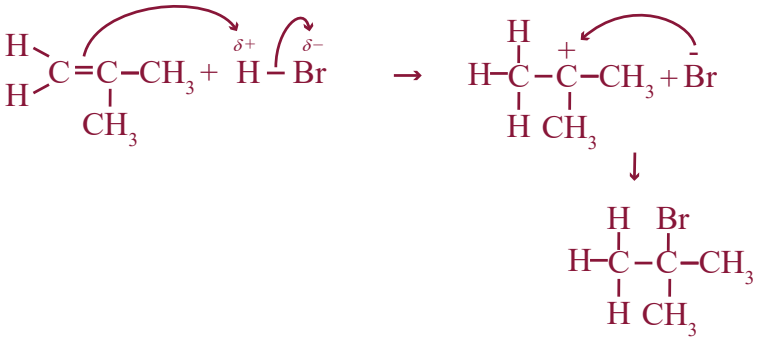
للإجابة عن هذا السؤال لابدّ من إلى تعبئة جدول تحليل الأولوية PAT:

H	العدد الذري = 1	أولوية أدنى
F	العدد الذري = 9	أولوية أدنى
Cℓ	العدد الذري = 17	أولوية أعلى
Br	العدد الذري = 35	أولوية أعلى

كون الذرتين اللتين لهما الأولوية الأعلى تقعان في الجانبين المتعاكسين للجزيء، فإنَّ هذا التركيب البنائي يُعدّ متشكلًا فراغيًا من نوع (E).

الدرس 3-2: ميكانيكيات التفاعلات العضويّة

24. ارسم ميكانيكية تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية لمركّب HBr إلى مركّب 2-ميثيل بروبين (2-methylpropene). استخدم قاعدة ماركوفنيكوف لتحديد ذرة الكربون التي ستضاف إليها ذرة البروم.



بحسب قاعدة ماركوفنيكوف، سترتبط ذرة الهيدروجين بذرة الكربون المرتبطة بأكبر عدد من ذرات الهيدروجين. في هذه الحالة، سترتبط ذرة الهيدروجين بذرة الكربون الأولى، كما في الرسم أعلاه، وسترتبط ذرة البروم بذرة الكربون المرتبطة بأقل عدد من ذرات الهيدروجين، وهي ذرة الكربون الثانية.

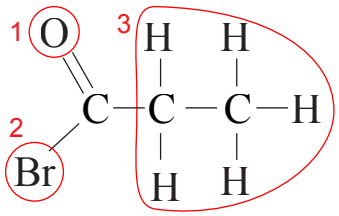
25. فسّر المقصود بالرقم "1"، وبالرقم "2" في ميكانيكيات الاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلي S_N1، و S_N2 على التوالي.

المقصود بالرقم «1» في ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلي S_N1 أن الخطوة الأولى لبداية ميكانيكية التفاعل تتضمّن جزيئًا واحدًا فقط، أما المقصود بالرقم «2» في ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلي S_N2 فهو أن الخطوة الأولى لبداية ميكانيكية التفاعل تتضمّن جزيئين اثنين.

26. أيّة ميكانيكية استبدال (إحلال) نيوكليوفيلي: S_N1، أم S_N2 ينتج عنها ناتج واحد، له متشكّل فراغي واحد.

ميكانيكية الاستبدال (الإحلال) النيوكليوفيلي S_N2 هي التي ينتج عنها ناتج واحد له متشكّل فراغي واحد.

27. أيٌّ من المجموعات (1-3) ستكون هي المجموعة المغادرة عندما يخضع المركّب بروميد البروبانويل (propanoyl bromide) (بروميد الأسيل) لعمليَّة استبدال (إحلال) نيوكليوفيلي؟



المجموعة المغادرة يمكن أن تكون البروم، وذلك لأن السالبية الكهربائية للبروم أعلى من السالبية الكهربائية للكربون.

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

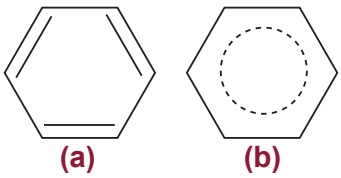
إن التفاعلات التي تحدث بين كلوريدات الأسيل والكحولات والفينولات تُنتج إسترات، فالتفاعل نشيط بشكل كبير، وغير قابل للانعكاس (لا يكوّن تفاعلات عكسية)، ما يجعل هذه التفاعلات مثالية لإنتاج الإسترات.

29. ما الناتجان اللذان ينتجان عن عملية التحلّل المائي لمركّب كلوريد البروبانويل (propanoyl chloride)؟

الناتجان اللذان ينتجان عن عملية التحلل المائي لمركّب كلوريد البروبانويل (propanoyl chloride) هما: حمض البروبانويك، وكلوريد الهيدروجين.

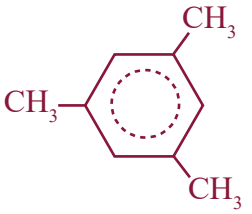
الدرس 3-3: المركّبات العضويّة الأروماتية

30. من حيث الإلكترونات الموجودة في الروابط من نوع باي (π)، لماذا يُعدّ الرمز (b) هو الأفضل تمثيلًا لجزيء البنزين من الرمز (a) في الشكل الآتي؟



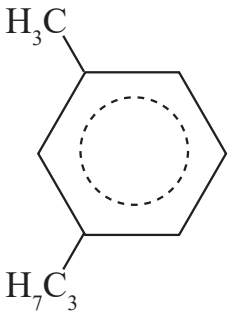
يُعدّ الرمز (b) هو الأفضل تمثيلًا لجزيء البنزين من الرمز (a)؛ لأن الإلكترونات الستة الموجودة في الروابط الثلاث من نوع (π) تكون غير متمركزة بين ذرات الكربون الست الموجودة في الحلقة.

31. ارسم التركيب البنائي للمركّب 5,3,1-ثلاثي ميثيل بنزين (1,3,5-trimethylbenzene).



5,3,1-ثلاثي ميثيل بنزين (1,3,5-trimethylbenzene)

32. اذكر اسم المركب الآتي.



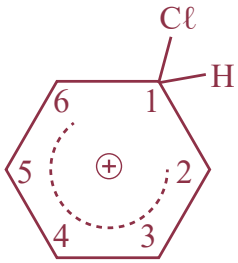
1-ميثيل-3-بروبيل بنزين (1-methyl -3-propylbenzene)

33. فسّر، من حيث عملية ترقيم حلقة البنزين، ما يجعل 3,2-ثنائي ميثيل بنزين (2,3-dimethylbenzene) اسمًا غير صحيح.

يُعدّ 3,2-ثنائي ميثيل بنزين (2,3-dimethylbenzene) اسمًا غير صحيح، لأن المجموعة الوظيفية الأولى هي التي تحدّد ذرة الكربون التي تحمل الرقم 1؛ وهذا المركّب يمتلك مجموعتي ميثيل. لذا، يجب أن يبدأ ترقيم حلقة البنزين من ذرة الكربون التي تحتوي على إحدى مجموعتي الميثيل الوظيفية على أنها رقم 1، ويجب أن يكون الاسم هو:

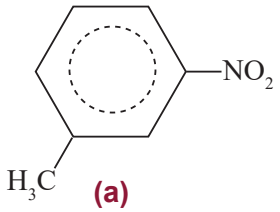
2,1-ثنائي ميثيل بنزين (1,2-dimethylbenzene)

34. ارسم التركيب البنائي لمعقّد سيجما (σ) المتكوّن؛ وذلك عندما يخضع البنزين لعملية استبدال (إحلال) إلكتروفيلي مع $C\ell_2$.

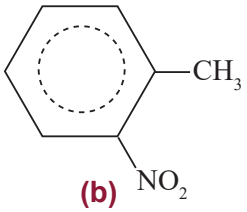


معقد سيجما (σ)

35. أيٌّ من الشكلين التركيبين اللذين إلى اليسار يُعدّ الناتج الأكثر احتمالًا، والذي سينتج عن عملية نيترة ميثيل بنزين (methylbenzene)؟ وضّح إجابتك.



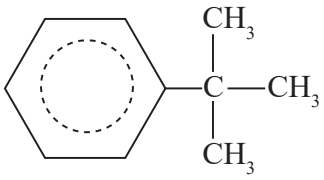
(a)



(b)

الشكل التركيبي (b) يُعدّ الناتج الأكثر احتمالًا عن عملية نيترة ميثيل بنزين، لأن الشكل التركيبي (b) هو 2-نيترو ميثيل بنزين (2-nitromethylbenzene)، وهناك نسبة احتمال مئوية نسبتها 63% لتكوين هذا المركّب، أما الشكل التركيبي (a) فهو 3-نيترو ميثيل بنزين (3-nitromethylbenzene)، مع نسبة احتمال مئوية تبلغ 3% فقط لتكوين هذا المركّب.

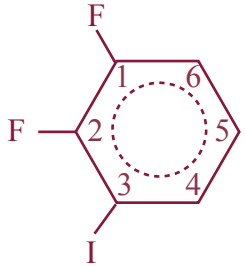
36. هل سيخضع مركّب رباعي بيوتيل بنزين (tert-butylbenzene) لعملية أكسدة ليتحوّل إلى حمض كربوكسيلي؟ فسِر إجابتك كانت نعم أو لا في ضوء الهيدروجين البنزيلي.



رباعي-بيوتيل بنزين

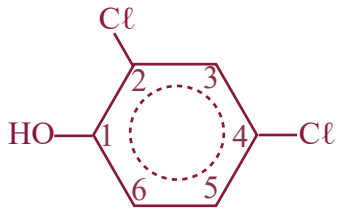
لا، لن يخضع رباعي بيوتيل بنزين (tert-butylbenzene) لعملية أكسدة ليتحول إلى حمض كربوكسيلي لعدم وجود ذرة هيدروجين بنزيلي. ولكي تحدث عملية الأكسدة، يجب أن يحتوي الموقع البنزيلي على ذرة هيدروجين واحدة على الأقل. ولكن، عوضًا عن هذا، فإنَّ الموقع البنزيلي مشغولًا بذرات كربون.

37. ارسم التركيب البنائي للمركّب 2,1-ثنائي فلورو -3- أيودو بنزين (1,2-difluoro-3-iodobenzene)



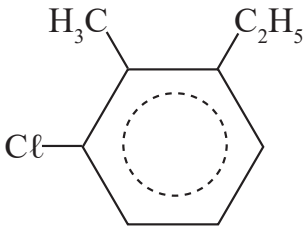
2,1-ثنائي فلورو-3-أيودوبنزين (1,2-difluoro-3-iodobenzene)

38. ارسم التركيب البنائي للمركّب 4,2-ثنائي كلورو فينول (2,4-dichlorophenol).



4,2-ثنائي كلورو فينول (2,4-dichlorophenol)

39. سمّ المركّب الأروماتي في الشكل المجاور.

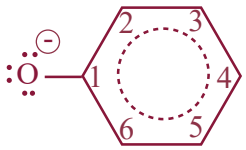


1-كلورو-3-إيثيل-2-ميثيل بنزين
(1-chloro-3-ethyl-2-methylbenzene)

40. من حيث المجموعات الموجّهة أثناء عملية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي، ما الشيء المشترك الذي تمتلكه مجموعتا الميثيل والهيدروكسيل اللتان توجدان على حلقة البنزين.

كلتا المجموعتين، الميثيل والهيدروكسيل، عبارة عن مجموعتين موجّهتين للإلكتروفيلات أثناء عملية الاستبدال (الإحلال) الإلكتروفيلي: حيث يوجهان للوضعين أورثو وبارا (يوجهان نحو ذرتي الكربون 2 و 4)في حلقة البنزين.

41. ارسم التركيب البنائي لأنيون الفينوكسيد، بحيث يتضمّن هذا الشكل الإلكترونات غير المرتبطة.

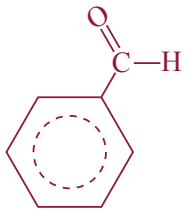


phenolate ion
أيون الفينوكسيد

42. ما الصيغة الكيميائية لمجموعة الفينيل؟

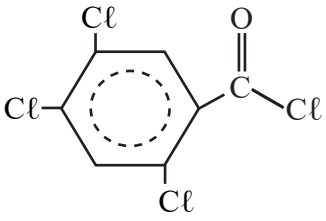
الصيغة الكيميائية لمجموعة الفينيل هي $-C_6H_5$.

43. صف التركيب البنائي لمركّب البنزالدهيد من حيث المجموعات الوظيفية.



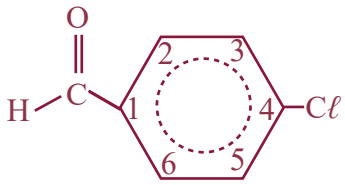
مركّب البنزالدهيد عبارة عن ألدهيد، ترتبط فيه حلقة بنزين بمجموعة ألدهيد CHO-.

44. اذكر اسم المركّب ذي الصيغة البنائية المبيّنة في الشكل الآتي.



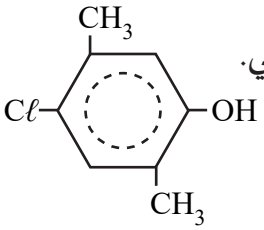
5,4,2-ثلاثي كلورو كلوريد البنزويل
(2,4,5-trichloro benzoyl chloride)

45. ارسم التركيب البنائي للمركّب 4-كلورو بنزالدهيد (4-chlorobenzaldehyde).



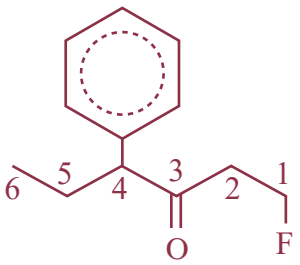
4- كلورو بنزالدهيد (4-chlorobenzaldehyde)

46. اذكر اسم المركّب ذي الصيغة البنائية المبيّنة في الشكل الآتي.



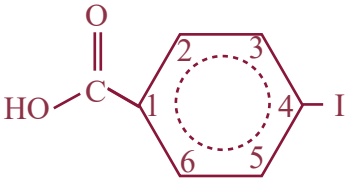
4-كلورو- 5,2-ثنائي ميثيل فينول
(4-chloro- 2,5-dimethylphenol)

47. ارسم التركيب البنائي للمركّب 1- فلورو -4- فينيل -3- هكسانون (1-fluoro-4-phenyl-3-hexanone).



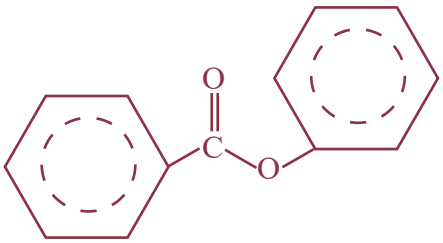
1-فلورو-4-فينيل-3-هكسانون (1-fluoro-4-phenyl-3-hexanone).

48. ارسم التركيب البنائي للمركّب حمض 4-أيودو بنزويك (4-iodobenzoic acid).



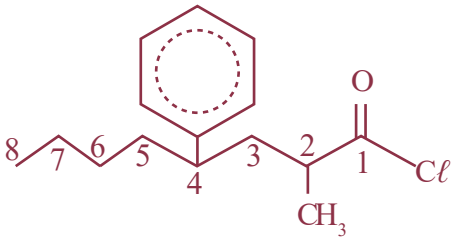
حمض 4-أيودو بنزويك (4-iodobenzoic acid)

49. * ارسم التركيب البنائي للمركّب بنزوات الفينيل (phenyl benzoate).



بنزوات الفينيل (phenyl benzoate)

50. * ارسم التركيب البنائي للمركّب 2-ميثيل-4-فينيل كلوريد الأوكتانويل (2-methyl-4-phenyloctanoyl chloride).

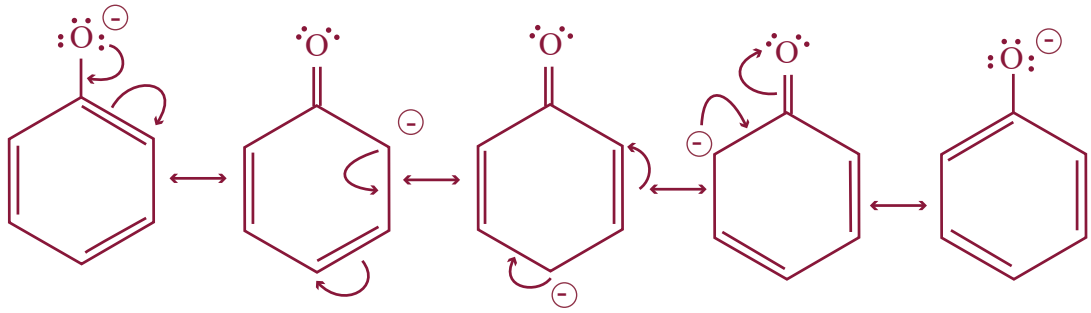


2-ميثيل-4-فينيل كلوريد الأوكتانويل (2-methyl-4-phenyloctanoyl chloride)

51. ** صمّم مع زميل لك جزءًا جديدًا، بحيث يكون مكمّلًا لمجموعة النماذج الجزيئية المستخدمة في هذه الوحدة، والتي ستمثّل روابط الرنين الموجودة في حلقة البنزين بالشكل الأفضل.

سيصمّم الطلاب تراكيب بنائية مختلفة. لذا، تأكد من أن تراكيبهم البنائية تكون في هيئة أشكال سداسية الأضلاع، تكون فيها ذرات الهيدروجين منفصلة.

52. أجرِ بحثًا عن تراكيب الرنين الخمسة لأنيون الفينوكسيد، وارسم التراكيب البنائية لها، ثم بيّن السبب الذي يؤكّد أنَّ هذه التراكيب البنائية جميعها غير متكافئة.



يمكن أن يعبّر الطلاب عن الإجابة بطريقتين مختلفتين، هما:

1) تكون الشحنة على ذرة الأكسجين تساوي -1 في التراكيب التي تكون فيها ذرات الأكسجين مرتبطة بالحلقة برابطة أحادية، وتكون شحنة الأكسجين تساوي صفرًا للتراكيب التي تكون فيها ذرات الأكسجين مرتبطة بالحلقة برابطة ثنائية،

2) تكون الشحنة السالبة مركّزة على الأكسجين في التركيبين اللذين تكون فيهما ذرات الأكسجين مرتبطة بالحلقة برابطة أحادية، وتكون الشحنة السالبة مركّزة على حلقة البنزين في التراكيب الثلاثة الأخرى التي تكون فيها ذرات الأكسجين مرتبطة بالحلقة برابطة ثنائية.

ملاحظات

أوراق عمل

الاسم ..... التاريخ .....

نشاط 3-1 الأشكال الهندسية للجزيئات والمتشكلات

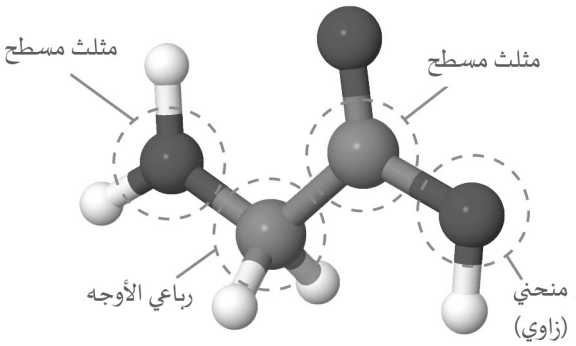
سؤال الاستقصاء	كيف يمكن أن تساعد النماذج الجزيئية في فهم الأشكال الجزيئية، المتشكّلات الفراغية، والمراكز الكيرالية؟ (العمل مجموعات ثنائية.)
الموادّ المطلوبة	مجموعة النماذج الجزيئية

الخلفية

لتوقع الأشكال الجزيئية لجزيء ما، نستخدم **نظريّة التنافر بين أزواج إلكترونات التكافؤ** VSEPR التي هي نموذج ناجح للغاية لتوقّع أشكال الجزيئات .كما تساعد **نظريّة التنافر بين أزواج إلكترونات التكافؤ** VSEPR في استخدام تركيب لويس النقطي وتحليل عدد الروابط وأزواج الإلكترونات غير المرتبطة في الذرة المركزية للجزيء. يسمى عدد الروابط وأزواج الإلكترونات غير المرتبطة باسم المجال الإلكتروني. كما يساعد عدد إلكترونات المجال الإلكتروني في توقع هندسة المجال الإلكتروني ، أفلاك التهجين وقيم زوايا الرابطة المثالية. ومن خلال تحليل عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة والمجالات غير المرتبطة ، يصبح من الممكن توقع الهندسة الجزيئية للجزيء.

الكثير من الجزيئات العضوية كبيرة ولها أشكال معقدة. ولكن يمكن توقع أشكال هذه الجزيئات من خلال تحليل الشكل الهندسي للذرات الداخلية في تركيب سلاسلها وحلقاتها كلا على حدة. ولوضع تصور مناسب لشكل الجزيء:

- يتم تحديد الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني حول كل ذرة داخلية.
- ومن الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني، يتم توقع أفضل قيم لزوايا الرابطة المثالية.
- ومن أنواع المجالات الإلكترونية، نتوقع الشكل الهندسي الجزيئي.
- ثم ندمج الأشكال الهندسية الجزيئية لكل ذرة من ذرات الكربون الفردية للوصول إلى شكل الجزيء



الاسم ..... **التاريخ** .....

خطوات العمل

الجزء I: توقع الأشكال الهندسية الجزيئية باستخدام نظريّة التنافر بين أزواج إلكترونات التكافؤ VSEPR

1. أكمل الجدول أدناه: CO_3^{2-} ، $CC\ell_4$ و CH_3COCH_3. صمم نماذج لكل من الجزيئات والأيونات واطلب من المعلم تقييم النموذج.

جدول البيانات

المركب	الذرّة الداخلية	عدد المجالات الإلكترونية	الشكل الهندسي للمجال الإلكتروني	قيم زوايا الرابطة المثالية	قيَم زوايا الرابطة الفعلية	عدد المجالات الإلكترونية المرتبطة	عدد المجالات الإلكترونية غير المرتبطة	الشكل الهندسي الجزيئي المتوقّع
CCℓ4								
CO_3^{2-}								
CH_3COCH_3								

الاسم ..... التاريخ .....

الجزء II : المتشكلات البنائية

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

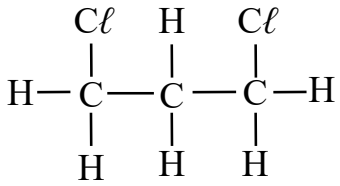
2. صف، من حيث الروابط، سبب تصنيف هذين الجزيئين على أنهما متشكلان تركيبيان.

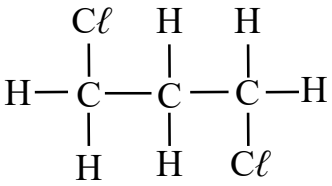
.....

.....

.....

3. صمم نموذجين مختلفين للجزيء 3,1-ثنائي كلورو بروبان (1,3-dichloropropane) ولديهما التركيبان 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 : المتشكّلات الفراغية وترميز E-Z

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

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

PAT لكل من Cℓ و F

PAT لكل من $-CH_3$ و $-C_2H_5$

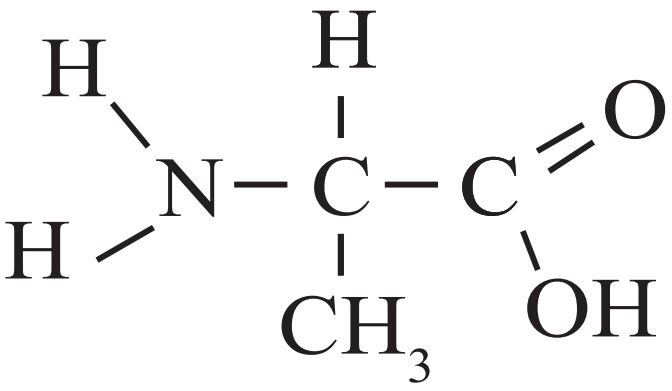
الاسم ..... التاريخ .....

الجزء IV: مراكز كيرالية (مراكز غير متماثلة)

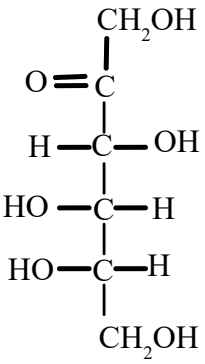
1. صمم نموذجاً من سلسلة مفتوحة للمركب فركتوز Fructose كما التركيب الموجود في أوراق العمل.

باستخدام النموذج ، صف للمعلم ذرات الكربون التي تعد مراكز كيرالية(مراكز غير متماثلة).

2. ضع دائرة حول جميع المراكز الكيرالية(غير المتماثلة) على التركيب الموجود في أوراق العمل لمركب حمض ألانين.



حمض ألانين Amino acid alanine



فركتوز

إستنتاج : صف الفرق بين المتشكلات التركيبية والمتشكلات الفراغية.

الاسم ..... التاريخ .....

نشاط 3-2 تفاعلات الإضافة الإلكتروفيليّة والاستبدال النيوكليوفيلي

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن وصف تفاعل الإضافة الإلكتروفيليّة وتفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي وتوقّع حدوثهما؟ (العمل ضمن مجموعات ثنائية)
الموادّ المطلوبة	أوراق عمل لتفاعلات إضافة إلكتروفيليّة وتفاعلات استبدال نيوكليوفيليّ.

خلفية معرفية عن الموضوع

في تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية في الألكين، يتم مهاجمة الألكين بواسطة إلكتروفيل ينتج عنه جزيء بسيط. يمثل الكيميائيون هذه التفاعلات بميكانيكيات التفاعل.

خطوات العمل

الجزء 1 : تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات

المعلوم: يمكن أن يتفاعل الإيثين مع البروم في محلول كلوريد الصوديوم ليكوّن كلاً من 2,1- ثنائي برومو إيثان، 1,2-dibromoethane و 1-برومو-2-كلورو إيثان (1-bromo-2-chloroethane).

- ارسم تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية التي تفسّر تكوّن كلا الناتجين.

- ارسم الميكانيكية وتوقّع ناتج تفاعل كلوريد الهيدروجين مع الإيثين.

الجزء II : الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل

a. ارسم الصيغة البنائية لمجموعة الكربونيل وضع عليها رموز الاستقطاب $+\delta$ و $-\delta$.

b. يجب مراعاة ثلاثة عوامل لتحديد نقاط القوة النسبيّة بين اثنين من النيوكليوفيلات: الحجم، السالبية الكهربائية، والاستقطاب:

- الحجم: كلما كان حجم الجزيء أصغر ، كلما كان النيوكليوفيل أقوى. والسبب أن الجزيئات الأصغر تكون أقل عرضة للتسبب في تداخل بين الأطراف عند موقع الإلكتروفيل.
- السالبية الكهربائية: كلما انخفضت قيمة السالبية الكهربائية ، كلما كان النيوكليوفيل أقوى. والسبب في ذلك أن الذرات ذات السالبية الكهربائية العالية تكون أقل إحتمالا أن تشارك كثافة إلكتروناتها في موقع الإلكتروفيل.
- الاستقطاب: كلما زاد الاستقطاب للجسيم ، كلما كان النيوكليوفيل أقوى. كلما كانت قدرة الجزيء على الاستقطاب كبيرة كلما كان الإلكتروفيل أقوى. حيث أن القدرة العالية للاستقطاب تزيد من قدرة النيوكليوفيل على التفاعل في الموقع. لذا تعتبر الجزيئات المشحونة بشحنة سالبة مستقطبة للغاية.

c. من الناحية المثالية، وعند تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لمجموعة الكربونيل، ستكون المجموعة المغادرة مجموعة نيوكليوفيل أضعف من النيوكليوفيل المستبدَل.

الاسم ..... **التاريخ** .....

يعيّن المعلم لكل مجموعة ثنائية زوجًا أو زوجين من النيوكليوفيلات من جدول قوة النيوكليوفيلات الموجود في الجدول الآتي:

نيوكليوفيلات قوية جداً	HS^-, I^-, RS^-
نيوكليوفيلات قوية	$Br^-, HO^-, RO^-, CN^-, N^{3-}$
نيوكليوفيلات معتدلة	$NH_3, C\ell^-, F^-, RCO_2^-$
نيوكليوفيلات ضعيفة	H_2O, ROH
نيوكليوفيلات ضعيفة جداً	RCO_2H

d. باستخدام جدول قوة النيوكليوفيلات، حدّد النيوكليوفيل الذي سيكون المجموعة المغادرة الأكثر مثالية، وما سيكون النيوكليوفيل المستبدَل على مجموعة الإيثانويل.

e. فسِّر سبب كون أحد النيوكليوفيلين أقوى من الآخر من حيث العوامل المبينة في الجزء II b من هذا النشاط.

f. ارسم ميكانيكية توضّح تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي الذي توقّعت. بيّن الناتج في الرسم.

أنشطة اختيارية

يعرض المعلم تفاعل كلوريد الإيثانويل في غرفة الأبخرة أو يعرض مقاطع فيديو لتفاعلات كلوريدالإيثانويل (ethanoyl chloride) مع المواد المتفاعلة الآتية: حلّل الملاحظات من حيث قوة النيوكليوفيل.

- تفاعل كلوريد الإيثانويل والماء

- تفاعل كلوريد الإيثانويل والميثانول

- تفاعل كلوريد الإيثانويل مع محلول الأمونيا المركّز.

الاسم ..... التاريخ .....

نشاط 3-3 نمذجة المركّبات الأروماتية

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تمثيل المركّبات الأروماتية باستخدام نماذج ثلاثية الأبعاد؟ (اعمل ضمن مجموعات ثنائية)
الموادّ المطلوبة	مجموعة باسكو للنماذج الجزيئية PS-3400 أو مجموعة مشابهة لها.

الخلفية

المركبات الأروماتية (العطرية) هي جزيئات عضوية تحتوي على حلقة البنزين. تحتوي حلقة البنزين ستة إلكترونات في ثلاث روابط π مشتركة بين ذرات الكربون الستة. تمثل هذه الإلكترونات غير المتمركزة الستة (رنين) بواسطة دائرة. كما تُعرف المركبات الأروماتية أيضًا باسم الأرينات.

خطوات العمل

أكمل ورقة العمل الآتية:

- ارسم تركيب كلّ جزيء أروماتي موجود في الجدول الآتي، بحيث يتضمّن ذرات الهيدروجين جميعها.
- اكتب الصيغة المكثّفة لكلّ جزيء أروماتي.
- صمّم نموذجًا لكلّ جزيء أروماتي.
- اطلب من المعلم التحقّق من صحة النموذج قبل البدء بتصميم النموذج التالي.

	الإسم	التركيب البنائي الكامل	الصيغة المكثفة	تحقق المعلم
1	بنزين benzene			
2	ميثل بنزين methylbenzene			
3	3,1-ثنائي إيثيل بنزين 1,3-diethylbenzene			
4	3,2,1-ثلاثي أيودو بنزين 1,2,3-triiodobenzene			

الاسم ..... التاريخ .....

	الإسم	التركيب البنائي الكامل	الصيغة المكثفة	تحقق المعلم
5	3-بروبيل فينول 3-propylphenol			
6	4-فينيل بيوتانال 4-phenylbutanal			
7	5-فينيل-2-بنتانون 5-phenyl-2-pentanone			
8	حمض 3-فينيل هكسانويك 3-phenylhexanoic acid			
9	حمض 2-ميثيل بنزويك 2-methylbenzoic acid			
10	بنزوات الميثيل methyl benzoate			
11	ميثانوات الفينيل Phenyl methanolate			
12	6- فينيل كلوريد هكسانويل 6-phenylhexanoylchloride			

الاسم ..... التاريخ .....

تحدّ اختياري: صمّم نماذج لهذين الجزيئين الأروماتيين:

- 2- كلورو- 5-ميثيل فينيل - 4,3 - ثنائي بنزوات الإيثيل (إستر)

(2-chloro-5-methylphenyl - 3,4-diethylbenzoate)

- (نفثالين) naphthalene (اجرِ بحثًا عنه)

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته
#منهاج#دولة#قطر
اهلا وسهلا بكم في موقعكم موقع المنهاج القطري
نهتم بكل ما يخص المعلم الطالب وولي الامر
نجمع لكم الملفات من جميع الأماكن لنضعها لكم في مكان
واحد يسهل عليكم التحميل
ملاحظة :. جميع الملفات التي يتم نشرها
مجاني ١٠٠%
دعواتكم
الموقع العربي الأول للموارد التعليمية المجانية
منصة رقمية تضم الموارد التعليمية لخدمة العملية
التعليمية والتربوية الداعمة للمعلم والطالب وولي الأمر
منتديات صقر الجنوب هو الموقع الرائد بالشؤون التعليمية والتربوية والذي
يدعم بدوره كل من له علاقة في هذا المجال سواء الطلاب,
المعلمين , أولياء الأمور وغيرهم دون الحاجة إلى تسجيل الدخول للموقع
ملفات مجانية وكل ما يخص المنهاج القطري محدث نجمعها لكم من مصادرها
ونضعها لكم في مكان واحد لتحميل المجاني

المنهاج القطري محدث نسخة ١٤٤٦-٢٠٢٤

لزيارة موقع المنهاج القطرية محدثة

WWW.JNOB-JO.COM