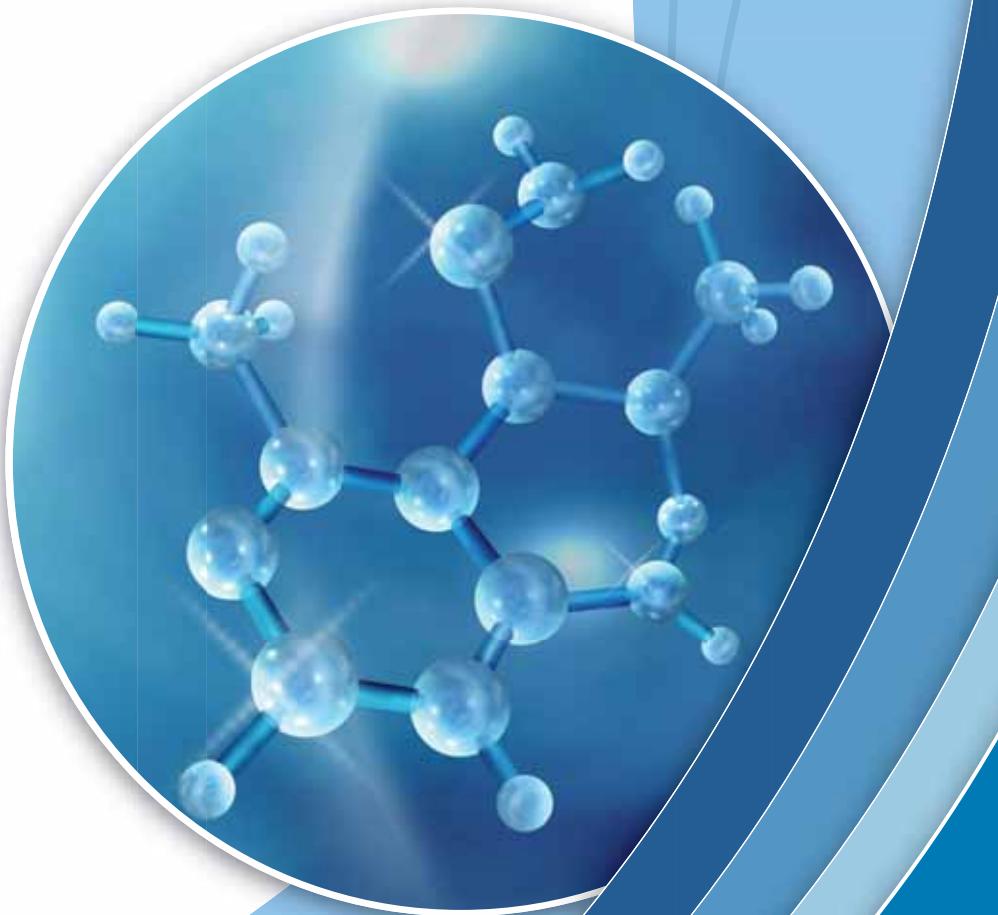




إدارة المناهج والكتب المدرسية

الكيمياء

الصف الحادي عشر



للفرعين
(العلمي والزراعي)

٢٠١٩ / ١٤٤١ هـ

الكلباء
الصف الحادي عشر

للفرعين (العلمي والزراعي)



المطبوع
المراكزية



إدارة المناهج والكتب المدرسية

الكيمياء

الصف الحادي عشر

للفرعين (العلمي والزراعي)



الناشر
وزارة التربية والتعليم
إدارة المناهج والكتب المدرسية

يسر إدارة المناهج والكتب المدرسية استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب على العنوانين الآتية:
هاتف: ٨٥٤ / ٤٦١٧٣٠ ، فاكس: ٤٦٣٧٥٦٩ ، ص.ب: ١٩٣٠ ، الرمز البريدي: ١١١١٨ ،
أو بوساطة البريد الإلكتروني: E-mail: Scientific.Division@moe.gov.jo

قررت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار مجلس التربية والتعليم رقم (٢٠١٦/١٧)، تاريخ ١٢/١٦/٢٠١٦ م، بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٦/٢٠١٧ م.

**الحقوق جميعها محفوظة لوزارة التربية والتعليم
عمّان – الأردن / ص.ب: ١٩٣٠**

رقم الإيداع لطبع طائرة المكتبة الوطنية
(٢٠١٦/٣/١٢٧٥)

ISBN: 978-9957-84-749-4

أشرف على تأليف هذا الكتاب كل من:

أ. د. محمود ظاهر الوهر (رئيساً)
أ. د. محمد خير الحوراني
د. موسى لافي الصمادي
فاتنة سمير التينية (مقرراً)
د. أمـل فتحـي العابـودـي

وقام بتأليفه كل من:

أمانـي خـليل القرـامـصـةـ
سامـرة سـعـيد طـحـاـيـةـ
سمـير سـالم عـيدـ
فـدوـي عـبد الرـحـمـن عـوـيـسـ

التحرير العلمي : فاتنة سمير التينية
التحرير الفني : نداء فؤاد أبو شنب
التصميم: فخري موسى الشبول
التصوير: أديب أحمد عطوان
الإنستاج: د. عبد الرحمن سليمان أبو صعييليك

الرسـمـ : أـحمد إـبرـاهـيمـ صـيـحـ
نـايـفـ مـحمدـ أـمـيـنـ مـراـشـدـةـ

دقـقـ الطـبـاعـةـ وـرـاجـعـهـاـ: حـازـمـ مـحمدـ الخـطـيـبـ

مـ٢٠١٦ـ هـ١٤٣٧ـ

مـ٢٠١٩ـ ٢٠١٧ـ

الطبعة الأولى

أعيدت طباعته

قائمة المحتويات

الصفحة

الفصل الدراسي الأول

الموضوع

٥

المقدمة

٩

الوحدة الأولى: البنية الذرية ودورية الخصائص الذرية

١٠

الفصل الأول: نظرية بور الذرية

٢٣

الفصل الثاني: النموذج الميكانيكي الموجي للذرة

٤١

الفصل الثالث: الدورية في خصائص ذرات العناصر

١



٥٥

الوحدة الثانية: حالات المادة وأشكال الجزيئات

٥٦

الفصل الأول: أشكال الجزيئات

٧٧

الفصل الثاني: قوى التجاذب بين الجزيئات

٩٢

الفصل الثالث: حالات المادة

٢



الفصل الدراسي الثاني

١١٥

الوحدة الثالثة: المحاليل

١١٦

الفصل الأول: الذوبان والذائبة

١٢٨

الفصل الثاني: تركيز محلول

١٤١

الفصل الثالث: خصائص المحاليل

٣



١٥٥

الوحدة الرابعة: التفاعلات والحسابات الكيميائية

١٥٦

الفصل الأول: أنواع التفاعلات الكيميائية

١٦٩

الفصل الثاني: الحسابات الكيميائية

١٨٧

الفصل الثالث: الاتزان

٤



٢٠٣

الوحدة الخامسة: الكيمياء العضوية

٢٠٤

الفصل الأول: الهيدروكربونات

٢٢٣

الفصل الثاني: المركبات العضوية الأخرى

٥



المقدمة

يُعد كتاب الكيمياء للصف الأول الثانوي العلمي مكملاً لما تعلم الطالب في الصفوف السابقة، ومتتماً لمناهج العلوم في هذه المرحلة، انسجاماً مع خطة التطوير التربوي المبنية على فلسفة وزارة التربية والتعليم، ومتواافقاً مع التحاجات العامة والخاصة لمناهج الكيمياء في هذه المرحلة، ومحققاً لأهدافها.

يتضمن الكتاب العديد من الأنشطة العلمية وقضايا البحث التي يتعين على الطالب أن يتوصل إلى نتائجها وحده بوصفه محور عملية التعلم، ويكون المعلم ميسراً وموجاً لسير هذه العملية فحسب.

روعي في عرض موضوعات الكتاب التنوع في الأساليب والطرائق التي تستند إلى استراتيجيات التدريس الحديثة، مثل: الاستقصاء، وحل المشكلات، والتفكير الناقد، والتعلم القائم على النشاط، وهي استراتيجيات تبني مهارات التفكير العلمي عند الطلبة، وتكتسبهم المفاهيم العلمية بطريقة تحليلية لبناء المعرفة وتطبيقاتها في حياتهم العملية، مما يساعدهم على تحقيق تعلم هادف.

يتضمن الكتاب العديد من الرسوم، والأشكال التوضيحية، والجدالول، والأنشطة، والأمثلة المتنوعة، والتطبيقات العملية التي تشيّر إلى موضوع الدرس، وتجعله وثيق الصلة بالحياة والمجتمع والتكنولوجيا.

اشتمل هذا الكتاب على خمس وحدات دراسية موزعة على فصلين دراسيين كما يأتي:

- الفصل الدراسي الأول:

الوحدة الأولى: البنية الذرية ودورية الخصائص الذرية.

الوحدة الثانية: حالات المادة وأشكال الجزيئات.

- الفصل الدراسي الثاني:

الوحدة الثالثة: المحاليل.

الوحدة الرابعة: التفاعلات والحسابات الكيميائية.

الوحدة الخامسة: الكيمياء العضوية.

وقد تضمنت الدروس أسئلة تقويمية تكوينية تساعد على بناء المفاهيم بصورة منتظمة، وتقويمياً خاتماً في نهاية كل فصل ووحدة لتحقيق التحاجات المطلوبة، فضلاً عن ربط الكيمياء بالحياة عن طريق بند العلم والتكنولوجيا والمجتمع، والكيمياء في حياتنا، اللذين يفيدان الطالب في حياته العملية، والذين لا تشملهما الاختبارات التقويمية.

نسأل الله أن تكون قد وفقنا في تقديم هذه المادة الدراسية بما ينسجم مع مصفوفة التحاجات العامة والخاصة لمبحث الكيمياء، وبما يساعد على تحقيق تعلم نافع لطلبتنا، استناداً إلى تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT) التي تساعد على بناء المعرفة العلمية لدى طلبتنا الأعزاء.

الفصل الدراسي الأول

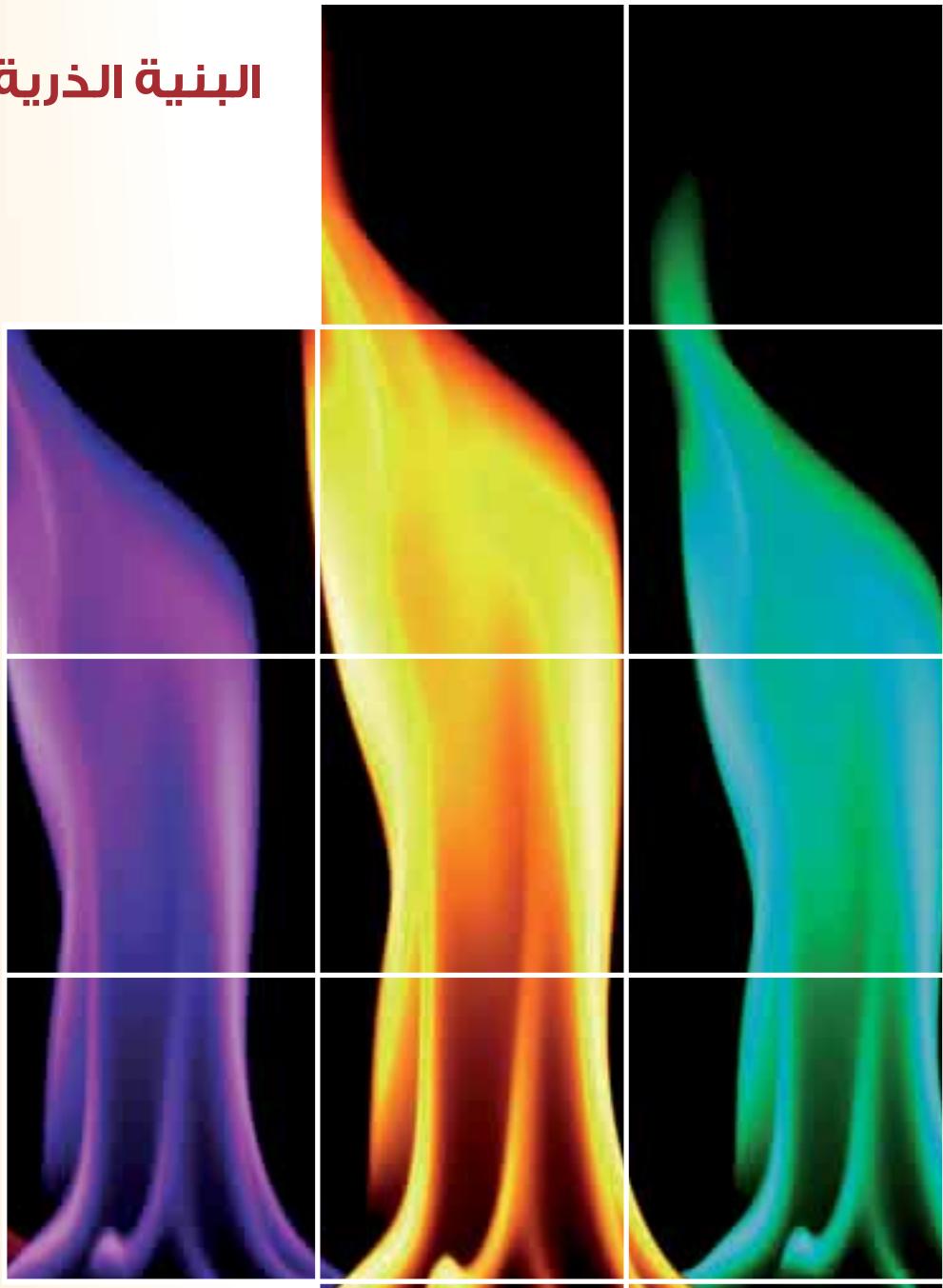


الوحدة الأولى

١

البنية الذرية ودورية الخصائص الذرية

- نظرية بور الذرية
- النموذج الميكانيكي الموجي للذرة
- الدورية في خصائص ذرات العناصر



- كيف توصل العلماء إلى تركيب الذرة؟

الفصل الأول

١

نظريّة بور الذريّة

Bohr's Atomic Theory

بذل العلماء جهوداً كبيرةً لفهم تركيب الذرة، فعملوا منذ بدايات القرن الماضي على وضع تصوّر لذلك تمثّل في العديد من النماذج التي حاولت تصوّر تركيب الذرة، وكان آخرها نموذج رذرфорد الذي درسته في الصف العاشر. ولكن، هل توقفت جهود العلماء عند هذا النموذج؟ وكيف تمكّن العلماء من بناء تصوّر أكثر قبولاً عن الذرة وتركيبها؟

- ستتمكّن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك لهذا الفصل، ويُتوقع منك بعد ذلك أن:
- توضّح المقصود بالطيف الكهرومغناطيسي والطيف الذري.
 - تُميّز الطيف المتصل من الطيف المنفصل.
 - تتعرّف أهم فرضيات نظرية العالم بور.
 - تستخدم القوانين وال العلاقات الرياضية لنظرية بور في حساب تردّضوء المتصّل أو المبعث من الذرات وطول موجته.
 - تحسب الطاقة الممتصة أو المبعثة في أثناء انتقال الإلكترون بين مستويين رئيسين في ذرة الهيدروجين.
 - تفسّر جوانب القصور في نظرية بور.

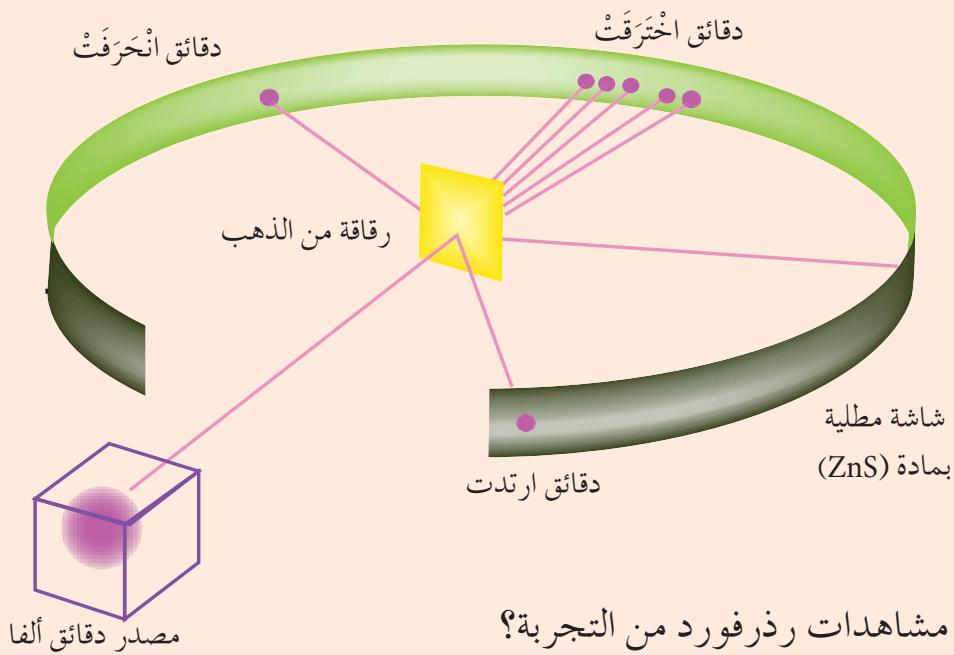
الطيف الكهرومغناطيسي

درست في الصف العاشر نموذج دالتون لتركيب الذرة الذي يصورها كرّةً مصممةً، وقد ساد هذا التصور ملأً من الزمن، ثم ظهر نموذج آخر نتيجةً لتجارب التحليل الكهربائي والتفریغ الكهربائي، وعمرفة خصائص الأشعة المهبطية وأشعة القناة؛ إذ وضع العالم ثومسون نموذجاً جديداً للذرة اقترح فيه أن الذرة كرّة متجانسة صلبة موجبة الشحنة، تتوزّع فيها الإلكترونات السالبة بانتظام، غير أن هذا النموذج لم يدم طويلاً، فأخذ العلماء يبحثون عن تصوّر جديد لبناء الذرة يستند إلى المعرفة العلمية الحديثة وتجارب النشاط الإشعاعي التي اعتمد عليها العالم رذرфорد في بناء نموذج جديد للذرة. لتعرف هذا النموذج، نفذ النشاط (١-١).

نشاط (١-١): تجربة رذرфорد



يُمثّل الشكل الآتي تجربة رذرфорد. تأمّله جيداً، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



- ما أهم مشاهدات رذرфорد من التجربة؟
- ما أهم الافتراضات التي وضعها لتفسير هذه المشاهدات؟
- ما التصوّر الذي وضعه رذرفورد لتركيب الذرة؟
- ما أهم أوجه القصور في النموذج الذي وضعه رذرفورد للذرة؟

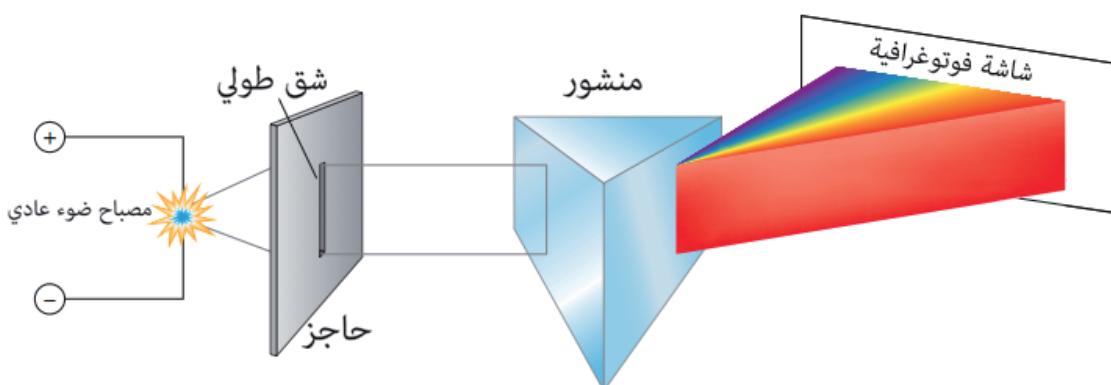
كان نموذج رذرفورد هو الأكثر قبولاً بين العلماء في بداية القرن العشرين، ولكن عدم قدرته على تفسير كيفية دوران الإلكترونات حول النواة في مسار دائري، وبالتالي فقدتها طاقتها الحركية واقترابها من النواة ثم سقوطها فيها -وهو ما لا يحدث حقيقة في الذرات-، كل ذلك جعل العلماء يبحثون عن نموذج جديد للذرة، مثل العالم الدنماركي نيلز بور الذي اعتمد على دراسة أطياف العناصر المثارة. ولكي تفهم نموذج بور؛ يجب أن تعرّف أولاً مفهوم الطيف الكهرومغناطيسي، انظر الشكل (١-١).



الشكل (١-١): قوس المطر.

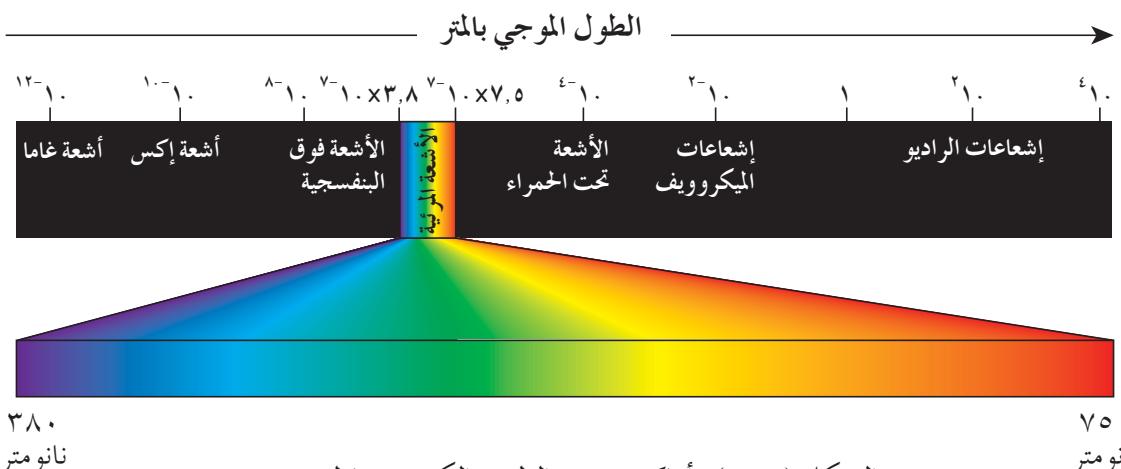
إن الطيف الذي تراه في الشكل المجاور يظهر في السماء نهاراً بعد سقوط المطر، ويُسمى قوس المطر، وينتتج من تحلل ضوء الشمس بفعل قطرات الماء الصغيرة المعلقة في الهواء. ويمكن إظهار الألوان نفسها عن طريق إمرار حزمة ضوئية

من مصباح ضوء عادي أو من أشعة الشمس خلال منشور زجاجي يعمل على تحليل الضوء إلى ألوان عدّة، لكل منها تردد وطول موجي في ما يُعرف بألوان الطيف المرئي، انظر الشكل (٢-١).



الشكل (٢-١): الطيف الناتج من تحليل ضوء المصباح العادي في منشور.

إن الطيف المرئي هو جزء بسيط من الطيف الكهرومغناطيسي، وهو طيف يتكون من مجموعة كبيرة من الموجات الضوئية التي يكون جزء منها مرئياً، ويقع ضمن منطقة الطول الموجي التي تتراوح من (٣٨٠-٧٥٠) نانومتر ($1\text{ نانومتر} = 10^{-9}\text{ متر}$)، ويكون جزء آخر غير مرئي، ولكنها جميعاً تشارك في أن لها خصائص كهرومغناطيسية، ويبين الشكل (١-٣) مناطق هذا الطيف.



الشكل (١-٣): أماكن وجود الطيف الكهرومغناطيسي.

كان لتجارب العالمين ماكس بلانك وألبرت آينشتاين الأثر الأكبر في استنتاج أن الضوء ينبعث على شكل وحدات تسمى فوتونات، وأن كل فوتون منها يمتلك مقداراً محدوداً من الطاقة يتناسب طردياً مع تردداته؛ أي:

$$E \propto f$$

$$E = h \times f$$

$$h = \frac{E}{f}$$

E : طاقة الفوتون بوحدة الجول.

h : ثابت بلانك (يساوي $6,63 \times 10^{-34}$ جول.ثانية).

f : التردد بوحدة هيرتز (Hz^{-1}).

يتناوب تردد الضوء أيضاً تناوباً عكسيًا مع طول موجته (λ) كما في العلاقة الآتية:

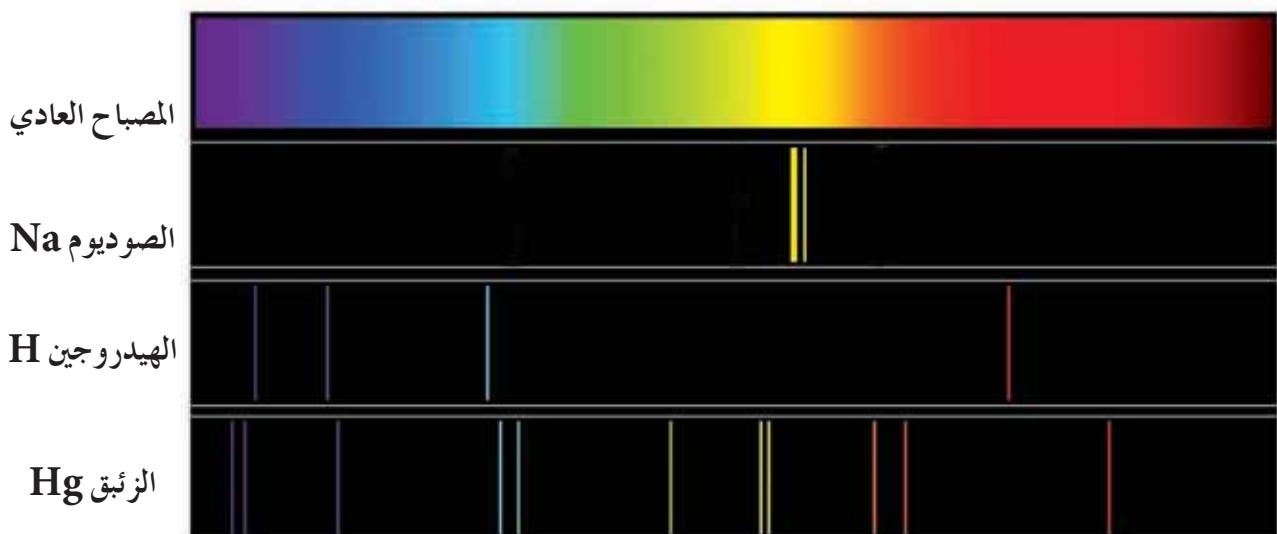
$$\lambda \propto \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad c = f \times \lambda$$

c : هي الثابت، وتساوي سرعة الضوء في الفراغ، وقيمتها (3×10^8 متر / ثانية).

- احسب طاقة فوتون الضوء الذي تردد 5×10^{16} هيرتز.
- احسب الطول الموجي لهذا الفوتون بوحدة المتر، ثم بوحدة الأنغستروم ($1\text{ متر} = 10^10\text{ أنغستروم}$).

قد يتبرد إلى ذهنك السؤال الآتي: هل الأطيف الناتجة من تحليل مختلف مصادر الضوء متماثلة أم أن لكل منها طيفاً مختلفاً؟ لمعرفة الإجابة، انظر الشكل (١-٤) الذي يمثل عدداً من الأطيف المرئية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

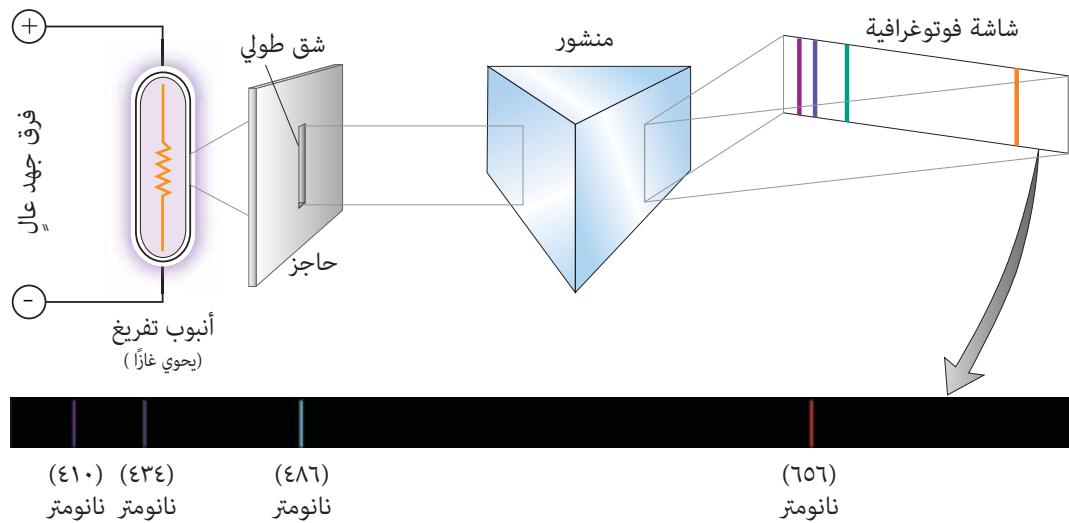


الشكل (١-٤): الأطيف المرئية لمصادر ضوء مختلفة.

- أي الأطيف ألوانه متصلة؟
- ماذا يسمى هذا الطيف؟
- هل لأطيف عناصر الصوديوم والزئبق والهيدروجين الخطوط والألوان نفسها؟ هل هي متصلة؟ ماذا تستنتج من ذلك؟
- ماذا يسمى هذا النوع من الأطيف؟

لاحظ أن الطيف الناتج من المصباح العادي لا يحتوي على مناطق فاصلة بين لون وآخر؛ لذا فإنه يُسمى طيفاً متصلًا، أمّا بقية العناصر فيتميز طيفها بوجود عدد من الخطوط الملونة والمتباعدة التي يختلف لونها وعدها باختلاف نوع ذرات العناصر المستخدمة؛ لذا فإنه يُسمى طيفاً خطياً، أو طيفاً ذريًا.

تنتج هذه الأطيف من تحليل الضوء الصادر عن ذرات العناصر المثارة التي يمكن إثارتها بالتفريغ الكهربائي، أو عن طريق التسخين المباشر بلهب، والشكل (٥-١) يوضح عملية تحليل الضوء الصادر عن ذرات عنصر مثارة داخل أنبوب التفريغ بواسطة منشور.



الشكل (٥-١): تحليل الضوء الصادر عن ذرات غاز داخل أنبوب تفريغ.

ولكن، لماذا يتتجط طيف خطى عند تحليل الضوء المنبعث من ذرات العناصر المثارة؟ ولماذا يتميز كل عنصر بطيف محدد خاص به؟ وهل توجد علاقة بين تركيب ذرة العنصر والطيف الذي ينبعث منها؟ لقد بذل العلماء جهوداً كبيرةً للإجابة عن هذه الأسئلة، وفي ما يأتي عرض للمحاولة التي بذلها العالم بور.



الألعاب النارية



الشكل (٦-٦): الألعاب النارية.

إن مصدر الأضواء الملونة في الألعاب النارية مردّه وجود أيونات عناصر القلوبيات الترابية الثقيلة التي تُظهر ألواناً عند تسخينها، وعند إثارة الإلكترونات فيها بوساطة اللهب. فمثلاً يُظهر أيون الستربنشيوم Sr^{2+} ضوءاً لونه أحمر قرمزي، ويُظهر أيون الكالسيوم Ca^{2+} ضوءاً لونه أحمر قرميدي، ويُظهر أيون الباريوم Ba^{2+} ضوءاً لونه أخضر تفاحي. ولما كان استخدام هذه الألعاب ينضوي على مخاطر كثيرة فإنه يُنصح بأخذ الحيطه والحذر عند التعامل معها، وقصر استخدامها على المتخصصين فقط، انظر الشكل (٦-٦).

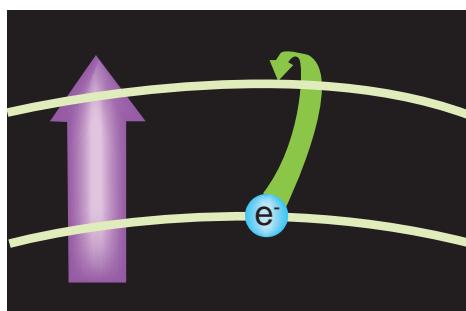
ثانياً

نظريّة بور لتركيب الذرة

تمَكَن العالم نيلز بور عام ١٩١٣م من وضع نموذج لتفسير طيف ذرة الهيدروجين؛ ذلك أن هذه الذرة هي أبسط الذرات، وطيفها أبسط الأطيف الذري، وقد استند بور في تفسيره إلى الافتراضات الآتية:

- ١ - تدور الإلكترونات حول النواة في مدارات محددة من دون أن تفقد شيئاً من طاقتها، وقد أطلق عليها بور اسم مستوى الطاقة.
- ٢ - تحتوي الذرة على عدد من مستويات الطاقة، يتميز كل منها بنصف قطر ثابت، وطاقة محددة، ولكل مستوى رقم يُرمز إليه بالرمز n ، ويبدأ بـ $n = 1$ الأقرب إلى النواة، وينتهي بـ $n = \infty$ (ما لا نهاية).
- ٣ - لا يشع الإلكترون طاقة ولا يمتصها ما دام يدور في المستوى نفسه.
- ٤ - يمكن للإلكترون أن يتقلل من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة آخر إذا اكتسب أو أشاع طاقة

تساوي الفرق بين طاقة المستويين، وهذا يعني أن الإلكترون يمتص طاقة حين ينتقل من مستوى طاقة أقرب للنواة إلى مستوى طاقة أبعد، وتصبح الذرة في الحالة المثارة، وأن هذه الطاقة يجب أن تساوي الفرق بين طاقة المستويين اللذين انتقل بينهما. وحين يعود الإلكترون المثار من المستوى الأبعد إلى المستوى الأقرب إلى النواة فإنه يشع مقدار الطاقة نفسها التي كان قد اكتسبها، وهذا الفرق في الطاقة تمثله العلاقة الرياضية الآتية:



الشكل (٧-١): عملية انتقال الإلكترون بين مستويين للطاقة نتيجة امتصاص طاقة من مصدر خارجي.

$$\Delta E = E_{n_2} - E_{n_1}, \text{ حيث:}$$

E_{n_1} : طاقة المستوى الأقرب إلى النواة.

E_{n_2} : طاقة المستوى الأبعد عن النواة.

وبيُوضِّح الشكل (٧-١) عملية انتقال الإلكترون بين مستويين للطاقة نتيجة امتصاص طاقة من مصدر خارجي.

وقد استطاع بور حساب طاقة كل مستوى في ذرة الهيدروجين مُسْتَخْدِمًا العلاقة الرياضية الآتية:

$$E_n = \frac{A}{n^2}, \text{ حيث:}$$

E_n : طاقة المستوى (n).

$$A = 2,18 \times 10^{-18} \text{ جول.}$$

مثال (١)

احسب طاقة مستوى الطاقة الأول.

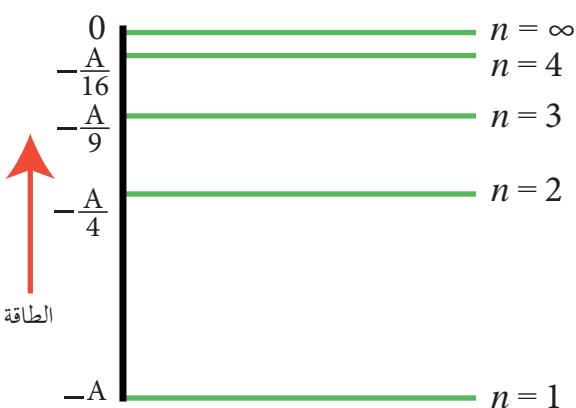
الحل

$$E_n = \frac{A}{n^2}$$

$$E_1 = \frac{2,18 \times 10^{-18}}{1^2} = 2,18 \times 10^{-18} \text{ جول/ذرة.}$$

- احسب طاقة مستوى الطاقة السادس في ذرة الهيدروجين.
- إذا علمت أن طاقة أحد مستويات الطاقة الرئيسية في ذرة الهيدروجين هي $-8,72 \times 10^{-10}$ جول، فاحسب رقم هذا المستوى.

يُبيّن الشكل (١-٨) رسمًا تخطيطيًّا لمستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين بدلالة الثابت A .



الشكل (١-٨): رسم تخطيطي لمستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين بدلالة الثابت A .

ادرسه جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

- كيف تتغير طاقة المستويات كلما زاد بُعدها عن النواة؟
- كيف يتغير فرق الطاقة بين المستويات المتتالية كلما زاد البُعد عن النواة؟
- صِف حالة ذرة الهيدروجين عندما يوجد الإلكترون في المستوى:

■ الأول. ■ الرابع. ■ ∞ .

يتبيّن من دراسة طاقة المستويات في ذرة الهيدروجين أن قيمتها سالبة، وأن قيمة طاقة المستوى ∞ تساوي صفرًا، وهو المستوى الأبعد عن النواة الذي يُعَدُّ خارجًا عنها، وأنه لا توجد أي قوى تجاذب بين الإلكترون في هذا المستوى والنواة. أمّا إذا اقترب الإلكترون من النواة، وأصبح واقعًا تحت تأثير جذبها فإن طاقة وضعه تقل، وتتصبح أقل من الصفر؛ أي قيمة سالبة؛ لذا تكون طاقة المستوى الأول هي أدنى طاقة وضع، وتمثل أكثر حالات الاستقرار لـالإلكترون ذرة الهيدروجين، وأمّا إذا انتقل إلى مستويات أخرى فإنه يكون مثارًا.

يمكن حساب الفرق في الطاقة عند انتقال الإلكترون بين مستويين من الطاقة باستخدام العلاقة الآتية:

$$\Delta E = A \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right), \text{ حيث:}$$

n_1 : رقم المستوى الأقرب إلى النواة.

n_2 : رقم المستوى الأبعد عن النواة.

مثال (٢)

احسب الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون في ذرة الهيدروجين من المستوى الأول إلى المستوى الرابع بوحدة الجول، ووحدة الكيلو جول.

الحل

$$(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}) A = \Delta E$$

$$(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{1^2}) A = \Delta E$$

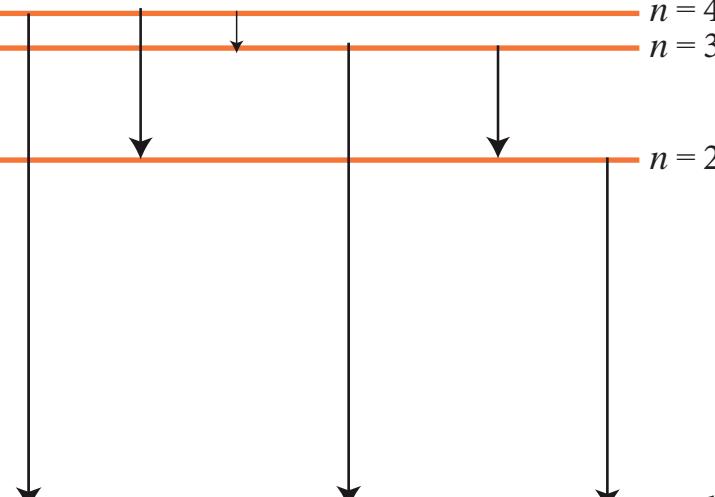
$$\Delta E = (\frac{1}{16} - \frac{1}{4}) A = 15 \text{ كيلو جول}$$

سؤال

احسب رقم المستوى الرئيس n – في ذرة هيدروجين مثارة – الذي سينتقل منه الإلكترون إلى المستوى الأول، مُسبيباً انبعاث طاقة مقدارها $\frac{35}{36} \text{ Joule}$.

احسب التردد وطول موجة الإلكترون عند عودته من المستوى الثالث إلى المستوى الأول في ذرة الهيدروجين غير المستقرة.

إن إثارة الإلكترون في ذرة الهيدروجين إلى مستوى أعلى عن المستوى الأول (الأكثر استقراراً) بفعل اكتسابه للطاقة هو أمر طاري؛ إذ سرعان ما يفقد الإلكترون هذه الطاقة، ويعود إلى المستوى الأول، وتوجد احتمالات مختلفة لعودته هذا الإلكترون، انظر الشكل (٩-١)، الذي يمثل احتمالات عودة الإلكترون في ذرة الهيدروجين من المستوى الرابع إلى المستوى الأول.



الشكل (٩-١): احتمالات عودة الإلكترون ذرة الهيدروجين من المستوى الرابع إلى المستوى الأول.

ولكن، لماذا يعطي الهيدروجين الطيف نفسه دائمًا؟

فسّر بور أطياf الخطية لذرة الهيدروجين بأنها تنتج من انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى طاقة أعلى (أبعد عن النواة) إلى مستوى طاقة أدنى، مطلقاً بذلك فوتوناً طاقته تساوي الفرق في الطاقة بين المستويين. ولمّا كان عدد ذرات الهيدروجين المشاركة داخل أنبوب التفريغ كبيراً جدّاً فإنها تطلق عدداً هائلاً من الفوتونات التي تختلف في طاقاتها تبعاً لمستويات الطاقة التي انتقلت بينها إلكترونات، ولذلك فهي تشمل جميع الاحتمالات الممكنة لتغيرات الطاقة في ذرة الهيدروجين مما يجعل طيف الهيدروجين هو نفسه دائمًا.

يُطلق على مجموعة خطوط الطيف للهيدروجين في نطاق الضوء المرئي اسم سلسلة بالمر التي تنتج من عودة إلكترون من مستويات طاقة علياً إلى المستوى الثاني.

قضية للبحث

ابحث أنت وزملاؤك في الشبكة المعلوماتية عن طيف الهيدروجين، لتعرف أنواع مجموعات الخطوط وأسماءها؛ سواء في النطاق المرئي أو غير المرئي لهذا الطيف، مستعيناً بالكلمتين المفتاحيتين الآتيتين: سلسلة بالمر، طيف الهيدروجين.

بالرغم من النجاح الكبير الذي حققته نظرية بور في تفسير طيف ذرة الهيدروجين فإنها فشلت في تفسير أطياf الذرات عديدة إلكترونات؛ لأن طيفها أكثر تعقيداً من طيف ذرة الهيدروجين.

سؤال

◀ هل استطاعت نظرية بور تفسير الطيف الذري للأيونين الآتيين:

${}^3_2\text{Li}^{2+}$, ${}^2_2\text{He}^+$ فسّر إجابتك.

أشعة X

تُعد أشعة X أو الأشعة السينية جزءاً من الطيف الكهرومغناطيسي، وهي موجات ذات طول موجي قصير وتردد عالي، ومتماز بقدرتها على اختراق المواد، وهذه الخصيصة تجعلها تُستخدم في المجال الطبي؛ إذ يستخدم الأطباء جهاز أشعة X في تشخيص أمراض العظام والأسنان كما في الشكل (١٠-١).

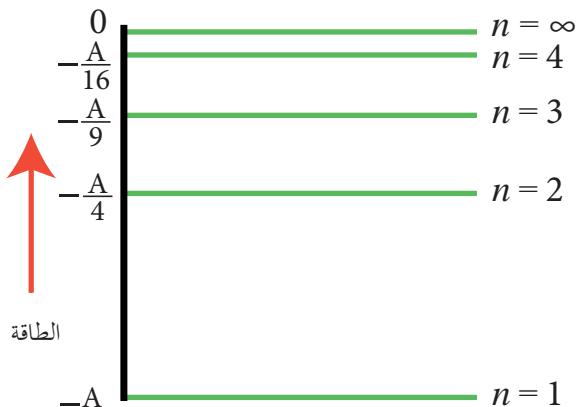
وبالرغم من خطورة أشعة X التي تمثل في إتلاف بعض خلايا الجسم فإنه يمكن حماية الأجزاء التي لا تحتاج إلى تصوير بارتداء ملابس واقية من الأشعة.



الشكل (١٠-١) : جهاز أشعة X، وتشخيص كسر في العظام باستخدامه.

٧ أسئلة الفصل

- ١- وضِّح المقصود بالمصطلحات الآتية:
الطيف المرئي، الذرة المثارة، الطيف الذري.
- ٢- الشكل الآتي يُمثل مستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين. ادرسه جيداً، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



- أ) عُبِّر بدلالة A عن مقدار الطاقة المنبعثة عند عودة الإلكترون من المستوى الرئيس الرابع إلى المستوى الرئيس الثالث.
- ب) ما عدد خطوط طيف الإشعاع المحتملة عند عودة الإلكترون من المستوى الرابع إلى المستوى الثاني؟
- ج) حَدَّد المستويين المتتاليين اللذين يتنتقل بينهما الإلكترون ليعطي طيفاً له أقصر طول موجي.
- ٣- احسب طول موجة راديو تُبَثَّ على تردد مقداره ٩٩,٩ ميغاهيرتز، علمًا بأن $1 \text{ ميغاهيرتز} = 10^6 \text{ هيرتز}$.
- ٤- قارن بين جوانب النجاح والفشل في نموذجي رذرفورد وبور.
- ٥- إذا كان طول موجة فوتون الضوء الناتج من عودة الإلكترون في ذرة هيدروجين مثارة من مستوى أبعد عن النواة إلى المستوى الأول يساوي ٩٣,٨٥ نانومترًا، فاحسب رقم هذا المستوى.
- ٦- احسب الطاقة التي تحتاج إليها ذرة الهيدروجين المستقرة لكي تتحول إلى أيون موجب.

الفصل الثاني

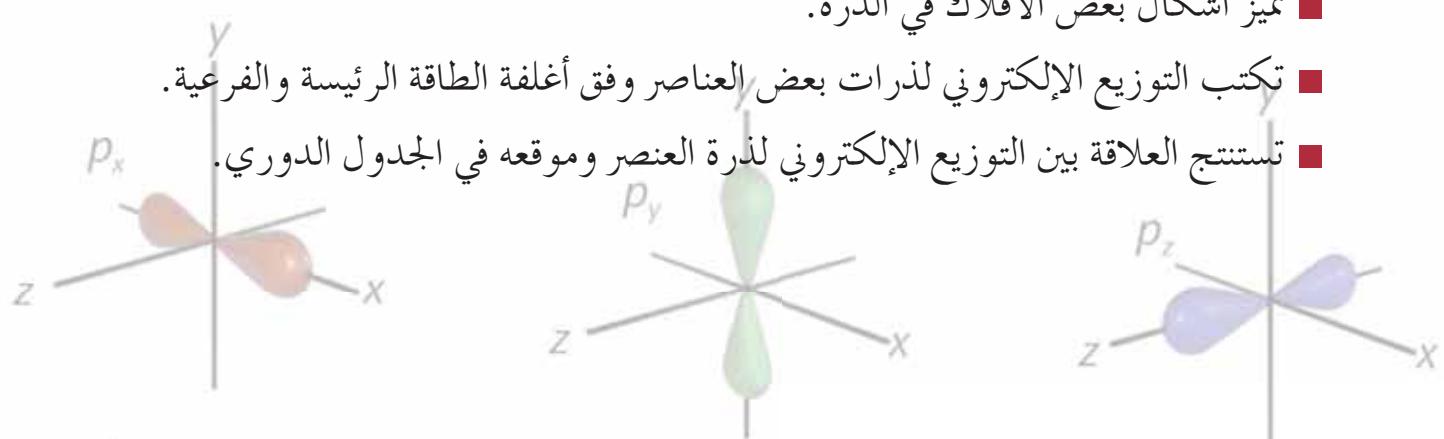
٢

النموذج الميكانيكي الموجي للذرة

Wave Mechanical Model of atom

بعد النجاح الذي حققه العالم بور في تفسير طيف ذرة الهيدروجين وحساب طاقة الإلكترون فيها، واصل العلماء جهودهم لتفسير أطياف الذرات عديدة الإلكترونات، وقد تمثل ذلك في التجارب التي درسوا فيها طبيعة الإلكترون، والتي توصلوا منها إلى أن الإلكترون يتميز بطبيعة مزدوجة (جسيمية، وموجية). فكيف استخدم العلماء تلك النتيجة لتحديد احتمال وجود الإلكترون في الذرة؟ وكيف ساعدت تلك الفرضية على تحديد موضع العنصر في الجدول الدوري؟

- ستتمكن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك لهذا الفصل، ويُتوقع منك بعد ذلك أن:
- تصف النموذج الميكانيكي الموجي للذرة.
 - تُوضح الافتراضات المتعلقة بأغلفة الطاقة الرئيسية والفرعية والأفلاك في الذرة، وتحدد العلاقة بينها.
 - تصف احتمال وجود الإلكترون في الذرة باستخدام الأعداد الكمية الأربع.
 - تُميّز أشكال بعض الأفلاك في الذرة.
 - تكتب التوزيع الإلكتروني لذرات بعض العناصر وفق أغلفة الطاقة الرئيسية والفرعية.
 - تستنتج العلاقة بين التوزيع الإلكتروني لذرة العنصر وموقعه في الجدول الدوري.



النظرية الميكانيكية الموجية للذرة

لم يكن نموذج بور للذرة قابلاً للتطبيق في منتصف القرن الماضي، وقد تركت جهود العلماء على البحث عن مسار جديد لتوسيع البنية الذرية، فعمل ثلاثة من العلماء الفيزيائيين على دراسة هذا الموضوع، وهم: هايسنبرغ (Heisenberg)، ودي برولي (de Broglie)، وشrodنغر (Schrödinger)، وتمكنوا من تطوير هذا المسار في ما يُعرف بـ“ميكانيكا الموجة أو ميكانيكا الكم”؛ إذ توصل العالم دِي برولي إلى أن الإلكترون طبيعة موجية، إضافة إلى طبيعته الجسيمية المعروفة سابقاً. أمّا العالم شرودنغر فقد استخدم ما توصل إليه دِي برولي في محاولة لتصوّر تركيب الذرة، وذلك بتأكيد خصائص الإلكترون الموجية، وقد توصل إلى تصوّرٍ عن وجود الإلكترونات في الذرة بأبعادها الثلاثة، مفاده أن الإلكترون في الذرة يتحرك في منطقة محددة الشكل حول النواة، أطلق عليها اسم الفلك.

توصل شرودنغر أيضًا إلى معادلة رياضية سميت معادلة شرودنغر باسمه، وينتج عند حلها أربعة أعداد عُرفت بالأعداد الكَمية التي تصف احتمال وجود الإلكترون حول النواة، وطاقته، وشكل الأفلاك التي يوجد فيها الإلكترون، واتجاه محور حركته الدوراني حول النواة، وقد أضيف لها عدد كَمي رابع في وقت لاحق يصف اتجاه دوران الإلكترون المحوري حول نفسه، وهذه الأعداد هي:

١ - عدد الكَمُ الرئيس (n)

يشير هذا العدد إلى رقم الغلاف الرئيس (مستوى الطاقة) حول النواة، ويأخذ قِيمًا صحيحةً موجبةً ($n = 1, 2, 3, \dots, \infty$)، حيث يدل كل رقم من هذه الأرقام على غلاف رئيس معين (مستوى طاقة رئيس)، فيكون المستوى الأول ($n = 1$) أقربها إلى النواة وأقلها طاقة، ويرتبط بعدد الكَمُ الرئيس قِيم طاقة الغلاف، ومعدل بُعده عن النواة (حجمه).

٢ - عدد الكَمُ الفرعي (l)

يُمثل هذا العدد الأغلقة الفرعية التي توجد في الأغلفة الرئيسة، والتي يساوي عددها قيمة n ضمن الغلاف الرئيس الذي توجد فيه. فمثلاً، الغلاف الرئيس ($n = 1$) يتكون من غلاف فرعى واحد يُرمز إليه بالحرف s ، والغلاف الثاني ($n = 2$) يضم غلافين فرعيين، يُرمز إلى

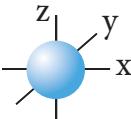
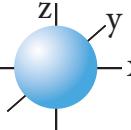
أحدهما بالحرف s ، وإلى الثاني بالحرف p ، ويأخذ عدد الكِمْ الفرعى القييم $(l = 0, 1, 2, \dots, n-1)$ ، ويلخص الجدول (١-١) قِيم أعداد الكِمْ الرئيسية والفرعية للأغلفة الأربع الأولي.

الجدول (١-١): قِيم (n) وقيمة (l) للأغلفة الأربع الأولي.

رمز الغلاف الفرعى	الغلاف الفرعى		قيمة الغلاف الرئيس n
	الرمز	l	
1s	s	0	1
2s	s	0	2
2p	p	1	
3s	s	0	
3p	p	1	3
3d	d	2	
4s	s	0	
4p	p	1	
4d	d	2	4
4f	f	3	

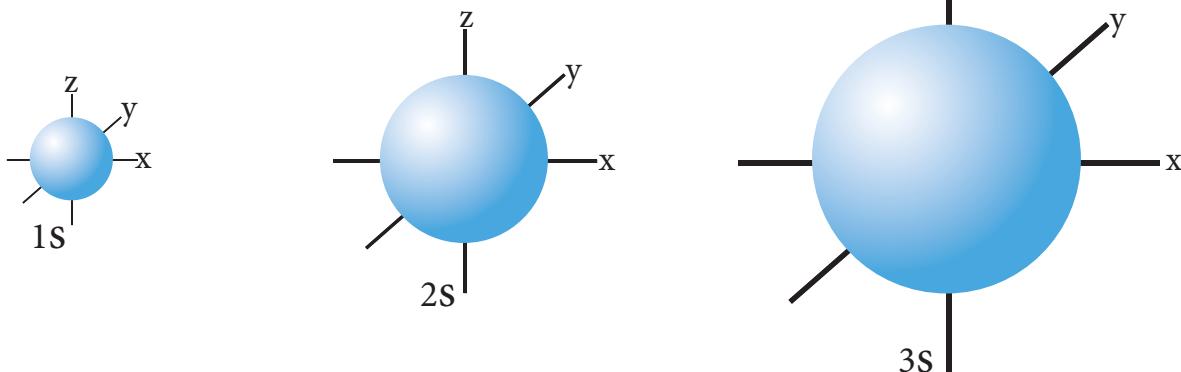
يرتبط عدد الكِمْ الفرعى l بتحديد طاقة الغلاف الفرعى، والشكل العام للأفلاك فيه، ويوضح الجدول (٢-١) أشكال أفلاك (s) و (p) ، وعدد الكِمْ الفرعى لهما في الغلافين الرئيسين: الأول، والثاني.

الجدول (٢-١): أشكال أفلاك (s) و (p) ، وقيمة عدد الكِمْ الفرعى لهما في الغلافين الرئيسين: الأول، والثاني.

شكل الفلك	قيمة عدد الكِمْ الفرعى (l)	الغلاف الفرعى	(n) الغلاف الرئيس
	0	s	1
	0	s	2
	1	p	

لاحظ الشكل الآتي الذي يُبيّن الحجم النسبي للأفلاك s في أدنى ثلاثة أغلفة رئيسية، ثم أجب

عن الأسئلة التي تليه:



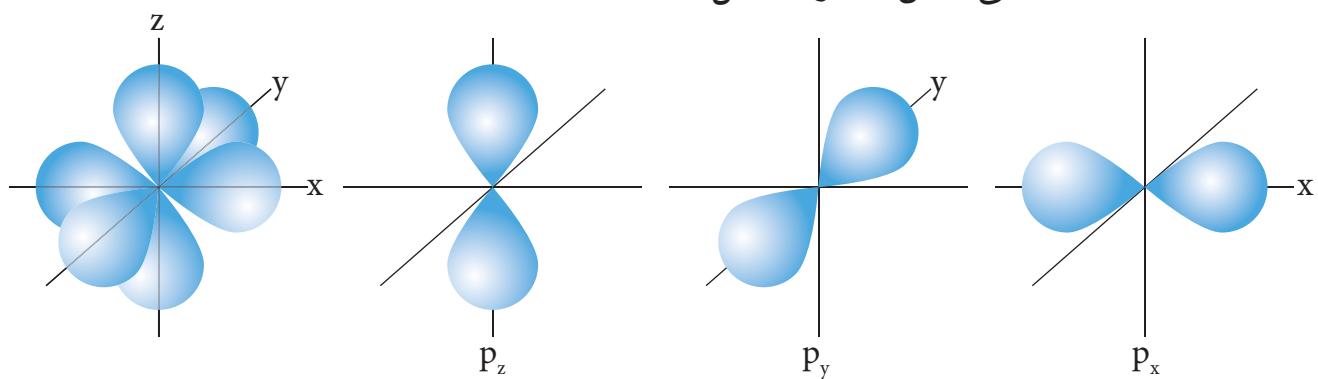
◀ أيهما أعلى طاقة: $1s$ أم $2s$ ؟ لماذا؟

◀ ما العدد الكَمِي الفرعى والعدد الكَمِي الرئيس للغلاف الفرعى $3s$ ؟

◀ ما العلاقة بين حجم الفلك وعدد الكَمِي الرئيس له؟

٣ - عدد الكَمِي المغناطيسي (m_l)

يمثل هذا العدد عدد الأفلاك التي يتكون منها الغلاف الفرعى الواحد، ويرتبط بتحديد الاتجاه الفراغي للفلك، ويأخذ قيمة من $(l = 0, \pm 1, \pm 2)$ مروراً بالصفر؛ فالغلاف الفرعى s يتكون من فلك واحد قيمة m_l له صفر، أما الغلاف الفرعى p ($l=1$) فيتكون من ثلاثة أفلاك تتشابه في شكلها وحجمها وطاقتها ضمن الغلاف الرئيس n نفسه، وقيمة m_l له هي: $+1, 0, -1$ ، صفر، لكنّها تختلف في اتجاه محاورها حول النواة؛ إذ تأخذ اتجاه المحاور الثلاثة (x, y, z)؛ أي إن بعضها متعمد على بعض، انظر الشكل (١١-١).



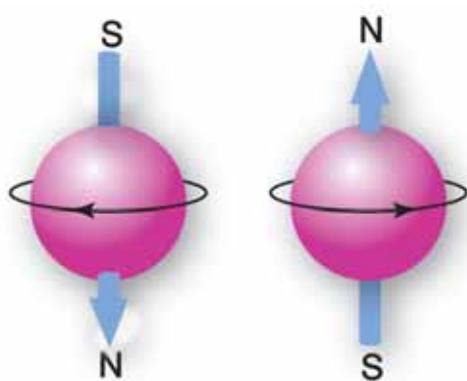
الشكل (١١-١): أشكال الأفلاك الثلاثة للغلاف الفرعى p ، واتجاهاتها الفراغية.

ابحث في الشبكة المعلوماتية عن أشكال أفلاك d ، مستعيناً بالكلمتين المفاتحيتين الآتتين:
. orbitals، d orbitals

٤ - عدد الْكِمُ المغزلي (m_s)

أضيف هذا العدد إلى أعداد الْكِمُ الثلاثة n , l , m_l التي نتجت من حل معادلة شرودنغر، وهو يشير إلى اتجاه الدوران المحوري للإلكترون حول نفسه (اتجاه الغزل) في الفلك، وقد اصطلح على أن يأخذ القيمة $(\frac{1}{2}+, \text{ أو } -\frac{1}{2})$.

لاحظ الشكل (١٢-١)، ثم حاول إيجاد تفسير مناسب لتلك القيم.



إذا وُجدَ إلكترونان في الفلك نفسه فإن كلاً منهما يدور (يغزل) حول نفسه في اتجاه معاكس لدوران الآخر كما في الشكل (١٢-١)، ونتيجة لذلك ينشأ مجالان مغناطيسيان متعاكسان في الاتجاه، الشكل (١٢-١): الدوران المغزلي للإلكترون. فيتجاذب الإلكترونان مغناطيسيًا، مما يُقلل من التناحر الكهربائي بينهما، ويساعد على وجود الإلكترونين في الفلك نفسه.

ولكن، هل يوجد إلكترونان في الذرة الواحدة لهما أعداد الْكِمُ الأربع نفسها؟ للاحتجابة، انظر الجدول (٣-١) الذي يُبيّن قِيم أعداد الْكِمُ الأربع لـإلكتروني الفلك $1s$.

الجدول (٣-١): أعداد الْكِمُ لـإلكتروني الفلك $1s$.

m_s	m_l	l	n	
$\frac{1}{2}+$.	.	١	الإلكترون الأول
$\frac{1}{2}-$.	.	١	الإلكترون الثاني

يَتَبَيَّنُ مِمَّا سَبَقَ أَنَّهُ «لَا يَوْجُدُ إِلَكْتْرُونَانِ لَهُمَا قِيمَةُ أَعْدَادِ الْكَمْمِ الْأَرْبَعَةِ نَفْسَهَا فِي الذَّرَّةِ نَفْسَهَا»، وَهَذَا يُعرَفُ بِمِبدأِ الْاسْتِبَاعَادِ الَّذِي وَصْفَهُ باولِي؛ إِذْ لَا بُدَّ أَنْ يَخْتَلِفُ الْإِلَكْتْرُونَانِ فِي عَدْدِ كَمْمٍ وَاحِدٍ عَلَى الْأَقْلَ.

وَبَنَاءً عَلَى مِبدأِ باولِي، فَإِنَّ الْفَلَكَ الْوَاحِدَ لَا يَتَسْعُ إِلَى أَكْثَرِ مِنْ إِلَكْتْرُونَيْنِ اثْنَيْنِ.

سؤال

◀ ما أَعْدَادُ الْكَمْمِ l, m_1, m_2, m_3 لِلْإِلَكْتْرُونَيْنِ الْمُوجُودَيْنِ فِي الْفَلَكِ؟

◀ أَكْمَلِ الفَرَاغَ فِي الْجَدْوَلِ الْآتَى، ثُمَّ أَجْبِ عنَ الْأَسْئَلَةِ التِّي تَلِيهِ.

رقم الغلاف الرئيس n	عدد الأغلفة الفرعية في الغلاف الرئيس	رمز الغلاف الفرعي	قيمة الغلاف الفرعي	قيمة عدد الـ m_i المغناطيسي	عدد الأفلاك في الغلاف الفرعي	السعة القصوى من الـ إِلَكْتْرُونَاتِ فِي الغلاف الفرعى
		s	.	.	١	.....
٤	.....	.....	١	.....	٣	٦
.....	d	.....	.....	٢+، ١+، ٠، ١-، ٢-	.....	١٠
	f	٣	.....	.....	٧	.....

■ ما العدد الكلى لأفلاك الغلاف الرئيس الرابع؟

■ ما أكبر عدد من الإلكترونات يمكن أن يستوعبه الغلاف الرئيس الرابع؟

■ استنتج العلاقة الرياضية التي تربط قيمة الغلاف الرئيس n بكلٌّ من:

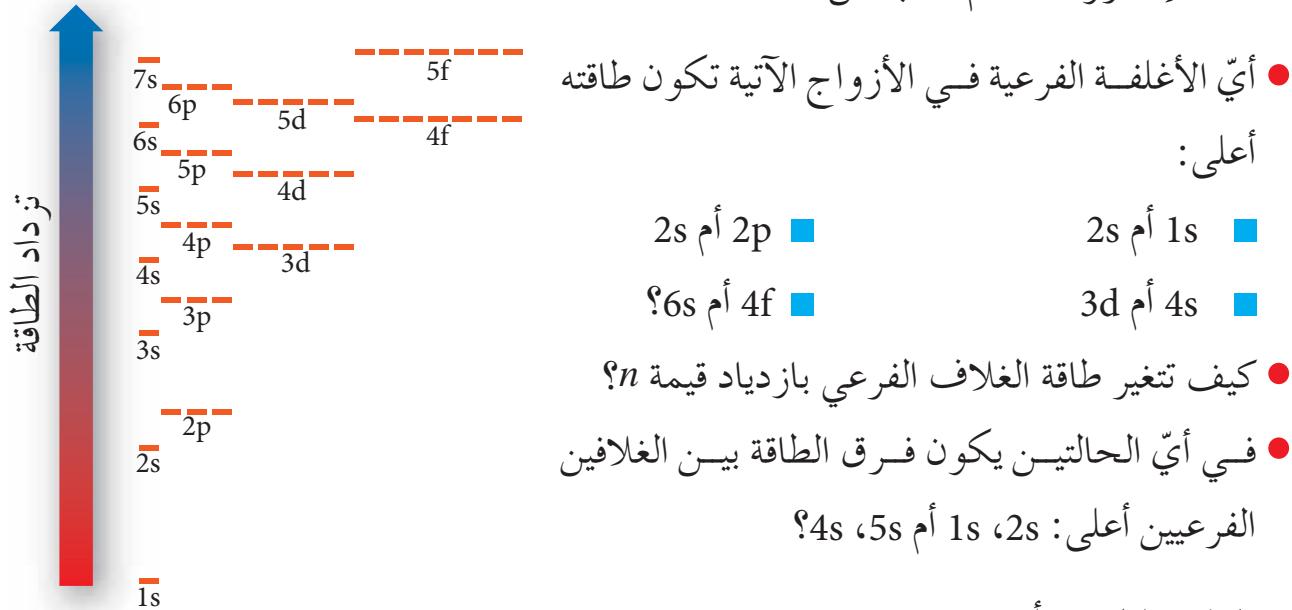
* عدد الأفلاك الكلى.

* عدد الإلكترونات الكلى.

أغلفة الطاقة الفرعية

تعرّفت سابقاً كيفية حساب طاقة الأغلفة الرئيسية n في ذرة الهيدروجين؛ فهي أبسط الذرات، وطيفها أبسط الأطيف (بسبب امتلاكها إلكترون واحداً فقط)؛ لذا فإن جميع الأفلاك التي توجد فيها إلكترونات في ذرات الهيدروجين لها الطاقة نفسها. ولكن، ماذا بشأن الذرات عديدة الإلكترونات؟

للإجابة، ادرس الشكل (١٣-١) الذي يمثل مخططاً لأغلفة الطاقة الفرعية في الذرات عديدة الإلكترونات، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



الشكل (١٣-١): طاقات الأغلفة الفرعية في الذرات عديدة الإلكترونات.

يتبين مما سبق أن:

- ١ - طاقة الأغلفة الفرعية تزداد بازدياد قيمة n .
- ٢ - فرق الطاقة بين الأغلفة المتتالية يتناقص بازدياد قيمة n .
- ٣ - التداخل بين أغلفة الطاقة الفرعية يحدث ابتداءً بالغلاف الرئيس الثالث (4s أقل طاقة من 3d).
- ٤ - طاقات أفالك الغلاف الفرعوي الواحد تتساوى في الغلاف الرئيس نفسه ($2p_x, 2p_y, 2p_z$).
- ٥ - طاقات الأغلفة الفرعية المختلفة تتفاوت ضمن الغلاف الرئيس الواحد (2s أقل طاقة من 2p).

تجدر الإشارة إلى أنه يمكن ترتيب الأفلاك حسب طاقتها باتباع الآتي:

- ١ - جمع قيمة $(l+n)$ ، فيكون المستوى الذي المجموع فيه أقل هو أقل المستويات طاقة.
- ٢ - في حال تساوت قيمة $(l+n)$ لفلكين فإن أقلهما طاقة هو الفلك الذي تكون فيه n أقل قيمة.

سؤال

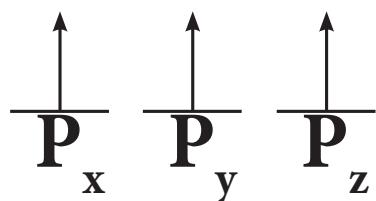
◀ رتب الأفلاك الآتية تصاعدياً وفق طاقتها:

.4s, 3d, 2p, 3s

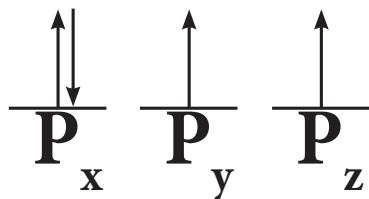
ثالث

قاعدة هوند

إذا احتوت ذرة على ثلاثة إلكترونات في أفلاك p، فكيف تتوزع هذه الإلكترونات؟
بيّنت تجارب هوند أن الإلكترونات تتوزع أولاً فرادي في أفلاك الغلاف الفرعي الواحد في اتجاه الغزل نفسه، ثم تبدأ بالازدواج تباعاً في اتجاه معاكس، وهذا ما تنص عليه قاعدة هوند (Hund's Rule)، وهذا التوزيع يجعل الذرة أقل طاقة وأكثر استقراراً. فإذا كان لدينا ثلاثة إلكترونات في الغلاف الفرعي p فإنها ستتوزع على أفلاكه الثلاثة على النحو الآتي:



وفي حال وجود إلكترون رابع فإنه يدخل أحد الأفلاك في اتجاه غزل معاكس لاتجاه غزل الإلكترون الموجود في هذا الفلك على النحو الآتي:



أجب عن الأسئلة الآتية بناءً على قاعدة هوند:

◀ كيف توزّع خمسة إلكترونات في أفلاك p؟ وما عدد الإلكترونات المنفردة؟

◀ كيف توزّع ثمانية إلكترونات في أفلاك d؟ وما عدد الإلكترونات المنفردة؟

رابعاً

التوزيع الإلكتروني للذرات

بعد معرفتك أغلفة الطاقة الفرعية والأفلاك في الذرات عديدة الإلكترونات وترتيبها وفقاً لزيادة في طاقاتها، قد يتبدّل إلى ذهنك السؤالان الآتيان: هل توزّع الإلكترونات في أفلاك الذرة عشوائياً أم وفق قواعد معينة؟ وكيف يمكن أن توزّع الإلكترونات في الذرة؟

توزيع الإلكترونات في أفلاك الذرة وفق قواعد معينة، هي:

- ١ - عدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة يساوي العدد الذري للعنصر.
- ٢ - ملء الأفلاك بالإلكترونات، بدءاً بالفلك الأدنى طاقة ثم الأعلى طاقة.
- ٣ - الفلك الواحد في الذرة يتسع إلى إلكترونين فقط تبعاً لمبدأ الاستبعاد (باولي).
- ٤ - توزيع الإلكترونات على الغلاف الفرعي المكوّن من عدّة أفلاك حسب قاعدة هوند.

وفي ما يأتي التوزيع الإلكتروني لذرات بعض العناصر:



يمكن كتابة التوزيع الإلكتروني بدلالات الغازات النبيلة (Rn، Xe، Kr، Ar، Ne، He)، وذلك بالاستعاضة عن الأغلفة الرئيسة الداخلية الممثّلة للعنصر برمز الغاز النبيل الذي يسبقها مباشرة في الجدول الدوري، فضلاً عن توزيع الإلكترونات بدلالات الأفلاك كما في الجدول (٤-١).

الجدول (٤-١): التوزيع الإلكتروني لذرات بعض العناصر بدلالة الأفلاك والغاز النبيل.

العنصر	التوزيع الإلكتروني	النطاق
$_{_3}Li$	$1s^2 2s^1$	$[He] 2s^1$
$_{_4}Be$	$1s^2 2s^2$	$[He] 2s^2$
$_{_5}B$	$1s^2 2s^2 2p^1$	$[He] 2s^2 2p^1$
$_{_6}C$	$1s^2 2s^2 2p^2$	$[He] 2s^2 2p^2$
$_{_7}N$	$1s^2 2s^2 2p^3$	$[He] 2s^2 2p^3$
$_{_{10}}Ne$	$1s^2 2s^2 2p^6$	$[He] 2s^2 2p^6$
$_{_{11}}Na$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	$[Ne] 3s^1$
$_{_{16}}S$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$	$[Ne] 3s^2 3p^4$
$_{_{18}}Ar$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	$[Ne] 3s^2 3p^6$
$_{_{20}}Ca$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$	$[Ar] 4s^2$
$_{_{22}}Ti$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^2$	$[Ar] 4s^2 3d^2$
$_{_{25}}Mn$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^5$	$[Ar] 4s^2 3d^5$

سؤال

◀ اكتب التوزيع الإلكتروني لذرات العناصر الآتية بدلالة الغاز النبيل:



◀ ما عدد الإلكترونات المنفردة في كل منها؟

الجدول الدوري الحديث

حاول العلماء ترتيب العناصر وفق صفات مشتركة بينها في جدول، وكان من أبرز هذه المحاولات ما قام به العالم الألماني جون دوبرآينر (Johann Dobereiner)، والعالم الإنجليزي الكسندر نيولاندز (Alexander Newlands) ثم العالم الألماني جوليوس ماير (Julius Meyer).

قضية للبحث

ابحث في الشبكة المعلوماتية عن إسهامات العلماء: دوبرآينر، ونيولاندز، وماير في بناء الجدول الدوري، مستعيناً بالكلمتين المفتاحيتين الآتيتين: الجدول الدوري، ترتيب العناصر الكيميائية. ثم ناقش ما توصلت إليه مع زملائك.

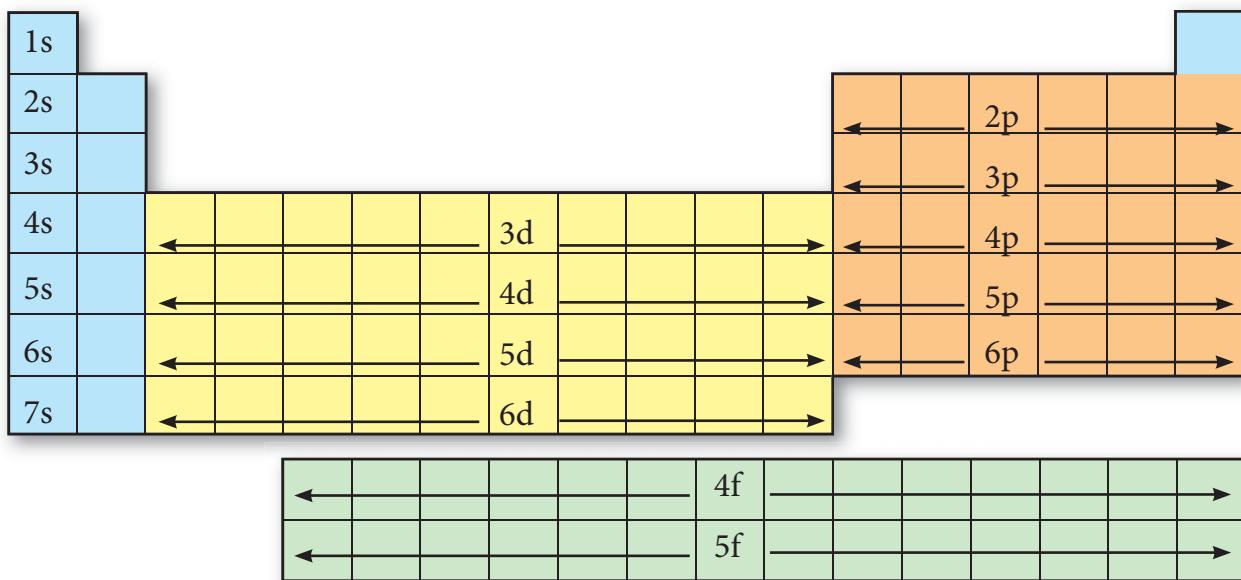
وقد توالت جهود العلماء في هذا المجال إلى أن رتب العالم الروسي ديمetriي مندليف (Dmitri Mendeleev) العناصر في جدول دوري اعتماداً على خصائصها الكيميائية وتزايد كتلها الذرية، ثم رتب العالم الإنجليزي هنري موزلي (Henry Moseley) العناصر تبعاً لتزايد أعدادها الذرية في الجدول الدوري الحديث الذي ما زال معتمداً حتى الآن، انظر الشكل (١٤-١).

		العنصر الآخرية										
		فلزات	الملييات التراثية	الفلويات التراثية	أشباه موصلات	لا فلزات أخرى	فلزات أخري	الغازات النبيلة	الكتلة الذرية	اسم العنصر	رمز العنصر	
1	H	Hydrogen 1.00794										
IA												
2	³ Li	Lithium 6.941	⁴ B	Boron 9.012182	⁶ C	Carbon 12.0107	¹² Mg	Magnesium 24.3050	¹⁴ N	Nitrogen 14.00674	¹⁶ O	Oxygen 15.9994
IIA												
3	¹¹ Na	Sodium 22.989770	¹² Mg	Magnesium 24.3050	¹⁴ N	Nitrogen 14.00674	¹⁶ O	Oxygen 15.9994	¹⁷ F	Fluorine 18.998402	¹⁸ Ne	Neon 20.1797
IIIB												
4	¹⁹ K	Potassium 39.0983	²⁰ Ca	Calcium 40.078	²¹ Sc	Scandium 44.955910	²² Ti	Titanium 47.987	²³ V	Vanadium 50.9415	²⁴ Cr	Chromium 51.9861
VA												
5	³⁷ Rb	Rubidium 85.468	³⁸ Sr	Strontrium 87.62	³⁹ Y	Yttrium 88.90585	⁴⁰ Zr	Zirconium 91.224	⁴¹ Nb	Niobium 92.90638	⁴² Mo	Molybdenum 95.944
VIIB												
6	⁵⁵ Gs	Gesum 132.90545	⁵⁶ Ba	Baum 137.327	⁷¹ L	Lutetium 174.967	⁷² Hf	Hafnium 178.49	⁷³ Ta	Tantalum 180.9473	⁷⁴ W	Tungsten 183.34
VIB												
7	⁸⁷ R	Radium (226)	⁸⁸ Ra	Rutherfordium (261)	¹⁰³ Lr	Lawrencium (262)	¹⁰⁴ Rf	Rutherfordium (262)	¹⁰⁵ Dub	Dubnium (262)	¹⁰⁶ Sg	Seaborgium (263)
VIIIB												
VIII A												

الشكل (١٤): الجدول الدوري الحديث.

والآن، قد يتبدّل إلى ذهنك السؤال الآتي: كيف يمكنك تحديد موقع العنصر في الجدول الدوري عن طريق التوزيع الإلكتروني؟

ادرس الشكل (١٥-١) الذي يبيّن الجدول الدوري الحديث مقسماً إلى أربعة قطاعات تمثّل الأغلفة الفرعية: s ، p ، d ، f، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل (١٥-١): الجدول الدوري الحديث مقسماً إلى أربعة قطاعات.

- ما عدد الأعمدة في كلٍ من القطاعات: s ، و p ، و d ، و f ؟
 - ما العلاقة بين عدد الأعمدة في القطاع الواحد وعدد الإلكترونات التي يستوعبها كل غلاف فرعي؟
 - ماذا تسمّى العناصر التي توجد في الجدول، وينتهي فيها التوزيع الإلكتروني بالقطاع s أو p؟
 - ماذا تسمّى العناصر التي توجد في الجدول، وينتهي فيها التوزيع الإلكتروني بالقطاع d أو f؟
- يبيّن مما سبق أن عناصر الجدول الدوري تُصنّف إلى نوعين رئيسيين من المجموعات؛ الأولى: العناصر الممثلة، ويرمز إليها بالحرف A، وتتألّف من العناصر في القطاع s الذي يضم عمودين ويتوزّع إلكترونها الأخير في الغلاف الفرعي s، والعناصر في القطاع p الذي يضم ستة أعمدة، ويتوزّع إلكترونها الأخير في الغلاف الفرعي p.

والنوع الثاني هو العناصر الانتقالية، ويرمز إليها بالحرف B، وتضم قطاعين؛ الأول: قطاع d، ويطلق عليه اسم العناصر الانتقالية الرئيسية، ويتألف من عشرة أعمدة، ويتوزع إلكترونها الأخير في الغلاف الفرعي d. والثاني: قطاع f، ويطلق عليه اسم العناصر الانتقالية الداخلية، ويتألف من أربعة عشر عموداً، ويتوزع إلكترونها الأخير في الغلاف الفرعي f. وسوف تدرس هذا العام العناصر الممثلة والعناصر الانتقالية الرئيسية فقط.

والآن، كيف يمكنك استخدام التوزيع الإلكتروني لذرات العناصر في تحديد رقم الدورة ورقم المجموعة للعنصر؟ وهل يمكنك تحديد العدد الذري للعنصر بناءً على معرفتك بموقعه في الجدول الدوري؟

١ - تحديد موقع العناصر الممثلة في الجدول الدوري

إذا كان لديك العناصر الممثلة: Be_4 ، K_{15} ، P_{19} ، فاكتب التوزيع الإلكتروني لكل منها، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

أ - مُستعيناً بالجدول الدوري الظاهر في الشكل (١٤-١)، ما رقم مجموعة كل عنصر منها؟ وما رقم دورته؟

ب - ما العلاقة بين رقم مجموعة كل عنصر منها وعدد الإلكترونات في أعلى غلاف رئيس n؟

ج - ما العلاقة بين رقم دورة كل عنصر منها ورقم أعلى غلاف رئيس n؟

يتبين مما سبق أن رقم دورة العناصر الممثلة يتحدد من أعلى قيمة للغلاف الرئيس n في التوزيع الإلكتروني للعنصر (يُعرف بالغلاف الخارجي)، وأن رقم مجموعة العنصر الممثل يساوي مجموع عدد الإلكترونات s، و p في الغلاف الخارجي لذلك العنصر، وأنه يُطلق على الإلكترونات الغلاف الخارجي للعنصر الممثل اسم الإلكترونات التكافؤ.

◀ اعتماداً على التوزيع الإلكتروني للعناصر: Ca_{20} ، و Se_{34} ، حدد موقع كلٌّ منهما في الجدول الدوري.

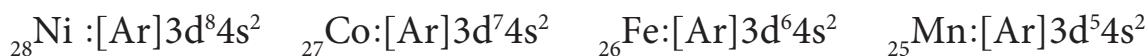
◀ ما العدد الذري لعنصر يقع في الدورة الثالثة والمجموعة السابعة A؟

◀ ما عدد إلكترونات التكافؤ لعنصر S_{16} ؟

٢ - تحديد موضع العناصر الانتقالية في الجدول الدوري

كيف يمكنك تعين رقم الدورة والمجموعة للعناصر الانتقالية؟

ادرس التوزيع الإلكتروني للعناصر الانتقالية الرئيسية الآتية، ثم أجب عما يليها من أسئلة:



أ - مُستعيناً بالجدول الدوري، ما علاقة أعلى قيمة للغلاف الرئيس n برقم الدورة؟

ب- ما علاقة رقم المجموعة بمجموع إلكترونات في الغلافين: s، و d؟

لاحظ أن رقم دورة العناصر الانتقالية يتحدد بالطريقة نفسها التي يُحدّد بها رقم دورات العناصر الممثلة؛ فهو يساوي أعلى قيمة للغلاف الرئيس n الذي يصل إليه التوزيع الإلكتروني؛ لذا فإن العناصر السابقة جميعها تقع في الدورة الرابعة. أمّا رقم مجموعة العناصر الانتقالية الرئيسية فيتحدد وفق مجموع عدد الإلكترونات في الغلافين الفرعيين: s، و d على النحو الآتي:

أ - إذا كان مجموع عدد الإلكترونات في الغلافين الفرعيين الأخيرين: s، و d يساوي (٣ إلى ٧) فإن رقم مجموعة العنصر الانتقال يساوي هذا المجموع، كما في العناصر: Sc، و Ti، و V، و Cr، و Mn.

ب - إذا كان مجموع عدد الإلكترونات للعنصر الانتقال في الغلافين الفرعيين الأخيرين: s، و d يساوي ٨ إلكترونات، أو ٩ إلكترونات، أو ١٠ إلكترونات فإن هذه العناصر تقع في المجموعة الثامنة B، كما في العناصر: Ni، Co، Fe.

ج - إذا كانت أفلاك d ممتهلة (أي تحوي عشرة إلكترونات) فإن رقم مجموعة العنصر الانتقالي الرئيس يتحدد بعدد الإلكترونات في الفلك d الأخير فقط.

بناءً على ما سبق، فإن التوزيع الإلكتروني لعنصر النحاس هو ${}_{29}^{\text{Cu}}: [\text{Ar}]3d^{10}4s^1$

ورقم مجموعته IB، والتوزيع الإلكتروني لعنصر الخارصين هو ${}_{30}^{\text{Zn}}: [\text{Ar}]3d^{10}4s^2$

ورقم مجموعته IIB.

لاحظ أن عنصر النحاس Cu يختلف عن باقي العناصر من حيث التوزيع الإلكتروني؛ فهو يمتلك التوزيع الآتي: ${}_{29}^{\text{Cu}}: [\text{Ar}]3d^{10}4s^1$

ذلك لأن ذرة النحاس تكون في وضع أدنى طاقةً وأكثر استقراراً؛ لأن الغلاف الفرعى $4s$ نصف ممتلىء، والغلاف الفرعى $3d$ ممتلىء.

أمّا التوزيع الإلكتروني الفعلى لذرة الكروم Cr فهو ${}_{24}^{\text{Cr}}: [\text{Ar}]3d^54s^1$ ؛ لأن الغلافين الفرعىين $4s$ ، و $3d$ هما أنصاف ممتهلة، مما يجعل الذرة أكثر استقراراً.

سادساً

التوزيع الإلكتروني لأيونات العناصر

قد يتadar إلى الذهن السؤال الآتي: كيف يكون التوزيع الإلكتروني لأيونات العناصر؟ للإجابة، ادرس المثالين الآتيين.

مثال (١)

اكتب التوزيع الإلكتروني لأيون الصوديوم ${}_{11}^{\text{Na}}\text{Na}^+$.

الحل

نكتب أولاً التوزيع الإلكتروني لذرة الصوديوم: ${}_{11}^{\text{Na}}: 1s^22s^22p^63s^1$

ولمّا كان عنصر الصوديوم هو أحد العناصر الممتهلة، الذي تصل ذرته إلى حالة الاستقرار عند فقدانها إلكتروناً من الفلك $3s$ ، فإن التوزيع الإلكتروني لأيونه يشبه ذرة الغاز النبيل الذي يسبقه مباشرةً في الجدول الدوري، وهو Ne، فيصبح التوزيع الإلكتروني لأيون الصوديوم:

${}_{11}^{\text{Na}}\text{Na}^+: [\text{Ne}]1s^22s^22p^6$

سؤال

◀ اكتب التوزيع الإلكتروني للأيونات الآتية:

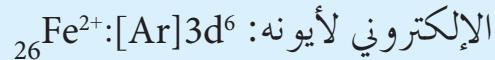


مثال (٢)

اكتب التوزيع الإلكتروني لأيون الحديد ${}_{26}\text{Fe}^{2+}$

الحل

نكتب أولاً التوزيع الإلكتروني لذرة الحديد المتعادلة: ${}_{26}\text{Fe}:[\text{Ar}]3\text{d}^64\text{s}^2$
ولمّا كان الحديد عنصراً انتقالياً فإنه يفقد إلكتروناته من الفلك $4s$ أولاً ليصبح التوزيع



ومن الجدير بالذكر أن العنصر الانتقالى الرئيس يُكون أيونات موجبة بفقده إلكترونات من الفلك ns أولاً؛ لأنّه أبعد عن النواة، فتكون قوة جذب النواة له ضعيفة، وقد يفقد بعض إلكترونات الغلاف d ($(n-1)$), أو كلها.

سؤال

◀ اكتب التوزيع الإلكتروني لأيون Mn^{4+} , علمًا بأن العدد الذري لعنصر المنغنيز هو ٢٥.

◀ ما عدد الإلكترونات المنفردة لأيون Cu^{2+} , علمًا بأن العدد الذري لعنصر النحاس هو ٢٩؟

قضية للبحث

حضرت ثلاثة أعمدة من العناصر الانتقالية في ما يُسمى المجموعة الثامنة التي تختلف في توزيعها الإلكتروني. ابحث في أحد مراجع الكيمياء عن السبب، ثم اكتب تقريرًا عن ذلك، وناقشه مع زملائك في الصف.

٧ أسئلة الفصل

- ١ - ما عدد الأغلفة الفرعية وعدد الأفلاك في الغلاف الرئيس الثالث؟
- ٢ - رتب الأغلفة الفرعية الآتية تبعاً لترابيد طاقتها: .6d، 5f، 5p، 5s، 4f، 4d، 4p.
- ٣ - ما رمز الغلاف الفرعى الذى له قيم أعداد الكم الاتية:
 - أ) $n = 3, l = 0$ صفر
 - ب) $n = 1, l = 5$
- ٤ - أي رموز الأغلفة الفرعية الآتية غير صحيح: 1p، 3d، 3f، 2d، 3s، 4f، 2p؟ ولماذا؟
- ٥ - أي مجموعات الأعداد الكمية الآتية تمثل إلكترونات في أحد أفلاك الذرة:
 - أ) $\frac{1}{2}^+ = m_s, 1^- = m_l, 2 = n$
 - ب) $\frac{1}{2}^- = m_s, 0 = m_l, 1 = l, 1 = n$
 - ج) $\frac{1}{2}^+ = m_s, 2^- = m_l, 1 = n$
- ٦ - اكتب التوزيع الإلكتروني للدقائق: $^{13}_{21}\text{Sc}^{3+}$ ، $^{24}_{16}\text{Cr}^{3+}$ ، $^{17}_{26}\text{Al}^{3+}$ بدلالة الغاز النبيل الذي يسبق كل منها في الجدول الدوري.
- ٧ - ما عدد الإلكترونات المنفردة في كل من: $^{30}_{17}\text{Cl}^{2+}$ ، $^{30}_{26}\text{Fe}^{3+}$ ، $^{30}_{24}\text{Zn}^{2+}$ ؟
- ٨ - ما العدد الذري لعنصر:
 - أ) يقع في الدورة الثالثة والمجموعة السادسة A؟
 - ب) يقع في الدورة الرابعة والمجموعة الخامسة B؟
 - ج) ينتهي التوزيع الإلكتروني لأيونه الثنائي السالب بالغلاف الفرعى $^6\text{p}^2$ ؟
 - د) ينتهي التوزيع الإلكتروني لأيونه الثنائي الموجب بالغلاف الفرعى $^5\text{d}^3$ ؟

الفصل الثالث

٣

الدورية في خصائص ذرات العناصر

Periodicity of the Elements

تعرّفت من دراستك للجدول الدوري أن العناصر رُتّبت فيه وفق تزايد أعدادها الذرية، وتشابهها في الخصائص الفيزيائية والكيميائية، وستتعرّف في هذا الفصل أهم الخصائص الدورية للعناصر المماثلة، وكيف تتغير هذه الخصائص بتغيير التركيب الإلكتروني للعناصر. فما أهم الخصائص الدورية للعناصر؟ وكيف تتغير هذه الخصائص خلال الدورة وخلال المجموعة في الجدول الدوري؟ وما العوامل التي تعتمد عليها الدوريّة في خصائص العناصر؟

ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل، ويُتوقع منك بعد ذلك أن:

- توضّح دوريّة التغيير في خصائص بعض العناصر في الجدول الدوري، مثل: الحجم الذري، وحجوم الأيونات، وطاقة التأين، والكهربائية.
- تحديد العوامل التي تعتمد عليها الدوريّة في خصائص العناصر.
- تنبأ بالسلوك الكيميائي للعناصر المماثلة اعتماداً على التوزيع الإلكتروني لذراتها.



الحجم الذري

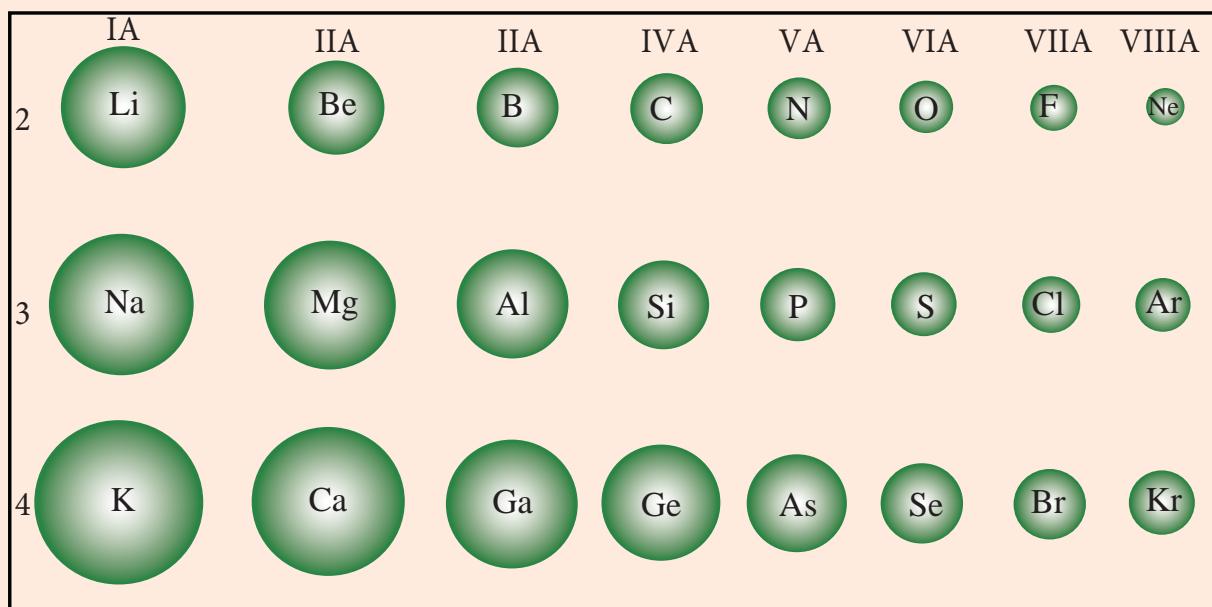
تفاوت خصائص العناصر بانتقالها من اليسار إلى اليمين في الدورة الواحدة من الجدول الدوري، وانتقالها من أعلى إلى أسفل في المجموعة الواحدة، ومن هذه الخصائص الحجم الذري. فما المقصود بالحجم الذري للعنصر؟ وكيف تغير حجوم الذرات في الجدول الدوري في الدورة الواحدة والمجموعة الواحدة؟

يساهم الحجم الذري إسهاماً كبيراً في تحديد العديد من خصائص العناصر وسلوكها، ويرتبط حجم الذرة بمعدل المسافة التي تفصل النواة عن غلاف التكافؤ الأبعد عنها. ولمعرفة كيف يتغير الحجم الذري لعناصر الدورة والمجموعة في الجدول الدوري، نفذ النشاط (٢-١).

نشاط (٢-١): الحجوم النسبية لذرات بعض عناصر الجدول الدوري



تأمل الشكل (١٦-١) الذي يوضح الحجوم الذرية لبعض العناصر الممثلة في الدورة الثانية والثالثة والرابعة من الجدول الدوري، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه بمشاركة زملائك في المجموعة.



الشكل (١٦-١): الحجوم النسبية لذرات بعض العناصر الممثلة في الجدول الدوري.

- أي الذرات أكبر حجماً؟
- كيف تغير حجوم الذرات في الدورة الثانية من الجدول الدوري؟ وهل ينطبق ذلك على العناصر في الدورتين: الثالثة، والرابعة؟
- كيف يتغير عدد البروتونات للعناصر بالانتقال من اليسار إلى اليمين في الدورة الواحدة؟
- في أي مستويات الطاقة الرئيسية يضاف الإلكترون الأخير للذررة عند الانتقال من اليسار إلى اليمين في الدورة الثانية؟
- كيف تتغير حجوم الذرات في المجموعة الأولى من الجدول الدوري بالانتقال من أعلى إلى أسفل؟ وهل ينطبق ذلك على العناصر في المجموعات الأخرى؟
- كيف تتغير قيمة n في المجموعة الواحدة بالانتقال من أعلى إلى أسفل؟ وما علاقته بذلك بالحجم الذري؟

لاحظ أن الحجم الذري للذرات يتناقص في الدورة الواحدة بالاتجاه من اليسار إلى اليمين مع زيادة العدد الذري، وأن الحجم الذري يزداد في المجموعة الواحدة بالانتقال من أعلى إلى أسفل مع زيادة العدد الذري.

أما أبرز العوامل المؤثرة في الحجم الذري فهي:

١ - شحنة النواة الفاعلة

تعبر هذه الشحنة عن مقدار الشحنة الفعلية التي تؤثر في إلكترونات الغلاف الخارجي؛ فقد ثبت عملياً أن إلكترونات الغلاف الخارجي تتأثر فعلياً بشحنة أقل من شحنة النواة الموجبة (عدد البروتونات)، وذلك لوجود إلكترونات الأغلفة الداخلية التي تحجب جزءاً من تأثير شحنة النواة في إلكترونات الغلاف الخارجي. وكلما زاد عدد البروتونات من اليسار إلى اليمين في الدورة الواحدة مع بقاء قيمة n ثابتة (لأن الإلكترون الأخير يضاف إلى مستوى الطاقة الرئيس نفسه) زاد تأثير شحنة النواة الفاعلة، ثم زاد جذب النواة لإلكترونات الغلاف الخارجي، فقل الحجم الذري.

٢ - عدد الـ k^{\prime} الرئيس n

يعبر هذا العدد عن معدل بُعد إلكترونات الغلاف الخارجي عن النواة؛ إذ يزداد

الحجم الذري في المجموعة الواحدة من الجدول الدوري بالانتقال من أعلى إلى أسفل مع زيادة عدد الكَمْ الرئيس n ، وبقاء شحنة النواة الفاعلة ثابتة؛ لأن ازدياد عدد البروتونات في النواة يقابلها زيادة مماثلة في عدد إلكترونات الأغلفة الداخلية (الإلكترونات الحاجبة).

سؤال

فَسِّرْ كُلًا مَمَّا يَأْتِي :

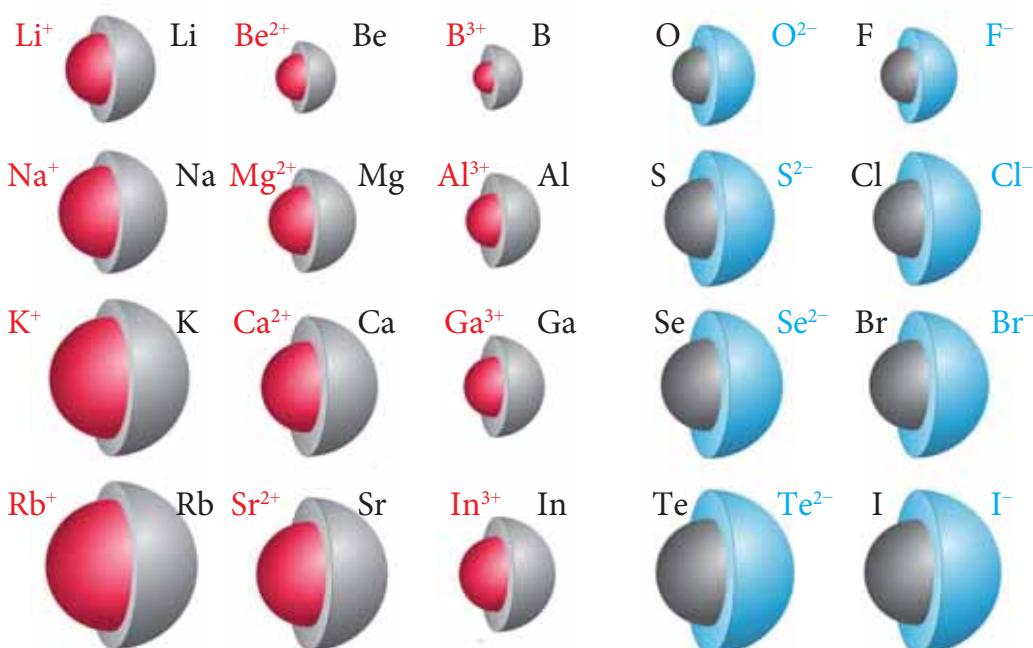
- ◀ الحجم الذري للفلور أصغر من الحجم الذري للليثيوم.
- ◀ الحجم الذري للبوتاسيوم أكبر من الحجم الذري للصوديوم.

ثانياً

حجوم الأيونات

كيف تغير حجوم الأيونات التي تُكَوِّنُها ذرات العناصر في الجدول الدوري؟ وما علاقـة حجم الأيون بحجم ذرتـه المتعـادلة؟

للإجابة، ادرس الشـكل (١٧-١) الذي يُبيـن حـجـوم عـدـد مـن ذـرـات العـناـصـر المـمـثـلـة فـي الجـدـول الدـورـي وأـيـونـاتـها، ثـم أـجـبـ عنـ الأـسـئـلـةـ التـيـ تـلـيهـ.



الشكل (١٧-١) : الحـجـومـ النـسـبـيـ لـبعـضـ الـذـرـاتـ فـيـ الجـدـولـ الدـورـيـ وـأـيـونـاتـهاـ الـمـوجـبـةـ وـالـسـالـبـةـ.

- أيهما أصغر حجماً: أيون الليثيوم Li^+ أم ذرته المتعادلة؟ فسر إجابتك اعتماداً على التركيب الإلكتروني لكلٌّ منهما.
- أيهما أكبر حجماً: أيون F^- أم ذرته المتعادلة؟ فسر إجابتك اعتماداً على التركيب الإلكتروني لكلٌّ منهما.
- كيف يتغير حجم الأيون الموجب مقارنة بحجم ذرته المتعادلة؟
- كيف يتغير حجم الأيون السالب مقارنة بحجم ذرته المتعادلة؟

إن حجم الأيون الموجب هو أصغر من حجم ذرته المتعادلة (حجم الأيون Li^+ أصغر من حجم الذرة Li)؛ إذ يقل رقم الغلاف الرئيس في الأيون الموجب، فيزداد تأثير شحنة النواة الفاعلة، وهذا يؤدي إلى زيادة جذب النواة للإلكترونات في الغلاف الخارجي، فيقل الحجم. أما حجم الأيون السالب فهو أكبر من حجم ذرته المتعادلة (حجم الأيون F^- أكبر من حجم الذرة F)؛ إذ إن دخول الإلكترون غلاف الذرة الخارجي يزيد من التناقض بين الإلكترونات، فيزداد الحجم.

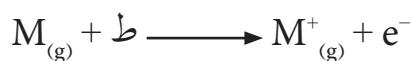
سؤال

◀ أيهما أصغر حجماً: Na^+ أم F^- ? فسر إجابتك.

طاقة التأين

ثالث

تفاوت ذرات العناصر الممثلة في قابليتها لفقد الإلكترونات تبعاً لقوية ارتباط هذه الإلكترونات بالنواة؛ إذ يتطلب فصل الإلكترون عن الذرة المتعادلة في الحالة الغازية كمية من الطاقة تكفي للتغلب على قوى التجاذب بين النواة والإلكترون الأضعف ارتباطاً بالذرة، وهو الذي يكون عادةً أبعد الإلكترونات الذرة عن نواتها، وتُعرف هذه الطاقة باسم طاقة تأين العنصر (*Ionization Energy*)، وتوءدي عملية تأين الذرة M إلى تكون أيون موجب M^+ ، ويعبر عن ذلك بالمعادلة العامة الآتية:



(تشير ط إلى طاقة التأين لذرة العنصر M)

فكيف تغير قيم طاقات التأين للعناصر الممثلة في الجدول الدوري؟ وما أثرها في السلوك الكيميائي لهذه العناصر؟ للاجابة، نفذ النشاط الآتي.



نشاط (٤-١): تغيير قيم طاقات التأين للعناصر الممثلة

ادرس الشكل (١٨-١) الذي يُبيّن قيم طاقات التأين الأولى للعناصر الممثلة في الجدول الدوري مقداراً بالكيلوجول / مول، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه بمشاركة زملائك في المجموعة.

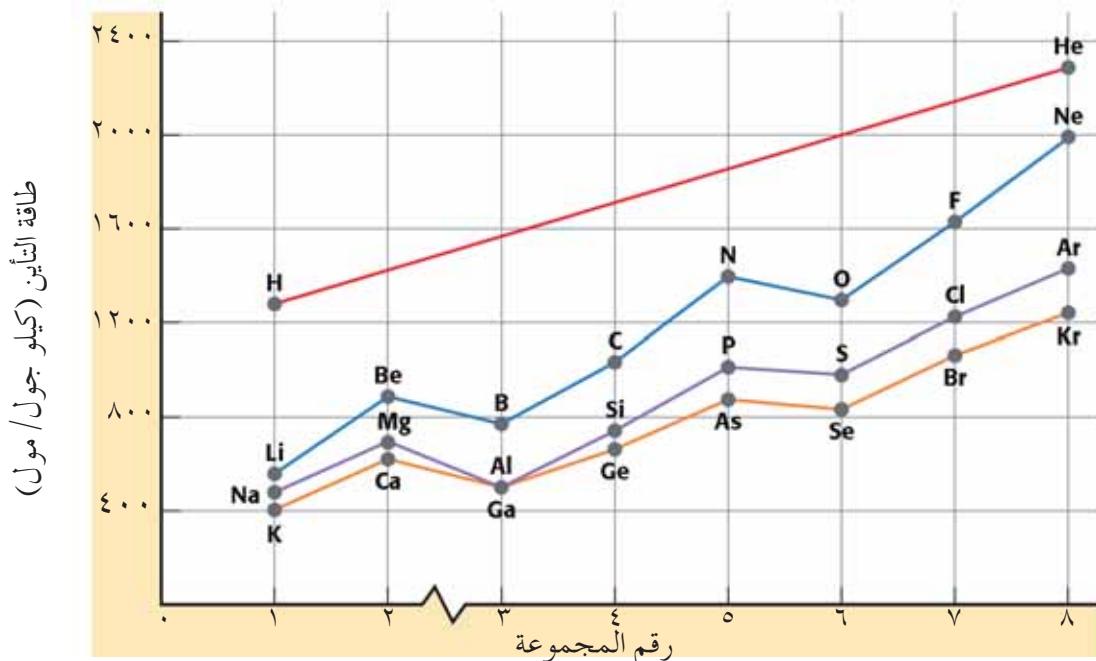
IA	VIIIB										VIII						
H 1312	IIA											He 2371					
Li 520	Be 899	Na 496	Mg 738	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	IB	IIB	B 801	C 1086	N 1402	O 1314	F 1681	Ne 2081	
K 419	Ca 599	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga 579	Ge 762	As 947	Se 941	Br 1140	Kr 1351
Rb 403	Sr 550	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In 558	Sn 709	Sb 834	Te 869	I 1008	Xe 1170
Cs 377	Ba 503	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl 589	Pb 715	Bi 703	Po 812	At 890	Rn 1037

الشكل (١٨-١): قيم طاقات التأين الأولى للعناصر الممثلة في الجدول الدوري.

- أي ذرات العناصر لها أعلى طاقة تأين، وأيها لها أقل طاقة تأين في الدورة الثانية؟
- أي ذرات العناصر لها أعلى طاقة تأين، وأيها لها أقل طاقة تأين في الدورة الثالثة؟
- كيف تغير قيم طاقات التأين لعناصر الدورة عموماً بالاتجاه من اليسار إلى اليمين في الدورة الواحدة؟ وما تفسيرك لذلك؟
- كيف تغير قيم طاقات التأين لعناصر المجموعة الواحدة بالانتقال من أعلى إلى أسفل في المجموعة الواحدة؟ وما تفسيرك لذلك؟

لاحظ أن قيم طاقات التأين تزداد بوجه عام عند الاتجاه من اليسار إلى اليمين في الدورة الواحدة، حيث يزداد ارتباط الإلكترون الأخير بالنواة بسبب زيادة شحنة النواة الفاعلة ونقصان الحجم الذري، وتتناقص قيم طاقات التأين تدريجياً في المجموعة الواحدة بالاتجاه من أعلى إلى أسفل بسبب زيادة الحجم الذري، فيزداد معدل بعث الإلكترون في

الغلاف الخارجي عن النواة، مما يؤدي إلى ضعف ارتباطه بالنواة، وسهولة فصله عنها.
والشكل (١٩-١) يُبيّن كيف تغيّر قيمة طاقات التأين للعناصر الممثلة خلال الدورات من الأولى إلى الرابعة.



الشكل (١٩-١): تغيّر قيمة طاقات التأين للعناصر من الدورة الأولى إلى الرابعة.

سؤال

فسّر كلاً ممّا يأتي:

- ◀ ارتفاع قيمة طاقات تأين ذرات الغازات النبيلة ارتفاعاً كبيراً في نهاية كل دورة.
- ◀ قيمة طاقة التأين لعنصر المجموعة الأولى في بداية كل دورة هي الأقل.



ابحث في أحد مراجع الكيمياء، أو في الشبكة المعلوماتية عن سبب كلّ ممّا يأتي:

- ١ - طاقة تأين البورون (ع.ذ = ٥) أقل منها للبريليوم (ع.ذ = ٤).
 - ٢ - طاقة تأين النيتروجين (ع.ذ = ٧) أعلى منها للأكسجين (ع.ذ = ٨).
- ثم اكتب تقريراً عن ذلك، وناقشه مع زملائك في الصف.

تفقد بعض الفلزات إلكترونًا واحدًا، أو إلكترونين، أو ثلاثة إلكترونات للوصول إلى حالة أكثر استقرارًا وتركيبًا يماثل تركيب الغاز النبيل، فما علاقة ذلك بقيمة طاقات التأين والسلوك الكيميائي للعنصر؟
للإجابة عن هذا السؤال، ادرس المثال الآتي.

مثال (١)

اكتب التركيب الإلكتروني لذرة الألمنيوم (ع.ذ = ١٣).

١- ما عدد الإلكترونات التي تفقدتها ذرة الألمنيوم للوصول إلى تركيب يشبه تركيب ذرة النيون؟

٢- ما شحنة الأيون الناتج؟

٣- هل يُكوّن الألمنيوم أيون Al^{4+} في مركباته؟ ولماذا؟

الحل

يتضح من التركيب الإلكتروني لذرة الألمنيوم أنها يجب أن تفقد إلكترونات التكافؤ الثلاثة تباعًا في تفاعلاتها للوصول إلى تركيب يماثل تركيب ذرة النيون، ويمكن تمثيل عملية تأين الألمنيوم بالمعادلات الآتية:



أمّا إذا فقدت ذرة الألمنيوم إلكترونًا رابعًا فإن ذلك سيكون من الغلاف الثاني للأيون (Al^{3+}) الذي له تركيب ذرة النيون) الأقرب إلى النواة، والأكثر انجذابًا نحوها بسبب تأثير شحنة النواة الفاعلة، وهذا يتطلب قدرًا عاليًا جدًا من الطاقة.



إن الارتفاع الكبير في قيمة طاقة التأين الرابع مقارنةً بقيمة طاقة التأين الثالث التي يصعب توافرها في التفاعلات الطبيعية، يجعل من الصعب وجود Al^{4+} في مركبات الألمنيوم.

المجدول الآتي يُبيّن قيم طاقات التأين لعنصرتين من العناصر الممثلة من الدورة الثالثة مُقدّرًةً بالكيلوجول / مول. ادرس المجدول، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

العنصر	طاقة التأين (كيلوجول / مول)	٤ ط	٣ ط	٢ ط	١ ط
X	٧٣٨	١٤٥٠	٧٧٣١	١٠٥٤٥	
Y	٤٩٦	٤٥٦٣	٦٩١٣	٩٥٤١	

◀ حدد المجموعة التي ينتمي إليها كل عنصر؟

◀ أيهما أنشط كيميائياً في التفاعل مع الكلور: X أم Y؟

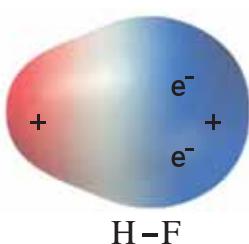
◀ اكتب التركيب الإلكتروني للعنصر X؟

رابعاً

الكهربائية

تعَرَّفت من دراستك للروابط التساهمية أن زوج إلكترونات الرابطة ينجذب نحو نواتي الذرتين المُمكوّنتين للرابطة في آنٍ معًا، ولكن، هل جذب زوج إلكترونات الرابطة يكون متساوٍ دائمًا من الذرتين المشتركتين في تكوين الرابطة؟

إن جذب ذرتى الهيدروجين لزوج إلكترونات المشتركة بينهما في الجزيء (H_2) متساوٍ، في حين يختلف جذب كلٌّ من ذرة الهيدروجين وذرة الفلور لزوج إلكترونات المشتركة بينهما في جزيء (HF)، وهو ما يُسبِّب إزاحة إلكترونات الرابطة نحو الذرة الأكثر جذبًا، فتزداد كثافة السحابة الإلكترونية حولها، وتكتسب شحنة جزئية سالبة (δ^-)، وهذا يتسبَّب في نقص كثافة الشحنة السالبة على الذرة الأخرى، فتظهر عليها شحنة جزئية موجبة (δ^+)، وتوصف الرابطة في هذه الحالة بالرابطة القطبية، ويُعبَّر عنها بسهم (\rightarrow) رأسه يشير إلى الذرة الأكثر قدرة على جذب زوج إلكترونات الرابطة، ويُبيَّن الشكل (١٠-٢٠) تمثيل قطبية الرابطة (H-F) في



الشكل (١٠-٢٠): تمثيل قطبية الرابطة (H-F).

الشكل (١٠-٢٠): تمثيل قطبية الرابطة (H-F).
الجزيء (HF).

يُطلق على القدرة النسبية لجذب الذرة زوج إلكترونات الرابطة التساهمية نحوها اسم الكهرسلبية (Electronegativity).

فكيف تغير كهرسلبية الذرات في الجدول الدوري؟ وما العوامل المؤثرة فيها؟ لنتعرّف ذلك، ادرس الشكل (٢١-١) الذي يحوي قيم الكهرسلبية لمعظم عناصر الجدول الدوري، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

H 2.1																	
Li 0.97	Be 1.97												B 2.01	C 2.50	N 3.07	O 3.95	F 4.10
Na 1.01	Mg 1.23												Al 1.47	Si 1.47	P 2.06	S 2.44	Cl 2.83
K 0.91	Ca 1.04	Sc 1.20	Ti 1.32	V 1.45	Cr 1.56	Mn 1.60	Fe 1.64	Co 1.70	Ni 1.75	Cu 1.75	Zn 1.75	Ga 1.66	Ge 1.82	As 2.20	Se 2.48	Br 2.74	
Rb 0.89	Sr 0.99	Y 1.11	Zr 1.23	Nb 1.23	Mo 1.30	Tc 1.36	Ru 1.42	Rh 1.45	Pd 1.35	Ag 1.42	Cd 1.46	In 1.46	Sn 1.72	Sb 1.82	Te 2.01	I 2.21	
Cs 0.89	Ba 0.97	Lu 1.2	Hf 1.23	Ta 1.33	W 1.40	Re 1.46	Os 1.52	Ir 1.55	Pt 1.44	Au 1.42	Hg 1.44	Tl 1.44	Pb 1.55	Bi 1.67	Po 1.76	At 1.96	
Fr 0.86	Ra 0.97																

الشكل (٢١-١): قيم الكهرسلبية لمعظم عناصر الجدول الدوري.

- أي ذرات العناصر في الدورة الثانية لها أصغر حجم ذري؟
- أي ذرات العناصر في الدورة الثانية لها أكبر شحنة نواة فاعلة وأكبر طاقة تأين؟
- أي ذرات العناصر في الدورة الثانية لها أعلى قيمة كهرسلبية؟
- كيف تتغير قيم الكهرسلبية في الدورة الثانية من اليسار إلى اليمين؟
- كيف تتغير قيم الكهرسلبية في المجموعة الواحدة من أعلى إلى أسفل بوجه عام؟
- ما العلاقة بين الكهرسلبية وكل من الحجم الذري، وشحنة النواة الفاعلة؟

تزداد قيمة الكهرسلبية مع نقصان الحجم الذري وزيادة شحنة النواة الفاعلة لذرات العناصر بالانتقال من اليسار إلى اليمين في الدورة الواحدة، في حين تقل قيمة الكهرسلبية عموماً في المجموعة الواحدة بالانتقال من أعلى إلى أسفل مع زيادة الحجم الذري. ويمكن القول إن اختلاف كهرسلبية الذرات يؤثر في قدرتها على جذب أزواج إلكترونات الرابطة نحوها، مما يُكسبها خصائص قطبية.

سؤال

◀ أي الرابط الآتية قطبية؟ وأيها غير قطبية؟ عَبَر عن الرابط القطبية باستخدام الأسماء:
.N-H، C-O، H-Br، B-F، Cl-Cl

لاحظ أن الرابطة القطبية تنشأ بين ذرتين مختلفتين في الكهرسلبية؛ لذا يتوقع أن تختلف قطبية الرابطة باختلاف أنواع الذرات المُكونة لها. فهل تستطيع تحديد الرابطة الأكثر قطبية؟

اعتماداً على قيمة الكهرسلبية، أجب عن الأسئلة الآتية:

- احسب الفرق في الكهرسلبية بين ذرتي C و H.
- احسب الفرق في الكهرسلبية بين ذرتي N و H.
- أيهما أكبر: الفرق في الكهرسلبية بين ذرتي C و H أم ذرتي N و H؟
- أي الرابطين تتوقع أن تكون أكثر قطبية: الرابطة H-N أم الرابطة C-H؟

تعتمد قطبية الرابطة على فرق الكهرسلبية بين الذرتين المُكونتين للرابطة؛ إذ تزداد قطبية الرابطة بزيادة الفرق في الكهرسلبية بين الذرتين، وإذا زاد الفرق على حدٍ معين تصبح الرابطة أيونية؛ أي ينتقل إلكترون إحدى الذرتين كلياً إلى الذرة الثانية، فتتكون أيونات موجبة للذرة التي فقدت إلكترونها، وأيونات سالبة للذرة التي اكتسبت هذا الإلكترون، وبهذا فإن الرابطة تكتسب خصائص أيونية.

سؤال

◀ بناءً على جدول الكهرسلبية، رتب الرابط الآتية وفق تزايد قطبيتها:
.C - F، Be - Cl، H - O

٧ أسئلة الفصل

- ١ - وضُّح المقصود بكلٌّ ممّا يأتي:
شحنة النواة الفاعلة، طاقة التأين، الكهرسلبية، قطبية الرابطة.
- ٢ - حدد الذرة الأكبر حجمًا في كل زوج من الأزواج الآتية:
. (Na ، Rb) (Li ، N) ، (O ، Se) ، (Mg ، P)
- ٣ - أيهما أصغر حجمًا في كل زوج من الأزواج الآتية، مفسّرًا إجابتك:
. (K⁺ ، Cl⁻) ، (N³⁻ ، O²⁻) ، (Br⁻ ، Br)
- ٤ - رتب ذرات العناصر في كُلٍّ من الفرعين الآتيين وفق ازدياد طاقة تأينها:
أ . Si ، Mg ، Cl
ب . Mg ، Ba ، Be
- ٥ - رتب الأيونات الآتية وفق ازدياد حجومها:
. O²⁻ ، N³⁻ ، Al³⁺ ، Na⁺ ، Mg²⁺
- ٦ - ماذا تمثل الطاقة المصاحبة لـكُلٍّ من التغيرات الآتية:
 $\text{Li}_{(g)} + 520 \text{ kJ/mol} \longrightarrow \text{Li}^+_{(g)} + \text{e}^-$
 $\text{Al}^{2+}_{(g)} + 2745 \text{ kJ/mol} \longrightarrow \text{Al}^{3+}_{(g)} + \text{e}^-$
- ٧ - رتب الروابط القطبية الآتية تصاعديًّا وفق تزايد قطبيتها:
. Si–Br ، Si–F ، Si – Cl
- ٨ - فسر كلاً ممّا يأتي:
أ) تزداد حجوم ذرات العناصر في المجموعة الواحدة بالاتجاه من أعلى إلى أسفل.
ب) تزداد قيم الكهرسلبية لذرات العناصر في الدورة الثالثة بالاتجاه من اليسار إلى اليمين بوجه عام.
ج) تكون طاقة التأين الثالثة للمغنيسيوم أعلى كثيرًا من طاقة التأين الثانية له.

أسئلة الوحدة

- ١ - إذا كان طول موجة الضوء الم Rafqa لعودة الإلكترون من مستوى بعـيد عن النواة إلى المستوى الأول هو $97,35 \text{ نانومترًا}$ ، فـما رقم هذا المستوى؟
- ٢ - إذا علمت أن الفلك $3p_3$ قد يأخذ أيًّا من قيم أعداد الكـم المغناطيسي $(-1, 0, +1)$ ، وأن هذا الفلك يحتوي على إلكترونـين، فـما قـيم أعداد الكـم الأربعـة لكـل من إلكترونـي هذا الفلك؟
- ٣ - يـمثل الشـكل الآـتي جـزءـاً من الجـدول الدـوري للـعنـاصـر، وـيتضـمن رـمـوزـاً افتراضـيةً. ادرـسه جـيدـاً، ثم أـجـبـ عن الأـسئـلةـ التـيـ تـليـهـ.

	B								
X									
G			D		L				C

- أ) اكتب التركيب الإلكتروني الأكثر استقرارـاً لكـل من العـناصـرـ الافتراضـيةـ الآـتـيةـ:
- .D ، R ، V
- ب) ما العـدـدـ الذـريـ لـلـعـنـصـرـ الذـيـ يـقـعـ فيـ دـورـةـ العـنـصـرـ Gـ وـمـجـمـوعـةـ العـنـصـرـ Rـ؟
- ج) ما رـقـمـ المـجـمـوعـةـ لـكـلـ منـ العـنـصـرـينـ: Lـ، وـDـ؟
- د) أيـ العـناصـرـ الآـتـيةـ لـهـ أـكـبـرـ حـجـمـ ذـريـ: Eـ، أـمـ Sـ، أـمـ Xـ؟
- هـ) أيـ العـناصـرـ الآـتـيةـ لـهـ أـقـلـ طـاقـةـ تـائـيـنـ أولـىـ: Wـ، أـمـ Gـ، أـمـ Rـ؟
- و) أيـ العـناصـرـ الآـتـيةـ لـهـ أـعـلـىـ طـاقـةـ تـائـيـنـ ثـانـيـةـ: Xـ، أـمـ Bـ، أـمـ Gـ؟
- ز) رـتـبـ الأـيـونـاتـ: X⁺ـ، وـE⁻ـ، وـR²⁻ـ وـفقـ تـنـاقـصـ حـجـومـهاـ.
- ح) ما عـدـدـ الـإـلـكـتروـنـاتـ المـنـفـرـدةـ فيـ ذـرـةـ العـنـصـرـ Lـ؟
- ط) اكتب التـوزـيعـ الـإـلـكـتروـنـيـ لـلـأـيـونـ D²⁺ـ.
- ي) أيـ العـناصـرـ الافتراضـيةـ فـيـ الجـدولـ لـهـ أـعـلـىـ كـهـرـسـلـبـيـةـ؟

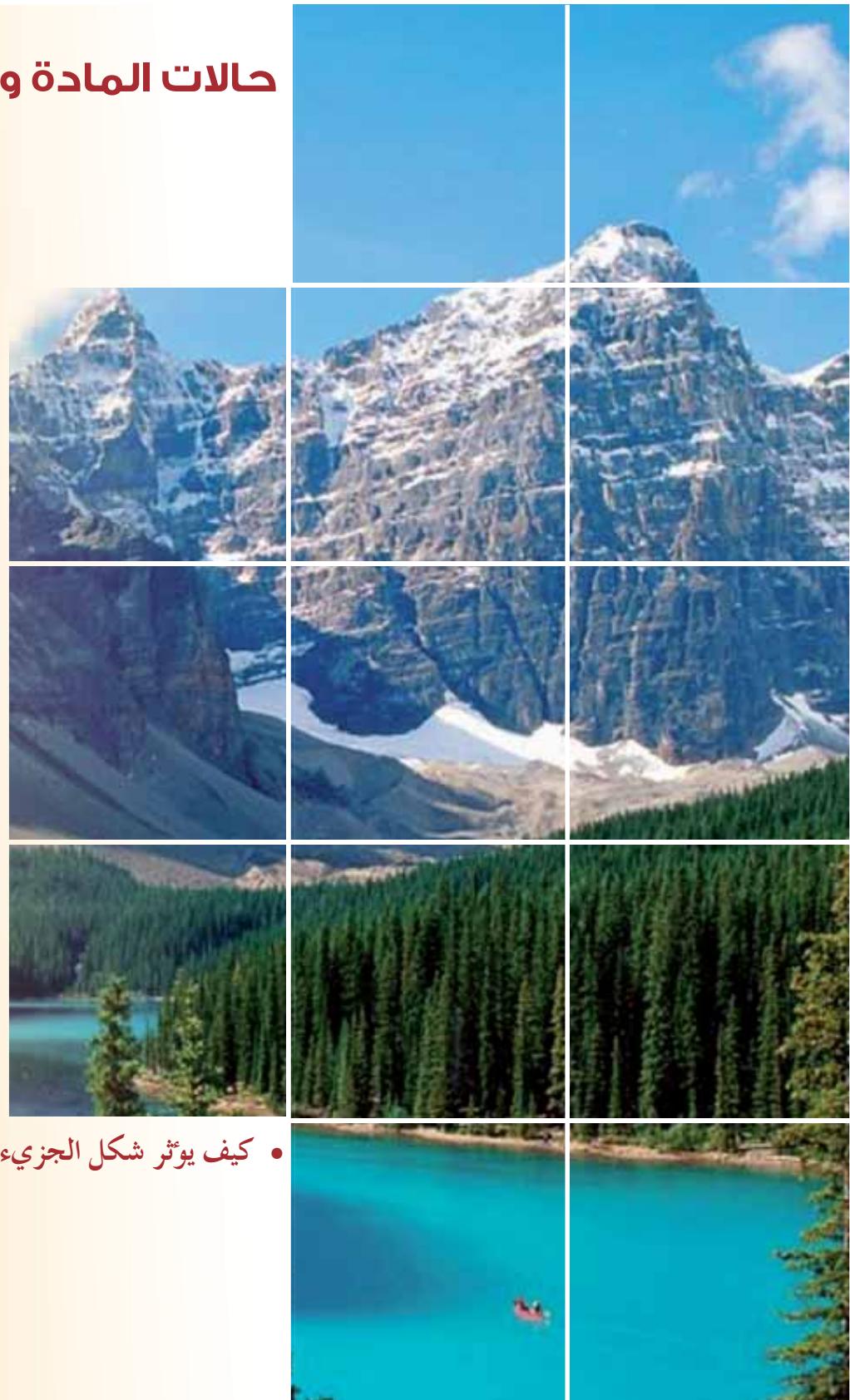
٤ - لديك العناصر الافتراضية الآتية المتتالية في عددها الذري ضمن الجدول الدوري. ادرس هذه العناصر، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها.



- أ) أي العناصر يكُون في مرتباته الثابتة أيونًا له أقل حجم؟
- ب) ما رقم مجموعة العنصر Z ؟ وما رقم دورة العنصر G ؟
- ج) رتب العناصر تبعًا لتناقص حجومها الذرية.
- د) حدد العنصر الذي له أكبر طاقة تأين ثانٍ.
- ه) أي الرابطتين أكثر قطبية: $D - B$ أم $?A - D$ ؟
- و) أي العناصر السابقة له أعلى كهرسلبية؟

حالات المادة وأشكال الجزيئات

- أشكال الجزيئات
- قوى التجاذب بين الجزيئات
- حالات المادة



الفصل الأول

١

أشكال الجزيئات (Shapes of Molecules)

درست في الصف العاشر أن المواد تتكون من ذرات يرتبط بعضها بعض بروابط كيميائية مختلفة، مثل الروابط الأيونية والتساهمية والفلزية، وأن هذه الذرات المكونة للجزيئات تترتب في الفراغ مُتَّخِذةً شكلًا فراغيًّا مُحدَّدًا.

ودرست أيضًا تراكيب لويس للجزيئات، وعرفت أنه يمكن تمثيل تكوين الرابطة التساهمية فيها بزوج (أو أكثر) من الإلكترونات بين الذرات، كما في جزيء الهيدروجين (H:H). ولكن، ما العلاقة بين ما تعلمته عن تكوين الرابطة التساهمية وأفلاك الذرات؟ وما الأشكال التي تتخذها تلك الجزيئات في الفراغ؟

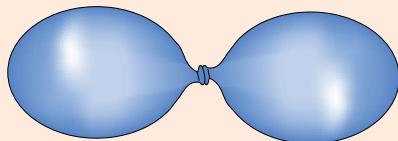
- ستتمكن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك لهذا الفصل، ويُتوقع منك بعد ذلك أن:
 - تمثل الروابط التساهمية في بعض الجزيئات.
 - تميز بين نوعي الرابطة التساهمية: رابطة سيغما (σ)، ورابطة باي (π).
 - توضح مفهوم تهجين الأفلاك، ومبررات افتراض حدوثه.
 - تستقصي العلاقة بين شكل الجزيء ونوع تهجين أفلاك الذرة المركزية.
 - تفسّر اختلاف قيم الزوايا بين الروابط في بعض الجزيئات عمّا هو متوقع.
 - ترسم الأشكال الفراغية للجزيئات اعتمادًا على تهجين أفلاك الذرة المركزية.
 - توضح المقصود بالرابطة التناسقية، وتتعرّف كيفية تكوّنها.

تتوزّع الذرات المُكوّنة للجزيئ في الفراغ مُتّخذة شكلاً فراغياً تصل به إلى حالة أكثر استقراراً وثباتاً؛ وهذا يجعل التنافر بين إلكتروناتها أقل ما يمكن، فتصل إلى الحد الأدنى من الطاقة، ويكون التجاذب بين الذرات أكبر ما يمكن.

ولتتعرّف الكيفية التي تتوزّع بها الذرات في الفراغ وعلاقة ذلك بشكل الجزيئات، نَفْذ النشاط الآتي.



نشاط (١-٢): توزيع الذرات في الفراغ وشكل الجزيئات



المواد والأدوات المطلوبة

٩ بالونات مطاطية، خيوط.

الخطوات

١ - انفخ بالونين متماثلين في الحجم، ثم اربطهما بخيط بحيث يكونان متلاصقين رأساً برأس كما في الشكل. تخيل أن نقطة التقاء العقد تمثل الذرة المركزية، وأن البالونين يمثلان عدد الذرات المرتبطة بالذرة المركزية. ارسم الشكل الناتج، ثم ارسم خطأ يصل بين منتصف البالونين. ما مقدار الزاوية بين البالونين؟ وماذا نسمى الشكل الناتج؟

٢ - كرر الخطوة الأولى باستخدام ٣ بالونات متساوية الحجم. هل تقع البالونات جميعها في المستوى نفسه؟ ارسم الشكل الناتج. ما مقدار الزاوية بين كل بالونين؟

٣ - كرر الخطوة الأولى باستخدام ٤ بالونات متساوية الحجم. هل تقع البالونات جميعها في المستوى نفسه؟ ارسم الشكل الناتج. ما مقدار الزاوية بين كل بالونين (استعن بمعلمك)؟

٤ - بناءً على دراستك السابقة لترانزاكيب لويس، أكمل الجدول الآتي:

الجزيء	الذرة المركزية	تركيب لويس للجزيء	عدد أزواج الإلكترونات الرابطة حول الذرة المركزية	رقم خطوة النشاط التي تنساب الجزء
BCl_3				
BeCl_2				
CH_4				

تفترض نظرية تنافر أزواج الإلكترونات غلاف التكافؤ^{*} (VSEPR) أن أزواج الإلكترونات تتحدد ترتيباً فراغياً حول الذرة المركزية، يقلل التنافر بين أزواج الإلكترونات إلى حدّه الأدنى، وهذا يشمل أزواج الإلكترونات الرابطة وغير الرابطة في غلاف التكافؤ للذرة، ويكون التنافر أقل ما يمكن عندما تكون الزاوية بين أزواج الإلكترونات أكبر ما يمكن، فيصبح الجزيء أكثر استقراراً، ويمتلك أقل طاقةً.

خذ مثلاً جزيء BeCl_2 . ما عدد أزواج الإلكترونات الرابطة في هذا الجزيء؟ وما الشكل الذي يتخذه جزيء BeCl_2 ، الذي يجعل التنافر بين أزواج الإلكترونات أقل ما يمكن؟ لاحظ أنه يوجد زوجان من أزواج الإلكترونات الرابطة في هذا الجزيء على النحو الآتي:



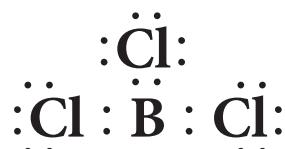
ولكي يكون التنافر أقل ما يمكن؛ تتوزع أزواج الإلكترونات الرابطة على جانبي الذرة المركزية مكونةً زاوية مقدارها 180° ، ويعين الشكل (٢ - ١) الشكل الفراغي الخطى لجزيء BeCl_2 .



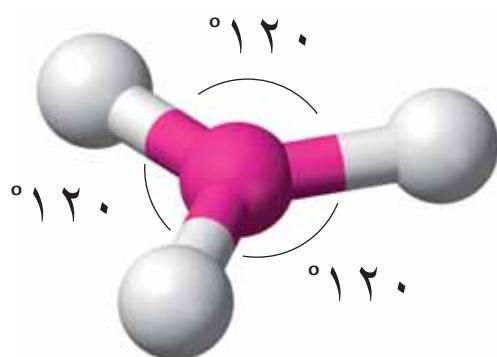
الشكل (٢ - ١): الشكل الفراغي الخطى لجزيء BeCl_2 .

* VSEPR: Valence Shell Electron – Pair Repulsion Theory

أما عند كتابة تركيب لويس لجزيء كلوريد البورون BCl_3 فإن ثلاثة أزواج من الإلكترونات تحيط بذرة البورون:

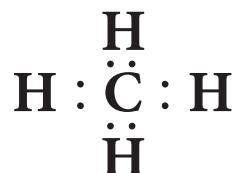


ويكون التنافر بينها في أدنى حالاته عندما تتوزع على شكل مثلث متساوي الأضلاع، وتكون الزاوية بين الروابط 120° ، انظر الشكل (٢ - ٢) الذي يُبيّن توزيع ذرات الكلور حول ذرة البورون والشكل الفراغي لجزيء BCl_3 .

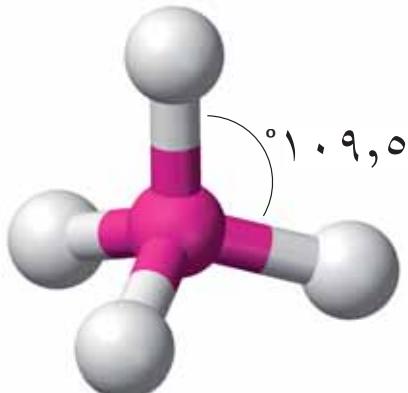


الشكل (٢ - ٢): الشكل الفراغي لجزيء BCl_3 .

أما بخصوص جزيء الميثان فلاحظ من تركيب لويس وجود أربعة أزواج من الإلكترونات الرابطة تحيط بذرة الكربون:



ويكون التنافر بينها في أدنى حالاته عندما تتوزع في اتجاه رؤوس شكل رباعي الأوجه منتظم، بحيث تكون الزاوية بين كل زوجين منها $109,5^\circ$ ، وبهذا تترتب ذرات الهيدروجين على رؤوس أضلاع الشكل رباعي الأوجه، ويتخذ الجزيء شكلاً رباعي الأوجه منتظمًا، انظر الشكل (٢ - ٣) الذي يُبيّن الشكل الفراغي لجزيء الميثان CH_4 .



الشكل (٢ - ٣) : الشكل الفراغي لجزيء CH_4 .

سؤال

مستعيناً بالجدول الدوري وتركيب لويس، حدد الأشكال الفراغية لكلٍّ من

الجزيئات الآتية: BeH_2 ، BF_3 ، SiF_4

ولكن، إذا امتلكت الذرة المركزية أزواجاً غير رابطة من الإلكترونات، فماذا تتوقع أن يكون شكل الجزيء؟ للإجابة عن هذا السؤال، ادرس المثالين الآتيين.

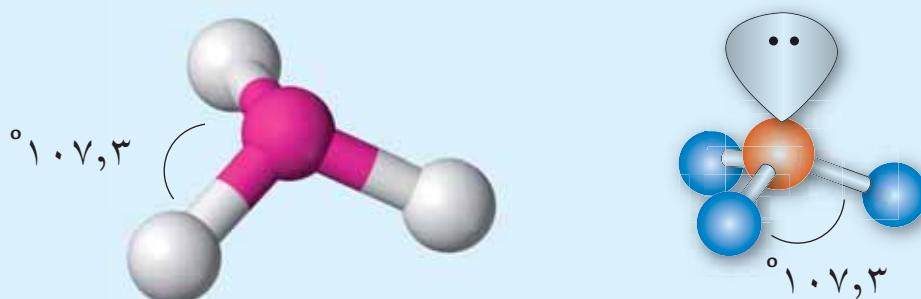
مثال (١)

حدد الشكل الفراغي لجزيء الأمونيا NH_3 .

الحل

نكتب تركيب لويس لجزيء الأمونيا على النحو الآتي:

$\text{H}:\ddot{\text{N}}:\text{H}$ لاحظ أنه توجد أربعة أزواج من الإلكترونات تحيط بدورة النيتروجين تماماً كما في جزيء الميثان. ولكن، لذرة النيتروجين ثلاثة أزواج رابطة من الإلكترونات وزوج واحد غير رابط. ولكي تتحقق أقل تناقض؛ فإن شكل الجزيء يكون هرمياً ثلاثياً، إذ توزع ذرات الهيدروجين على رؤوس هذا الشكل، وتكون الزاوية بين الروابط الثلاث $107,3^\circ$ تقريباً.



سؤال

◀ هل يمكن أن يكون الشكل الهرمي الثلاثي مشتقاً من الشكل رباعي الأوجه المنتظم؟ وضح إجابتكم.

مثال (٢)

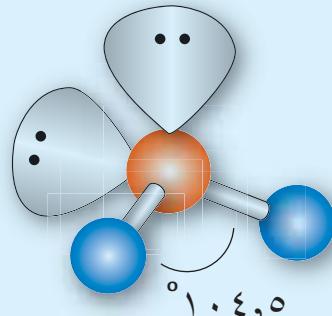
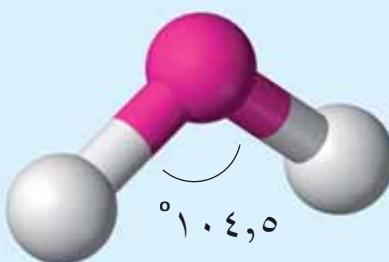
حدّد الشكل الفراغي لجزيء الماء H_2O .

الحل

نكتب تركيب لويس لجزيء الماء على النحو الآتي:

$$\text{H} : \ddot{\text{O}} : \text{H}$$

لاحظ أنه توجد أربعة أزواج من الإلكترونات تحيط بذررة الأكسجين؛ زوجان منها رابطان، وآخران غير رابطين. ولكي تتحقق أقل تناافر؛ فإن هذه الأزواج تتوزّع في اتجاه رؤوس شكل رباعي الأوجه منتظم، ويكون شكل جزيء الماء منحنياً (زاوياً)؛ إذ تتوزّع فيه ذرتا الهيدروجين على رأسين من رؤوس الشكل بزاوية مقدارها $104,5^\circ$ تقريباً.



سؤال

◀ مُستعيناً بالجدول الدوري وتركيب لويس، حدّد الأشكال الفراغية لكلٍّ من الجزيئين الآتيين: H_2S ، PF_3 .

ثانياً

نظرية الربط التساهمي

يتضح مما سبق أن نظرية تناافر أزواج إلكترونات غلاف التكافؤ (VSEPR) فسرت أشكال الجزيئات المختلفة، ولكنها لم تُمكّننا من معرفة كيف تتوزّع إلكترونات الرابطة بين أغلفة التكافؤ

للذرتين المُكوّنتين للرابطة. ولتفسير ذلك، فقد وُضِعَت نظرية سُمّيت نظرية الربط التساهمي (Valence Bond Theory)، وهي تنص على الآتي: «عند اقتراب ذرتين من بعضهما فإن الأفلاك الذرية لغلافي تكافؤ الذرتين تداخل، وتصبح إلكترونات الأفلاك المتداخلة منجذبة نحو نواتي الذرتين في الوقت نفسه، وتزداد الكثافة الإلكترونية في منطقة تداخل الأفلاك بين الذرتين، مما يؤدي إلى اقتراب النواتين من بعضهما، وانخفاض طاقتهمما، فت تكون رابطة تساهمية بينهما».

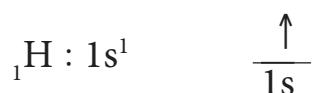
تستند هذه النظرية إلى الافتراضات الآتية:

- ١ - عندما تكون رابطة تساهمية بين ذرتين يتداخل فلك تكافؤ من إحدى الذرتين مع فلك تكافؤ من الذرة الأخرى (يُقصد بالتدخل أن تصبح منطقة من الفضاء المحيط بالنواتين مشتركة بين الفلکين).
- ٢ - يحدث التداخل بين فلکين نصف مماثلين بالإلكترونات، وتكون الحركة المغزلية للإلكترونيين في الفلکين المتداخلين متعاكسة، غير أنه يمكن حدوث تداخل بين فلك مملوء وفلك فارغ أحياناً.
- ٣ - تعتمد قوة الرابطة على درجة التداخل بين الفلکين، وتناسب طردياً معها.
- ٤ - الرابطة الناتجة من التداخل الرأسي بين الفلکين تُسمى رابطة سيغما (σ)، وتكون فيها كثافة الإلكترونات على امتداد المحور الواصل بين نواتي الذرتين.
- ٥ - الرابطة الناتجة من التداخل الجانبي بين الفلکين تُسمى رابطة باي (π)، وتكون فيها كثافة الإلكترونات على جانبي المحور الواصل بين نواتي الذرتين.

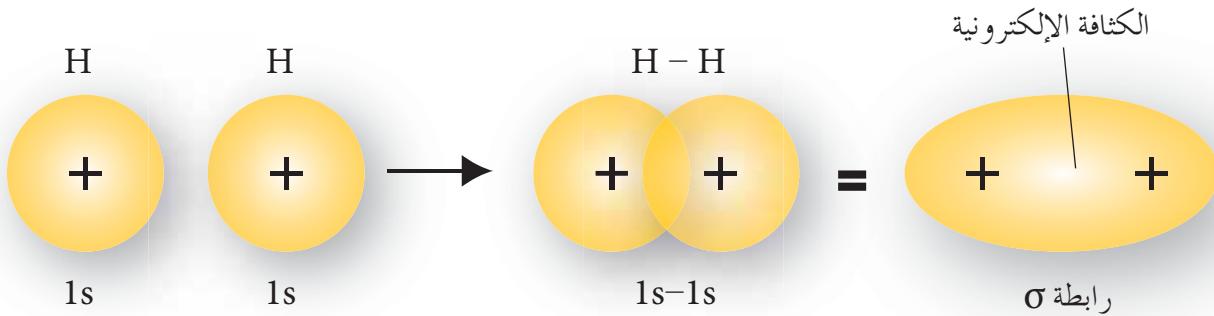
يمكن تمثيل تكون الروابط في بعض الجزيئات البسيطة على النحو الآتي:

١ - تداخل فلكي s لذرتى الهيدروجين في جزيء H_2

لمعرفة نوع التداخل في جزيء الهيدروجين، نكتب التركيب الإلكتروني لذرة H:



لاحظ أن ذرة H تمتلك إلكترونًا منفردًا واحدًا في الفلک 1s؛ لذا تكون الرابطة في جزيء H_2 من تداخل الفلک 1s من الذرة الأولى مع الفلک 1s من الذرة الثانية كما في الشكل (٢ - ٤).



الشكل (٢ - ٤) : تداخل فلكي 1s في جزيء الهيدروجين.

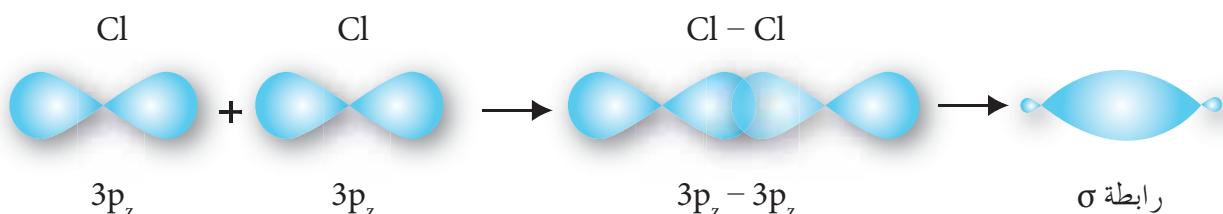
يتضح من الشكل أن إلكترونات الرابطة تتركز بين نواتي الذرتين، حيث تزداد الكثافة الإلكترونية في منطقة التداخل على امتداد المحور الواصل بين النواعتين، وتُسمى هذه الرابطة بالرابطة التساهمية سيغما (σ).

٢ - تداخل أحد أفلاك p من ذرة مع أحد أفلاك p من ذرة أخرى كما في جزيء Cl_2

لتوضيح الترابط في جزيء الكلور Cl_2 ، نكتب التركيب الإلكتروني لذرة الكلور:



لاحظ أن التركيب الإلكتروني لذرة Cl يبيّن أنها تحوي إلكترونًا منفردًا في أحد أفلاك p مثل فلك $3p_z$ ، وأنه عند تكوّن الرابطة يتداخل فلكا p المتقابلان من ذرتي الكلور تداخلاً رأسياً، وتزداد الكثافة الإلكترونية في منطقة التداخل على امتداد المحور الواصل بين نواعتي الذرتين، وتتكوّن الرابطة سيغما (σ) كما في الشكل (٢ - ٥).



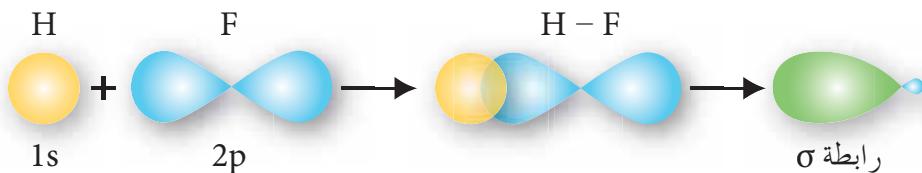
الشكل (٢ - ٥) : رابطة σ ؛ تداخل فلكي $3p_z$ تداخلاً رأسياً في جزيء Cl_2 .

٣ - تداخل فلك s من ذرة مع أحد أفلاك p من ذرة أخرى كما في جزيء HF

لمعرفة نوع الأفلاك المتدخلة في جزيء HF، نكتب التركيب الإلكتروني لكلاً من الذرتين:



وعند تكوين الرابطة $\text{H}-\text{F}$ يتداخل فلك 1s من ذرة H مع فلك 2p من ذرة F نصف الممتد من ذرة F كما في الشكل (٢ - ٦).



الشكل (٢ - ٦) : رابطة σ ؛ تداخل فلك 1s من ذرة H وأحد أفلاك 2p من ذرة F .

لاحظ أن عدد الروابط التي تُكونُها الذرة يطابق عدد أفلاكها نصف الممتلئة (عدد الإلكترونات المنفردة).

٤ - تداخل أفلاك p لذرتى الأكسجين في جزء O_2
لتوضيح الارتباط في جزء O_2 ، نفذ النشاط الآتي.

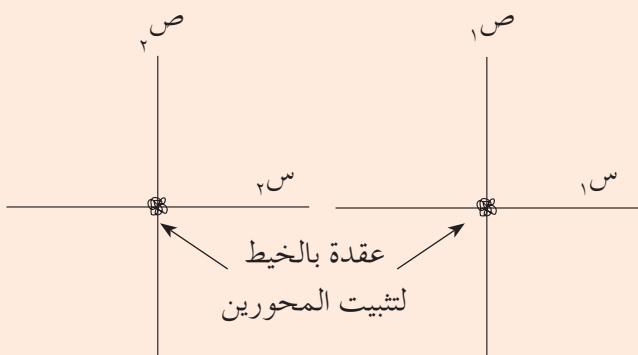
نشاط (٢-٢) : الارتباط في جزء الأكسجين O_2



المواد والأدوات المطلوبة

أعواد خشبية، خيط.

الخطوات



١ - كون الشكلين المجاورين باستخدام الأعواد الخشبية والخيط.

٢ - حاول أن تربط بين س١ و س٢، هل يمكنك فعل ذلك؟

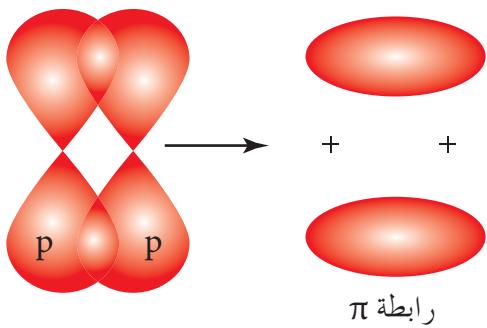
٣ - حاول أن تربط بين ص١ و ص٢، بحيث تبقى س١ و س٢ مرتبطتين، هل يمكنك فعل ذلك؟

٤ - حاول أن تقترح طريقة مناسبة لربط ص١ و ص٢.

لتوسيع الترابط في جزيء الأكسجين، نكتب التركيب الإلكتروني لذرة الأكسجين:



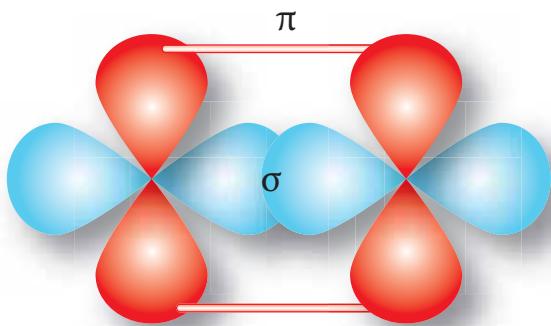
لاحظ أن التركيب الإلكتروني لذرة O يبيّن أنها تحتوى على إلكترونين منفردين في فلكين من أفلاك $2p$ ، وينطبق الشيء نفسه على الذرة الثانية، وعند تكوّن الرابطة يتداخل فلكا p المتقابلان على نفس المحور الواصل بين نواتي الذرتين، وتتكوّن بينهما رابطة سيمما (σ) متحقّقةً أكبر تداخل ممكّن بين الفلقين. أمّا الفلكان الآخرين فلا يمكن أن يرتبطا برابطة سيمما (σ)، وأن يتداخلاً رأسياً، وإنما يتداخلاً بشكل جانبي، فتتكوّن رابطة من نوع جديد تُسمى رابطة باي (π)، وفي هذه الحالة



الشكل (٢ - ٧): رابطة π ; تداخل فلكي p جانبياً.

توزيع الكثافة الإلكترونية بشكل متماثل على جانبي (أعلى، وأسفل) المحور الواصل بين نواتي الذرتين كما في الشكل (٢ - ٧)، فترتبط ذرتا الأكسجين في جزيء O_2 برابطتين؛ إحداهما من نوع σ ، والأخرى من نوع π ، مما يجعل الترابط بينهما أقوى، وتُعدُّ الرابطة بين ذرتين الأكسجين في هذه الحالة رابطة ثنائية.

ويمكن تمثيل الارتباط في جزيء O_2 كما في الشكل (٢ - ٨).



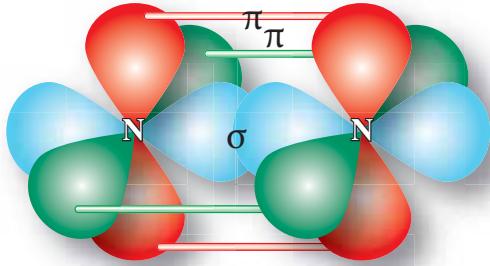
الشكل (٢ - ٨): رابطة σ ورابطة π في جزيء الأكسجين.

من الجدير ذكره أنه لا توجد رابطة π مستقلة، وإنما توجد مرافقة للرابطة σ ؛ فالرابطة الثنائية تشمل رابطة σ ورابطة π ، والرابطة الثلاثية تشمل رابطة σ ورابطي π .

مَثَل بالرسم الروابط في جزيء F_2 ، و HCl اعتماداً على نظرية الربط التساهمي.

ادرس الشكل (٢ - ٩) الذي يُبيّن تكوُن الروابط في جزيء النيتروجين، ثم أجب

عن الأسئلة الآتية:



■ اكتب رمز لويس لذرة N ، وتركيب لويس لجزيء N_2 .

■ ما عدد الروابط التي تُكوِّنها ذرة النيتروجين في جزيء N_2 ? وما نوعها؟

الشكل (٢ - ٩): الروابط في جزيء N_2 .

■ ما نوع الأفلاك المشتركة في تكوين الروابط في جزيء N_2 ؟

التهجين

ثالث

استطاعت نظرية الربط التساهمي التي تعتمد على تداخل الأفلاك البسيطة أن تفسِّر كيفية تكوُن الروابط وأعدادها في بعض الجزيئات مثل: O_2 , H_2 , HCl , و تُفسِّر أشكال بعض الجزيئات مثل: جزيء الماء H_2O (منحنٍ)، و جزيء الأمونيا NH_3 (هرمي ثلاني)، غير أنها لم تقدِّم تفسيرًا مقبولاً لاختلاف الكبير بين مقدار الزاوية المتوقعة 90° في جزيء الماء والأمونيا، ومقدار الزاوية الحقيقية في جزيء الماء 104.5° ، ومقدار الزاوية الحقيقية في جزيء الأمونيا، 107.3° ، ولم تقدِّم أيضًا تفسيرًا مقبولاً لعدد الروابط المُتكوِّنة في العديد من المركبات، مثل مركبات الكربون؛ لذا جأـ العلماء إلى تطوير هذه النظرية باستخدام مفهوم التهجين (Hybridization). ولتتعرَّف كيف فشلت هذه النظرية في تفسير عدد الروابط التي تُكوِّنها ذرة الكربون، نفذ النشاط (٢ - ٣).



نشاط (٢-٣): عدد الروابط التي تكوّنها ذرة الكربون

المواد والأدوات المطلوبة

صندوق نماذج الذرات، نموذج الجدول الدوري.

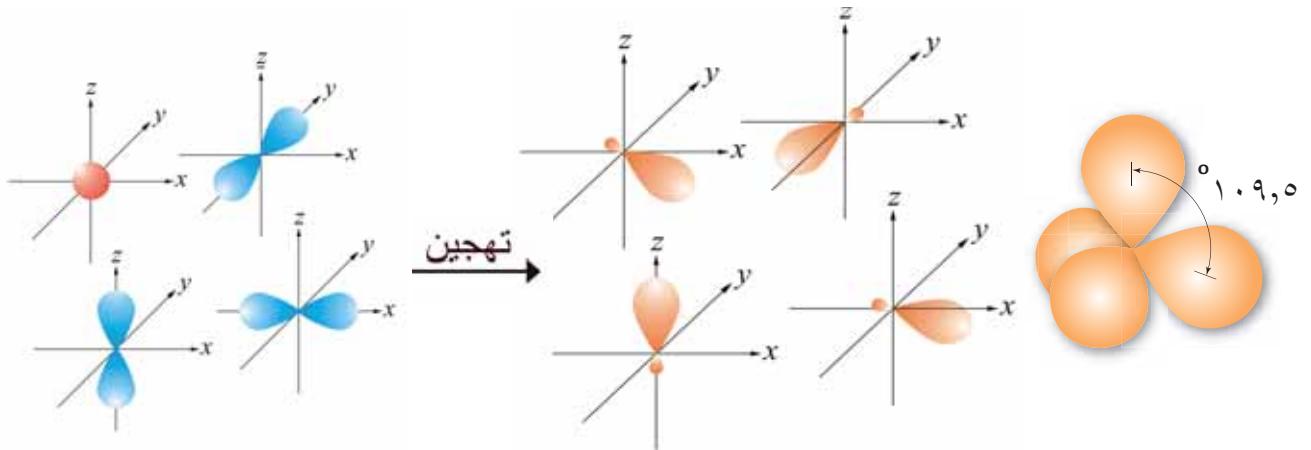
الخطوات

- ١ - اكتب التركيب الإلكتروني ورمز لويس لذرة الكربون. ما عدد الإلكترونات المنفردة في غلاف التكافؤ لذرة الكربون؟
 - ٢ - بناءً على ما تعلّمته عن التداخل البسيط لأفلاك التكافؤ، ما عدد الروابط التي يفترض أن تكوّنها ذرة الكربون؟ اكتب الصيغة المتوقعة لارتباط ذرة الكربون بذرات الهيدروجين. ما قيمة الزاوية المُتوّقة تكوّنها بين الروابط؟
 - ٣ - تعرّف نموذجي ذرة الكربون وذرة الهيدروجين في صندوق نماذج الذرات، ثم كون شكلاً يُمثل ارتباط الكربون بالهيدروجين.
- ما عدد ذرات الهيدروجين في الشكل الذي كَوَنته؟ وما الشكل الفراغي للجزيء؟ وما مقدار الزاوية بين الروابط في الجزيء؟
 - هل الصيغة المُتوّقة تطابق صيغة المركب الذي كَوَنته باستخدام نماذج الذرات؟
 - اقترح تفسيرًا مقبولاً للنتائج التي توصلت إليها.

عند كتابة التركيب الإلكتروني لذرة الكربون يتبيّن أنها تمتلك إلكترونين منفردين، وهذا يعني أنها قادرة على تكوين رابطتين، وقد لاحظت في النشاط (٢-٣) أنها تكوّن أربع روابط متماثلة، مما يعني وجود أربعة أفلاك نصف ممتلئة ومتكافئة في غلاف التكافؤ لذرة الكربون، تتدخل مع أفلاك 1s لذرات الهيدروجين الأربع مُكوّنةً مركباً صيغته CH_4 ، فكيف حدث ذلك؟

١ - التهجين من نوع sp^3

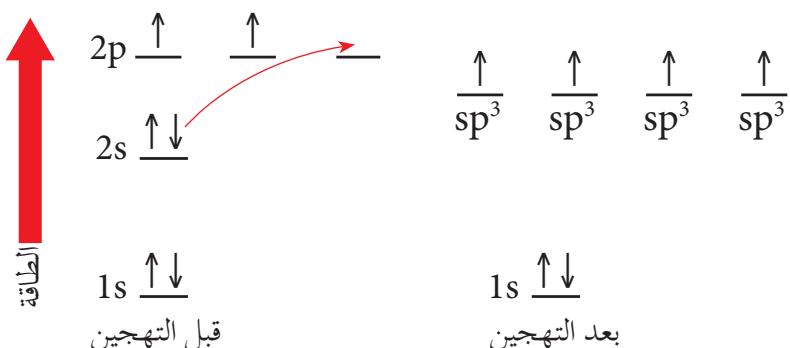
لتفسير تكوّن الروابط في جزيء CH_4 (أصغر مركب هيدروكربوني مستقر في الطبيعة)، افترض واضعوا نظرية الربط التساهمي حدوث اندماج بين أفلاك 2p، و2s في ذرة الكربون، وإنتاج أربعة أفلاك جديدة متماثلة في الشكل والطاقة تُسمى الأفلاك الهجينة، ويشارك كل فلك هجين فيها في تكوين رابطة تساهمية من نوع σ مع إحدى ذرات الهيدروجين الأربع في جزيء CH_4 . انظر الشكل (٢-١٠) الذي يبيّن شكل الفلك الهجين، والاتجاهات الفراغية لأفلاك sp^3 الهجينة، والزوايا بينها.



الشكل (٢ - ١٠): الأفلاك الهجينية الناتجة من تداخل الفلك $2s$ مع أفلاك $2p$ من ذرة الكربون، والاتجاهات الفراغية للأفلاك، والزاوية بينها.

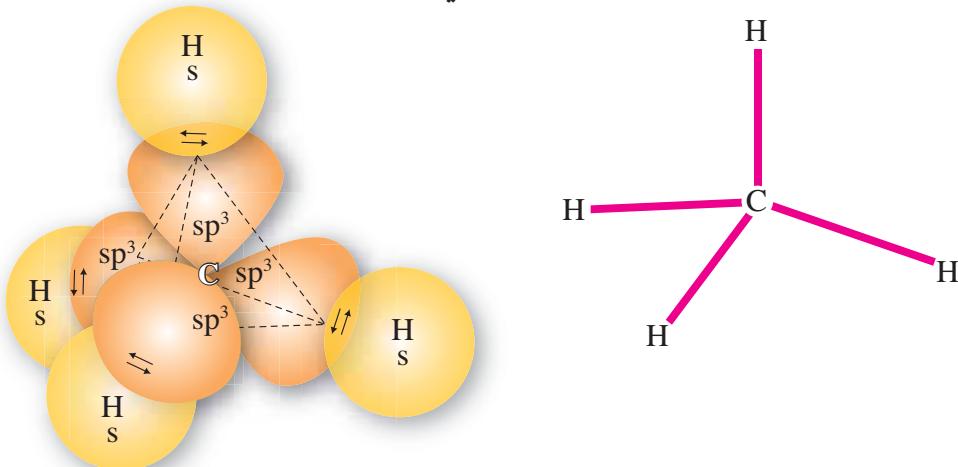
ولكن، كيف تتواءم إلكترونات التكافؤ بين الأفلاك الهجينية؟ وكيف تتغير طاقة هذه الأفلاك؟ وما أثر ذلك في بناء الجزيئات؟

للايجابة عن هذه الأسئلة، نكتب أولاً التركيب الإلكتروني لذرة الكربون: $C: 1s^2 2s^2 2p^2$ ، ثم نفترض انتقال إلكترون من فلك $2s$ إلى فلك $2p$ الفارغ، واندماج ثلاثة أفلاك من نوع p مع فلك واحد من نوع s في ذرة الكربون لإنتاج أربعة أفلاك جديدة متماثلة في الشكل والطاقة، ومختلفة في الاتجاه الفراغي، اصطلاح على التعبير عنها بالرمز sp^3 ، حيث يشارك كل منها في تكوين رابطة تساهمية مع ذرة هيدروجين، علماً بأن تسمية الفلك الهجين تعتمد على عدد الأفلاك المندمجة في تكوينه ونوعها. ولما كان الفلك الهجين في هذه الحالة يتبع من اندماج الفلك s مع ثلاثة أفلاك p ، فإن الفلك الهجين يُسمى sp^3 ، ويُسمى التهجين الم hasil لأفلاك الذرة المركزية sp^3 ، ويُوضّح الشكل (٢ - ١١) طاقة الأفلاك الهجينية مقارنةً بطاقة أفلاك s و p .



الشكل (٢ - ١١): طاقة الأفلاك الهجينية في ذرة الكربون مقارنةً بأفلاك s و p .

تتكوّن الرابطة بين ذرة الهيدروجين وذرة الكربون من تداخل الفلك الههجين sp^3 من ذرة الكربون والفلك $1s$ من ذرة الهيدروجين، وتتوزّع أزواج إلكترونات الرابطة حول الذرة المركزية في الفراغ باتجاه رباعي الأوجه منتظم، حيث يكون التنافر بينها أقل ما يمكن، فتكون الرواية بين الروابط في الجزيء $109,5^\circ$ ، ويكون الشكل الفراغي لجزيء الميثان CH_4 رباعي الأوجه منتظمًا، ويُوضّح الشكل (٢ - ١٢) توزيع أزواج إلكترونات الرابطة حول ذرة الكربون والشكل الفراغي للجزيء.



الشكل (٢ - ١٢): توزيع أزواج الإلكترونات الرابطة حول ذرة الكربون والشكل الفراغي لجزيء.

سؤال

ما مبررات حدوث التهجين في جزيء CH_4 حسب نظرية الربط التساهمي؟

يتبيّن من دراسة جزيء CH_4 أن الذرة المركزية محاطة بأربعة أزواج من الإلكترونات، وأن كلاً من ذرة الأكسجين والنيتروجين في جزيء الماء والأمونيا محاطة بأربعة أزواج من الإلكترونات، مما نوع التهجين في جزيء الماء والأمونيا؟ للإجابة، نفذ النشاط (٤ - ٢) بمشاركة زملائك في مجموعة العمل.



نشاط (٤-٢): التهجين في جزيئي الماء والأمونيا

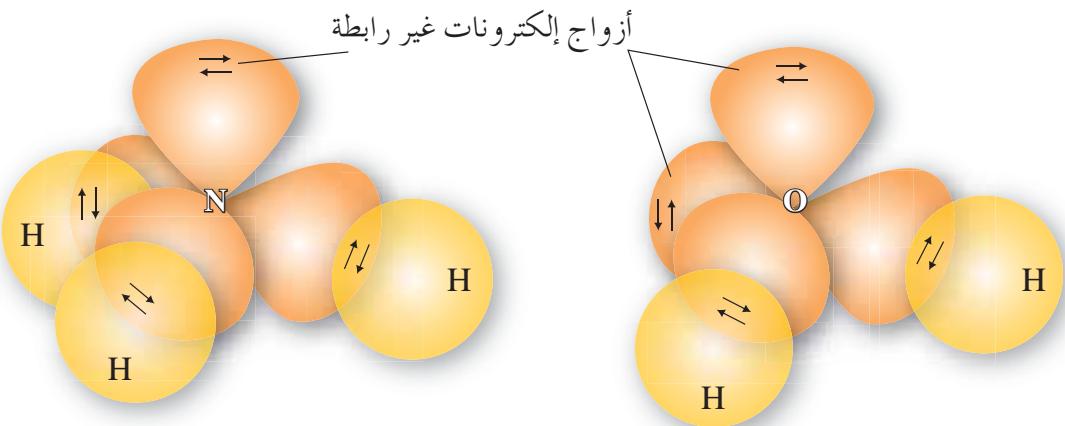
المواد والأدوات المطلوبة

الجدول الدوري، صندوق نماذج الذرات.

الخطوات

- ١ - اكتب التركيب الإلكتروني ورموز لويس لكل من ذرة النيتروجين والأكسجين.
- ٢ - ما عدد الإلكترونات المنفردة في هاتين الذرتين؟
- ٣ - ما الأفلاك التي يتوقع تداخلها عند تكوين الرابطة $H-O$ ، و $H-N$? وما مقدار الزاوية المتوقعة بين الروابط في كل مركب؟
- ٤ - استخدم نماذج الذرات للتعرف نموذج كل من: ذرة N، وذرة O.
- ٥ - ابني نموذجاً يوضح طريقة ارتباط (النيتروجين مع الهيدروجين)، والأكسجين مع الهيدروجين). ثم سمِّي الشكل الناتج لكل منها.
 - ما مقدار الزاوية بين الأفلاك المكونة للروابط في كل من الجزيئين؟
 - ما عدد أزواج الإلكترونات غير الرابطة حول ذرة النيتروجين N، وذرة الأكسجين O؟
 - هل تتوقع حدوث تهجين لأفلاك ذرة النيتروجين والأكسجين؟ ما سبب ذلك في رأيك؟
- ٦ - ارسم شكلاً توضيحيًا لكل من المركبين الناتجين.

إن عدد الإلكترونات المنفردة في كل من ذرتي N، وO يطابق عدد الروابط التي تكونها كل ذرة منها، غير أن الزاوية بين الرابطين في الجزيء H_2O تبلغ $104,5^\circ$ ، وهي أكبر بكثير من الزاوية 90° (التي يفترض أن تكون في حال تداخل الأفلاك البسيطة)، وهي أيضاً أقرب ما يكون إلى الزاوية $109,5^\circ$ المرتبطة بالتهجين sp^3 ، أمّا الزاوية بين الروابط في جزيء NH_3 فتبلغ $107,3^\circ$ ، وهي أقرب إلى الزاوية $109,5^\circ$ ، وهذا يفسّر بحدوث تهجين من نوع sp^3 في ذرتي الأكسجين والنيتروجين، ويبيّن الشكل (٢-١٣) توزيع الروابط وأزواج الإلكترونات حول الذرة المركزية في هذين الجزيئين، والشكل الفراغي لكل منها.



الشكل (٢ - ١٣ / ب): الشكل الفراغي لأزواج الإلكترونات حول النزرة المركزية في جزيء الأمونيا.

الشكل (٢ - ١٣ / أ): الشكل الفراغي لأزواج الإلكترونات حول النزرة المركزية في جزيء الماء.

قد يتبدّل إلى الذهن السؤال الآتي: على الرغم من أن تهجّين ذرة الأكسجين في جزيء الماء هو من نوع sp^3 إلا أن الزاوية بين الروابط تبلغ $104,5^\circ$. كيف تفسّر ذلك؟

يُبيّن من الشكل (٢ - ١٣ / أ) وجود زوجين من الإلكترونات غير الرابطة حول ذرة الأكسجين يخضعان لجذب نواة ذرة الأكسجين فقط، ويحتلان حيزاً حول النواة أكبر من ذلك الذي تحتله الإلكترونات الرابطة التي تخضع لجذب نواتي الذرتين H، وO المكوّنتين للرابطة، وبذلك فإنّها تتنافر مع أزواج الإلكترونات الرابطة، مما يُسّبب انخفاضاً قليلاً عن مقدار الزاوية $109,5^\circ$ المرتبطة بالتهجّين sp^3 .

سؤال

لماذا يختلف مقدار الزاوية في جزيء الماء عنه في جزيء الأمونيا؟

٢ - التهجّين من نوع sp^2

وفقاً لنظرية الربط التساهمي، فإن الأفلاك الهجينة sp^2 تتوجّ من تداخل الفلك s مع ثلاثة أفلاك p، فهل يمكن تهجّين فلكين من p وفالك من s؟ وفي أيِّ الذرات يحدث مثل هذا النوع من التهجّين؟

لتتعرّف بذلك، أجب عن الأسئلة الآتية التي تتعلّق بجزيء BCl_3 :

- اكتب التركيب الإلكتروني ورمز لويس لذرة البورون B.

- ما عدد الإلكترونات المنفردة في ذرة B؟

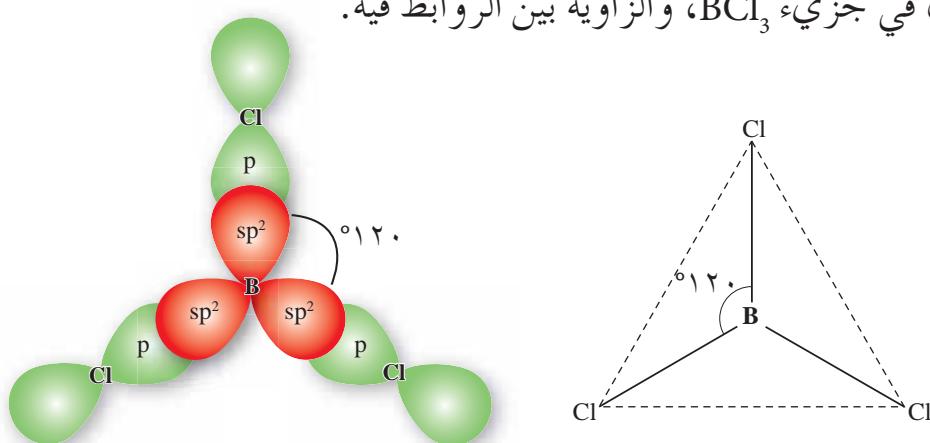
- اكتب تركيب لويس لجزيء BCl_3 .
- بناءً على ما تعلّمته عن تداخل الأفلاك البسيطة، ما عدد الروابط التي يفترض أن تكوّنها ذرة B ؟

● فسّر سبب تكوين ذرة البورون لثلاث روابط مع ذرات الكلور.

عند كتابة التركيب الإلكتروني لذرة البورون $\text{B}: 1s^2 2s^2 2p^1$: يلاحظ أنها تمتلك إلكترونًا منفردًا واحدًا، في حين تحاط ذرة البورون في جزيء BCl_3 بثلاث روابط تساهمية، وحتى تتمكن من تكوين تلك الروابط؛ فإن عليها امتلاك ثلاثة إلكترونات منفردة، فكيف يحدث ذلك؟ تفترض نظرية الرابط التساهمي أن إلكترونًا من الفلك $2s$ ينتقل إلى أحد أفلاك $2p$ الفارغ في ذرة البورون، ثم يحدث اندماج بين فلك $2s$ مع فلكي $2p$ لتكونين ثلاثة أفلاك هجينة من نوع sp^2 على النحو الآتي:



ولتحقيق أقل تناحر بينها، تتخذ أفلاك sp^2 شكل مثلث متساوي الأضلاع (مثلثًا مسطحة). تكون ذرة البورون لثلاث روابط تساهمية مع ثلاث ذرات كلور، ويكون الشكل الفراغي للجزيء الناتج مثلثًا متساوي الأضلاع، بحيث تقع ذرة البورون في مركزه، وذرات الكلور في رؤوسه، انظر الشكل (٢ - ١٤) الذي يبيّن كيف تتواءز ذرات الكلور حول ذرة البورون في جزيء BCl_3 ، والزاوية بين الروابط فيه.



الشكل (٢ - ١٤): توزيع ذرات الكلور حول الذرة المركزية في جزيء BCl_3 ، والزاوية بين الروابط فيه.

ما الأفلاك المتدخلة في تكوين الرابطة $\text{B} - \text{Cl}$ ؟

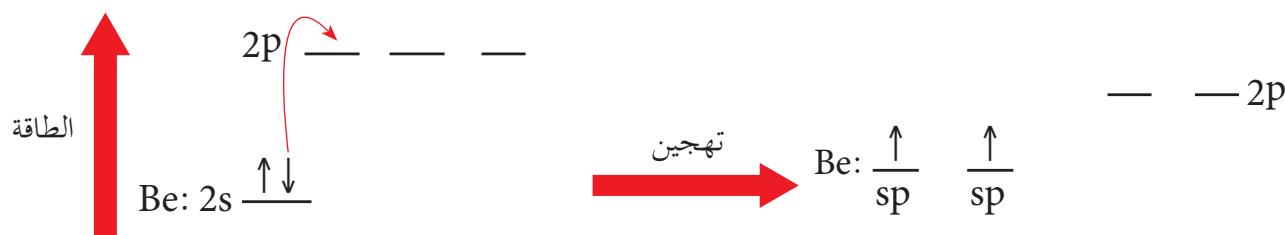
ما مبررات افتراض حدوث التهجين في جزيء BeCl_2 ؟

٣ - التهجين من نوع sp

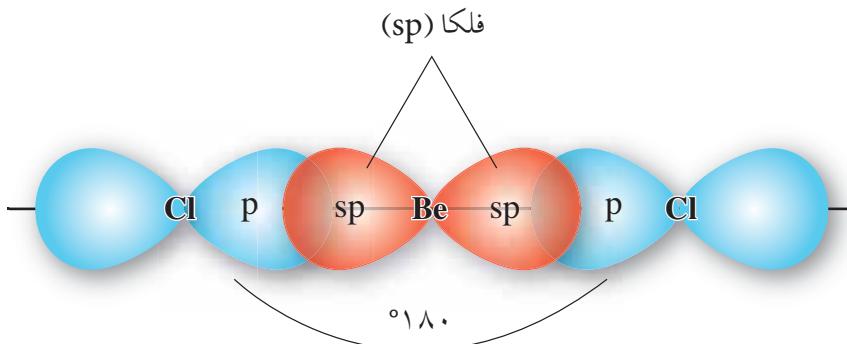
إضافةً إلى نوعي التهجين sp^2 و sp^3 اللذين تعرّفتهما، يوجد نوع ثالث من التهجين هو sp ، فكيف يتكون هذا النوع من التهجين؟ وأيّ الذرات تستخدمنه؟ وما مبررات حدوثه؟ لنتعرّف ذلك، ادرس التركيب الإلكتروني لذرة البريليوم Be، ثم أجب عما يليه من أسئلة.



- هل تمتلك ذرة البريليوم إلكترونات منفردة؟
- كيف تُفسّر تكوين ذرة البريليوم رابطتين مع ذرتين الكلور في جزيء BeCl_2 إن تكوين أيّ ذرة عدداً من الروابط يحتاج إلى عدد من الإلكترونات المنفردة يساوي عدد الروابط المُتكوّنة؛ لذا فإنه يتعمّن على ذرة البريليوم أن تمتلك إلكترونين منفردين حتى تستطيع تكوين رابطتين. ولحدوث ذلك، فإننا نفترض حدوث التهجين، وذلك بنقل إلكترون من فلك $2s$ إلى فلك $2p$ ، ثم انDMAج فلك $2s$ مع فلك واحد من أفلاك $2p$ ؛ ليكُونا فلكين جديدين متماثلين من نوع sp على النحو الآتي:



عند تكون الرابط في جزيء BeCl_2 فإن زوجي الإلكترونات المشتركين في تكوين الرابطة يتوزّعان حول ذرة البريليوم في اتجاهين متراكبين على خط واحد، بحيث يكون التنافر بينهما أقل ما يمكن، وعليه فإن مقدار الزاوية بين الرابطتين يبلغ 180° ، والشكل الفراغي لجزيء BeCl_2 يكون خطياً، انظر الشكل (٢ - ١٥).



الشكل (٢ - ١٥): توزيع ذرتي الكلور حول الذرة المركزية في جزيء BeCl_2 ، والشكل الفراغي للجزيء.

سؤال

قارن بين الجزيئات: BeH_2 , BF_3 , SiCl_4 من حيث: نوع التهجين في الذرة المركزية، والأفلاك المتدخلة في تكوين الروابط في كل جزيء، ومقدار الزاوية بين الروابط، والشكل الفراغي للجزيء.

لاحظ أن من مبررات افتراض حدوث التهجين:

- ١ - عدم مطابقة عدد الروابط التي تُكُونُها الذرة لعدد الإلكترونات المنفردة فيها.
- ٢ - اختلاف مقدار الزاوية بين الروابط في الجزيء عما هو مُتوقّع من الزاوية بين أفلاك الذرة المركزية المشتركة في تكوين الروابط.

قضية للبحث

مستعيناً بالعبارات المفتاحية الآتية: (Hybridization , Hybridization in ethene and ethyne) ،

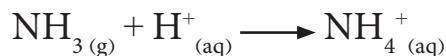
التهجين) ، ابحث أنت وزملاؤك في الشبكة المعلوماتية عن:

- ١ - فلم يوضح كيفية تكون الأفلاك المهجنة من نوع: sp^3 ، sp^2 ، و sp .
- ٢ - نوع تهجين الذرة المركزية في جزيئات: C_2H_4 ، و C_2H_2 .

تعَرَّفت من نظرية الربط التساهمي أن الرابطة التساهمية تتكون من تداخل فلكيين، كلُّ منها يتلَك إلكتروناً منفراً واحداً، مثل: H_2 , O_2 , Cl_2 , HBr ، وغيرها من الجزيئات، فهل تتكون الرابطة التساهمية بالطريقة نفسها في المواد جميعها؟ وكيف تُقْسِّر تكوُن الرابطة التساهمية عند

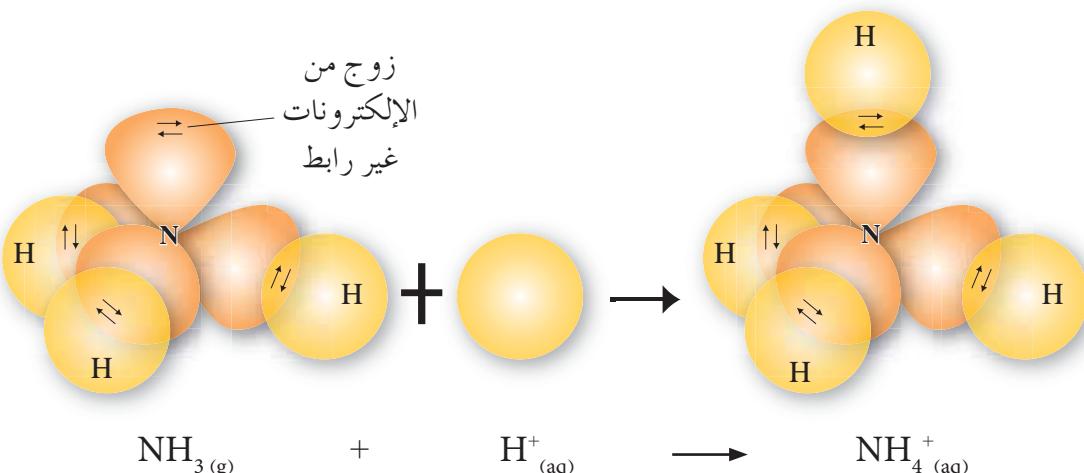
تفاعل جزيء الأمونيا NH_3 مع أيون الهيدروجين H^+ لتكوين أيون الأمونيوم NH_4^+ ? علماً بأن الرابط التساهمية الأربع في الأيون متكافئة.

يمكن تمثيل التفاعل بين الأمونيا وأيون الهيدروجين بالمعادلة الآتية:



لاحظ أن ذرة النيتروجين في جزيء الأمونيا NH_3 تمتلك زوجاً من الإلكترونات غير الرابطة في فلك sp^3 الهجين، وأن أيون الهيدروجين يمتلك فلكاً فارغاً، فكيف يمكن أن ت تكون بينهما رابطة؟

يمكن تفسير تكون الرابطة بينهما عن طريق تداخل فلك $1s$ الفارغ من أيون الهيدروجين مع فلك sp^3 الهجين من ذرة النيتروجين الذي يمتلك زوجاً من الإلكترونات كما في الشكل (٢ - ١٦)، ويطلق على هذا النوع من الرابط اسم الرابطة التناسقية (Coordinate Covalent Bond)، التي تكون من تداخل فلك فارغ من إحدى الذرات مع فلك يمتلك زوجاً من الإلكترونات غير الرابطة من ذرة أخرى، علماً بأن هذه الرابطة لا تختلف عن الرابطة التساهمية في صفاتها.



الشكل (٢ - ١٦): تكوين الرابطة التناسقية في أيون الأمونيوم NH_4^+ .

سؤال

وضُّح بالرسم كيف ت تكون الرابطة التناسقية في أيون الهيدرونيوم H_3O^+ .

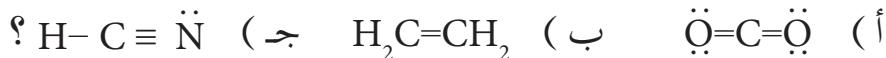
٧ أسئلة الفصل

١ - وُضِّح المقصود بكلٌّ من: التهجين، والرابطة التناسقية.

٢ - حدد الشكل الفراغي لكلٌّ من المركبات الآتية:



٣ - ما عدد روابط سيغما (σ)، وعدد روابط باي (π) في الجزيئات الآتية:



٤ - ما نوع تهجين الذرة المركزية في الجزيئات الآتية:



٥ - لديك العناصر الافتراضية الآتية: T_9 ، Y_{15} ، Z_4 ، YT_3 ، ZT_2 من حيث:

اكتب التركيب الإلكتروني لكل منها، ثم قارن بين الجزيئين: YT_3 ، ZT_2 من حيث:

(أ) نوع التهجين في الذرة المركزية.

(ب) شكل الجزيء.

(ج) الزاوية بين الروابط.

(د) الأفلاك المكونة للرابطين: Z-T ، Y-T .

(هـ) عدد الأزواج غير الرابطة التي تمتلكها الذرة المركزية.

٦ - فسر ما يأتي:

(أ) بالرغم من أن ذرة الأكسجين تستخدم أفلاك sp^3 الهجينية إلا أن مقدار الزاوية بين الروابط في الجزيء Cl_2O أقل من $109,5^\circ$ بقليل.

(ب) الرابطة التساهمية من نوع سيغما (σ) أقوى من الرابطة التساهمية من نوع باي (π).

٧ - يرتبط عنصرا X ، Y . (وهما من عناصر الدورة الثانية) بالهيدروجين (ع. ذ = ١)، فيتكون

الجزيئان: YH_4 ، XH_3 بافتراض التهجين sp^3 لكلٌّ من الذرتين المركزيتين: (Y ، X):

(أ) ما العدد الذري لذرتى Y ، X ؟

(ب) سُمّ الشكل الهندسي للجزيء YH_4 ، XH_3 ، YH_4 ، XH_3

(ج) ما عدد أزواج الإلكترونات غير الرابطة للذرة المركزية X ؟

(د) ما مقدار الزاوية بين الروابط في جزيء YH_4 ؟

الفصل الثاني

٢

قوى التجاذب بين الجزيئات

Intermolecular Forces

توجد المواد في الحالات الثلاث: الصلبة، والسائلة، والغازية؛ فمثلاً، يوجد السكر في الحالة الصلبة، في حين يوجد الأسيتون في الحالة السائلة، والأكسجين في الحالة الغازية في الظروف الاعتيادية، فكيف تفسّر اختلاف الحالة الفيزيائية لهذه المواد؟ وهل لقوى التجاذب بين جزيئات هذه المواد تأثير في حالتها الفيزيائية؟ وهل توجد علاقة بين شكل الجزيئات المكوّنة للمادة وصفاتها الفيزيائية مثل درجة الغليان؟

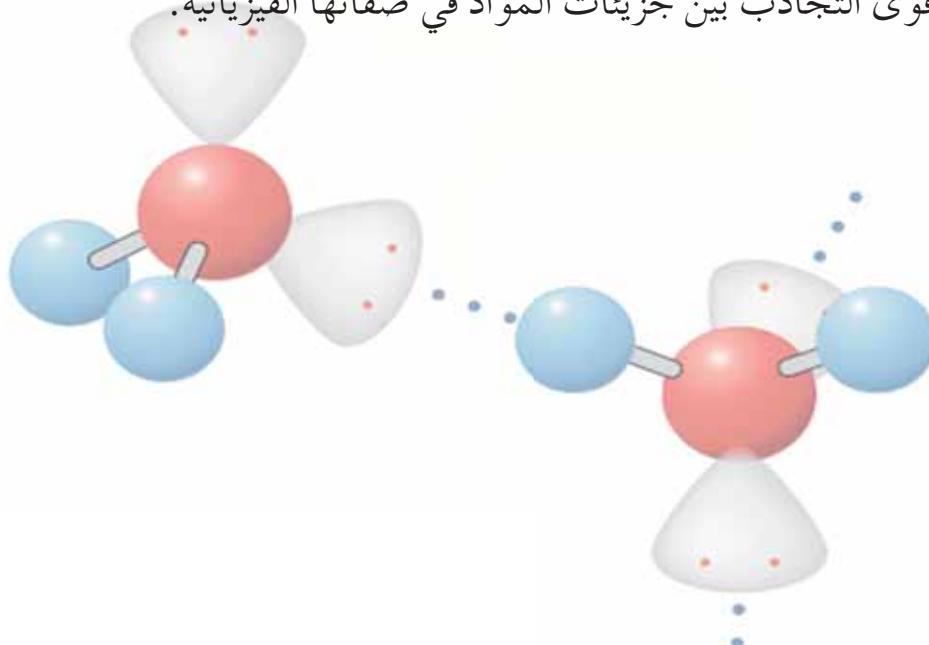
ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل، ويُتوقع منك بعد ذلك أن:

■ توضّح المقصود بقطبية الجزيء.

■ تستنتج العوامل التي تعتمد عليها قطبية الجزيء.

■ توضّح أنواع قوى التجاذب بين الجزيئات والعوامل التي تعتمد عليها.

■ تحديدّ أثر قوى التجاذب بين جزيئات المواد في صفاتها الفيزيائية.



قطبية الجزيئات

بعد أن درست قطبية الرابطة وعلاقتها بالكهرسلبية في الوحدة الأولى، ربما تسأل: كيف تؤثر قطبية الروابط في قطبية الجزيء؟

تشأّ قطبية الجزيء بسبب عدم الانتظام في توزيع الكثافة الإلكترونية في الجزيء، مما يُكسبه عزماً ثنائياً القطب. ويُقصد بالعزم ثنائياً القطب: المقياس الكمي لقطبية الرابطة أو الجزيء، الذي يعتمد على مقدار الشحنة الجزئية على طرفي القطب، والمسافة بين الشحتين الجزيئيين في الرابطة، علماً بأن العزم ثنائياً القطب للجزيء يساوي محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب للروابط.

ولكن، هل تعتقد بوجود علاقة بين قطبية الرابطة وقطبية الجزيء؟ وهل قطبية الرابطة شرط كافٍ ليكون الجزيء قطبياً، أم أن لشكل الجزيء دوراً في قطبيته؟ وما شروط قطبية الجزيئات في الجزيئات ثنائية الذرات؟ وهل تماثل الشروط نفسها في الجزيئات عديدة الذرات؟

١ – قطبية الجزيئات ثنائية الذرات

أيّ الجزيئات الآتية تتوقع أن يكون قطبياً: HF ، H_2O ، HBr ، Cl_2 ؟ وهل يكفي وجود رابطة قطبية حتى يكون الجزيء قطبياً؟

لاحظ أن كلاً من جزيء HBr ، وجزيء HF يمتلك روابط قطبية، وهذا يكفي ليكون الجزيء قطبياً.

٢ – قطبية الجزيئات عديدة الذرات

لتتعرف على شروط قطبية الجزيء في الجزيئات عديدة الذرات، أجب عن الأسئلة الآتية:

أ – ارسم الشكل البصري لكلاً من الجزيئات الآتية: BeF_2 ، H_2O ، BCl_3 ، CF_4 .

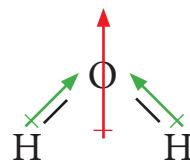
ب – مثل قطبية الروابط في كل جزيء باستخدام الأسهم.

ج – أيّ الجزيئات السابقة قطبي؟ وأيها غير قطبي؟ ووضح ذلك بالرسم.

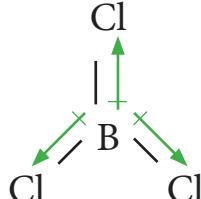
لاحظ أن قطبية الرابطة ليست شرطاً كافياً لقطبية الجزيء؛ فالرغم من أن الرابطة في جزيء BeF_2 قطبية إلا أن جزيء BeF_2 غير قطبي؛ لأن محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب للروابط تساوي صفرًا.



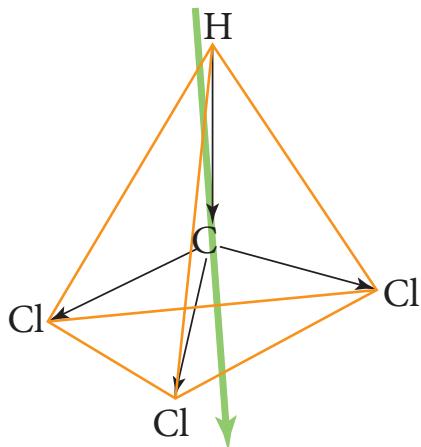
أمّا في جزيء H_2O المنحني فإن محصلة ثنائية الأقطاب للروابط فيه لا تساوي صفرًا؛ لذا يُعد الماء جزيئًا قطبياً.



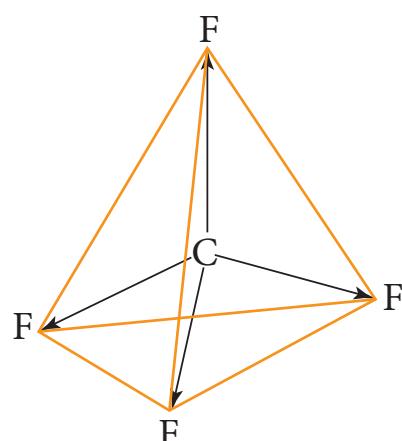
وعند رسم الشكل الهندسي لجزيء BCl_3 يلاحظ أن محصلة ثنائية الأقطاب للروابط فيه تساوي صفرًا، لذا فإن جزيء BCl_3 غير قطبى.



تتوقف محصلة عزوم ثنائية الأقطاب للروابط على شكل الجزيء؛ فاعتماداً على اتجاه عزوم ثنائية الأقطاب للروابط في جزيء CF_4 يكون الجزيء غير قطبى؛ لأن محصلة عزوم ثنائية الأقطاب تساوي صفرًا، في حين يكون جزيء الكلوروفورم $CHCl_3$ قطبياً؛ لأن محصلة عزوم ثنائية الأقطاب فيه لا تساوي صفرًا، ويوُوضّح الشكل (١٧-٢) محصلة العزوم القطبية في هذه الجزيئات.



الشكل (٢ - ١٧ / ب): اتجاه عزوم ثنائية الأقطاب في جزيء $CHCl_3$.



الشكل (٢ - ١٧ / أ): اتجاه عزوم ثنائية الأقطاب في جزيء CF_4 .

سؤال

ارسم أشكال الجزيئات الآتية، مبيّناً أيّ هذه الجزيئات له خصائص قطبية:

$.BeH_2, H_2S, PCl_3, BF_3, SiCl_4$

أنواع قوى التجاذب بين الجزيئات

تعرّفت في الصف العاشر وجود روابط مختلفة تربط الذرات بعضها البعض في المركبات، فجزيء الماء مثلاً يتكون من ذرتين هيدروجين ترتبطان بروابط تساهمية مع ذرة أكسجين. ولكن، ما علاقة كل جزء بباقي الجزيئات؟ وكيف يمكن أن يوجد الماء في حالاته الثلاث في الطبيعة؟ يعزو العلماء إمكانية وجود المادة في الطبيعة في حالاتها الثلاث إلى قوى تجاذب بين جزيئات المادة الواحدة أو دقائقها، فما أنواع هذه القوى؟ وما دورها في التحكم في خصائص المادة؟ يمكن تصنيف قوى التجاذب بين الجزيئات إلى ثلاثة أنواع رئيسة، هي:

١ - قوى التجاذب بين الجزيئات ثنائيات الأقطاب

لتتعرف لهذا النوع من قوى التجاذب، نفذ النشاط (٢ - ٥).

نشاط (٢-٥): تمييز المركبات التي تتكون من جزيئات ثنائية الأقطاب



المواد والأدوات المطلوبة

عبوة ماء بلاستيكية فارغة، سحاحة، حامل، ماسك، قمع، ماء، CCl_4 ، كأس زجاجية.

الخطوات

١ - ثبت السحاحة باستخدام الحامل والماسك كما في الشكل.

٢ - ضع كمية من الماء في السحاحة باستخدام القمع والكأس الزجاجية.

٣ - افتح السحاحة بحيث ينزل الماء على شكل خيط إلى الكأس (يمكن الاستعاضة عن السحاحة بصنبور الماء).



٤ - ادلك العبوة البلاستيكية بشعر رأسك، (أو بقطعة من الصوف)، ثم قربها من الماء، ماذا حصل لمسار الماء في أثناء نزوله؟ قدم تفسيراً لذلك.

٥ - كرر الخطوات السابقة باستخدام CCl_4 ، ثم دون ملاحظاتك.

- أي المركبين انجذب نحو العبوة البلاستيكية؟

- أي المركبين السابعين قطبي؟ وأيهما غير قطبي؟

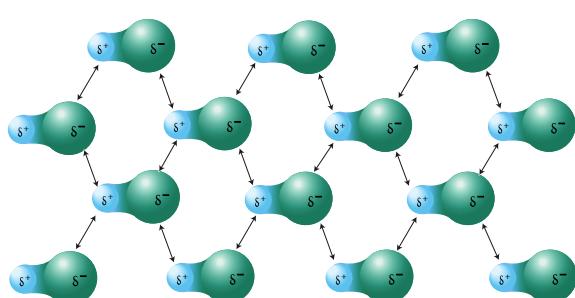
- اكتب استنتاجك.

درست في هذا الفصل قطبية الجزيئات، وتعرفت أن الجزيء يكون قطبياً إذا كانت محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب للروابط في الجزيء لا تساوي صفرًا، وهذا يعني أن الكثافة الإلكترونية تتوزع بشكل غير متناسب في الجزيء، بحيث تكون الكثافة الإلكترونية على أحد طرفي الجزيء أعلى منها على الطرف الآخر، فيحمل هذا الطرف شحنة جزئية سالبة (δ^-)، وتقل الكثافة الإلكترونية على الطرف الآخر، فيحمل شحنة جزئية موجبة (δ^+)؛ لذا تسمى هذه الجزيئات ثنائيات الأقطاب، ويمكن تمثيل قطبية هذا النوع من الجزيئات كما في الشكل (٢ - ١٨)، حيث تشير كثافة اللون إلى الكثافة الإلكترونية.

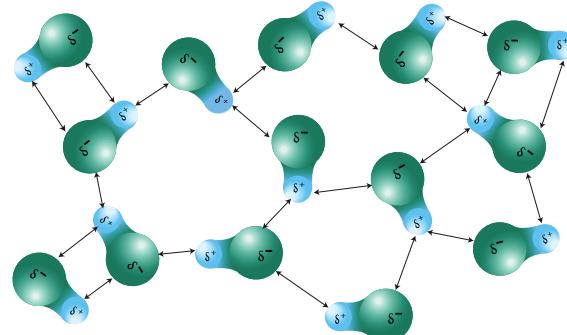
الشكل (٢ - ١٨): تمثيل جزيء ثبائي القطب.

يُبيّن من النشاط السابق أن جزيء الماء يمتلك خصائص

كهربائية تجعل جزيئاته تتأثر بعبوة البلاستيك المدلوكه، في حين لا تمتلك جزيئات CCl_4 مثل هذه الخصائص؛ لأنها غير قطبية. ولكن، ما نوع قوى التجاذب التي تربط جزيئات ثنائيات الأقطاب بعضها البعض؟ لنتعرّف بذلك، ادرس الشكل (٢ - ١٩) الذي يمثل جزيئات ثنائيات الأقطاب لمادة ما في الحالتين: السائلة، والصلبة.



(ب) الحالة الصلبة.



(أ) الحالة السائلة.

الشكل (٢ - ١٩): تجاذب جزيئات ثنائيات الأقطاب.

يُبيّن الشكل أن تجاذبًا نشأ بين الطرف السالب لجزيء ما والطرف الموجب لجزيء آخر، ويلاحظ عند النظر إلى مجموع الجزيئات تكون شبكة من قوى التجاذب تعمل على جذب هذه الجزيئات بعضها إلى بعض، ويُسمى هذا النوع قوى تجاذب ثنائيات الأقطاب. ولكن، هل قوى التجاذب هذه هي الوحيدة التي توجد بين الجزيئات ثنائيات الأقطاب؟ ألا توجد قوى تناقض بين الأقطاب المتشابهة؟

إن التناحر بين الأقطاب المتشابهة مُتوقع، ولكن الجزيئات تترتب بطريقة تجعل فرصة التجاذب أكبر ما يمكن، ويظهر هذا الترتيب للجزيئات ثنائيات الأقطاب بشكل واضح في الحالة الصلبة، انظر الشكل (١٩-٢ ب)، وتظهر هذه القوى بوضوح عندما تكون المسافات البينية بين الجزيئات قليلة نسبياً.

سؤال

◀ في أي الحالتين الموضعتين في الشكل (١٩ - ٢) تكون:

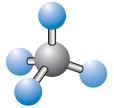
- الجزيئات أكثر عشوائية في أوضاعها وحركاتها؟
- المسافات بين الجزيئات أقل؟
- قوى التجاذب بين الجزيئات أقوى؟
- الطاقة الحرارية للجزيئات أقل؟

◀ أي المركبات الآتية توقع أن ترتبط جزيئاتها بقوى تجاذب ثنائية الأقطاب في

الحالة السائلة: NCl_3 ، HBr ، CF_4 ، Cl_2O

لتتعرف كيف تؤثر قوى تجاذب ثنائية الأقطاب في الخصائص الفيزيائية للجزيئات، ادرس الجدول (٢ - ١)، ثم أجب عما يليه من أسئلة.

الجدول (٢ - ١): أثر قطبية الجزيء في ارتفاع درجة غليانه.

درجة الغليان ($^{\circ}\text{س}$)	الشكل الفراغي	صيغة الجزيء
٦١-		CH_4
٧٨-		CH_3F

• أي الجزيئين درجة غليانه أعلى: CH_3F أم CH_4 ؟

• ما نوع قوى التجاذب في كلّ منها؟

يتبيّن من الجدول أن للجزيئات القطبية درجات غليان أعلى منها للجزيئات غير القطبية؛ إذ تحتاج إلى كمية أكبر من الطاقة للتغلب على قوى التجاذب بين جزيئاتها، وهذا يؤدي إلى ارتفاع درجات غليانها مقارنة بالجزيئات غير القطبية.

٢ - الرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond

عند مقارنة مركب الفلوروميثان CH_3F بالميثanol CH_3OH يلاحظ أن المركبين قطبيان، وأنهما متقاربان في كتلتيهما المولية (٣٤ للفلوروميثان، و٣٢ للميثanol)، وأنهما متقاربان أيضاً في العزم الثنائي القطب لكلٌّ منهما (١,٨١ ديباي للفلوروميثان، و١,٧٠ ديباي للميثanol)، وهذا يجعلنا نتوقع أن هذين المركبين يمتلكان نفس نوع قوى التجاذب بين جزيئاتهما، فتكون درجة غليانهما متقاربة، ولكن يوجد -حقيقةً- اختلاف كبير بين درجة الغليان لكلٍّ منهما؛ فدرجة غليان الفلوروميثان (-٧٨°C)، وهو يوجد في الحالة الغازية في الظروف العادية، في حين أن درجة غليان الميثanol (٦٥°C)، وهو سائل في الظروف نفسها، وهذا يعني وجود قوى تجاذب أخرى في الميثanol تزيد من درجة غليانه. لتعرف هذا النوع من قوى التجاذب، نفذ النشاط (٦-٢).



نشاط (٦-٢): الترابط الهيدروجيني بين الجزيئات

ادرس الجدول (٦-٢) الذي يمثل مقارنة بين درجة الغليان لثلاثة أزواج من المواد الجدول (٦-٢): مقارنة درجات غليان مواد متناظرة.

الحالة الفيزيائية في درجة الحرارة العادية	درجة الغليان (°)	المادة
سائل	٢٠	HF
غاز	٨٥-	HCl
سائل	١٠٠	H_2O
غاز	٦١-	H_2S
غاز	٣٣,٤-	NH_3
غاز	٨٧,٨-	PH_3

- حدّد العناصر الثلاثة التي لها أعلى كهرسلبية بناءً على جدول الكهرسلبية في صفحة (٥٠)؟
- أيِّ الجزيئات الواردة في هذا الجدول يحتوي على أحد العناصر التي توصلت إليها من السؤال الأول؟
- مثل بالرسم هذه الجزيئات، مُبيِّناً عليها الشحنات الجزئية: الموجبة، والسلبية.

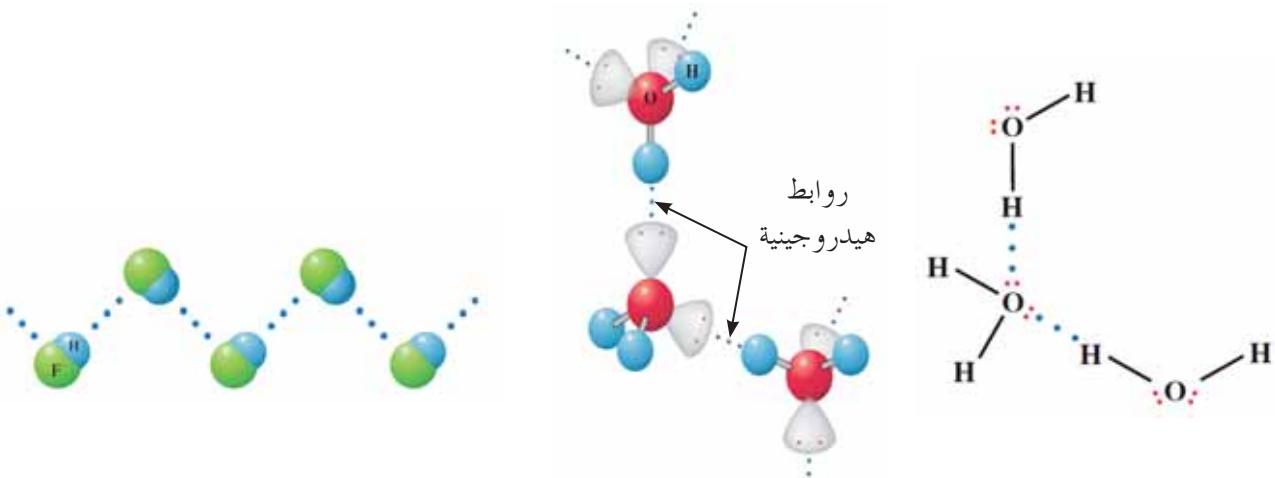
- ما الذرة المشتركة بين الجزيئات السابقة؟
- إلام يعزى الفرق الكبير في درجتي غليان كل زوج من الجزيئات في الجدول؟

يُبيّن الجدول (٢ - ٢) أن للماء H_2O درجة غليان أعلى كثيراً من مركبكبريتيد الهيدروجين H_2S بالرغم من أن عنصري الأكسجين والكبريت متتاليان في المجموعة نفسها من الجدول الدوري، وكلاً منها يرتبط بالهيدروجين فقط، وينطبق الوصف نفسه على المادتين HF و HCl ، والمادتين NH_3 و PH_3 على التوالي. وبالرغم من أن المركبات السابقة جميعها قطبية فإن قوى التجاذب بين الجزيئات ثنائيات الأقطاب لا يمكن أن تُعطي تفسيراً مقنعاً لفارق الكبير بين درجتي غليان كل زوج منها؛ إذ لا بد من وجود قوى تجاذب مختلفة في كلٍ من: NH_3 ، H_2O ، HF ، فما هذه القوى؟ وكيف تنشأ؟

لا بد أنك لاحظت من دراستك جدول الكهرسلبية أن N ، O ، و F هي العناصر الثلاثة الأعلى كهرسلبية في الجدول الدوري؛ فعند ارتباط هذه الذرات صغيرة الحجم ذات الكهرسلبية العالية بذرة الهيدروجين لتكوين الروابط: $\text{H}-\text{F}$ ، $\text{H}-\text{O}$ ، و $\text{H}-\text{N}$ ، فإن الكثافة الإلكترونية للرابطة التساهمية تنزاح نحو الذرة الأعلى كهرسلبية (F ، O ، N)، وهو ما يُكسب هذه الذرات شحنة جزئية سالبة، ويُكسب ذرة الهيدروجين شحنة جزئية موجبة، فتنشأ رابطة ذات استقطاب كبير، وتكون المحصلة الكلية لعزם ثنائي القطب للجزيء عالي، وهذا يُفتح جزيئات عالية القطبية ترتبط بتجاذب ثنائية الأقطاب الذي يفوق القوى الموجودة بين الجزيئات ثنائية الأقطاب العادية، ولتمييزها من ثنائية الأقطاب العادية؛ فقد سميت روابط هيدروجينية.

وبالرغم من أن الجزيئات التي ترتبط بالرابطة الهيدروجينية هي أصلاً جزيئات ثنائية الأقطاب فإن شدة استقطاب هذه الجزيئات (بسبب زيادة الفرق في الكهرسلبية بين الذرات وصغر حجم ذرة H) يؤدي إلى ترابط قوي بين جزيئاتها حتى يصبح ضروريًا الحديث عن هذا النوع من قوى الترابط بوصفه نوعاً منفصلاً. ويمكن التعبير عن الرابطة الهيدروجينية بخط مُنقط كما في الشكل (٢ - ٢٠) لتمييزها من الرابطة التساهمية.

لاحظ أن كل ذرة هيدروجين تتوسط ذرتين أكسجين في جزيئين متباورين من جزيئات الماء، وتحاط برابطتين؛ إحداهما تساهمية، والأخرى هيدروجينية.



(أ) الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء.
الشكل (٢٠ - ٢) : الرابطة الهيدروجينية.

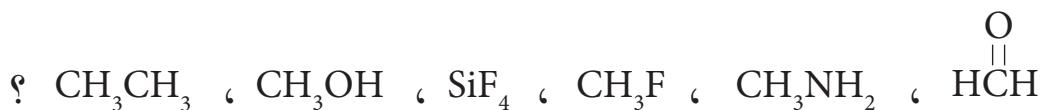
سؤال

اعتماداً على الشكل (٢٠ - ٢)، فسر سبب ارتفاع درجة غليان الماء مقارنةً

بدرجة غليان HF، بالرغم من أن الرابطة الهيدروجينية في HF أقوى منها في



أي المركبات الآتية يُكوّن ترابطاً هيدروجينياً بين جزيئاته:

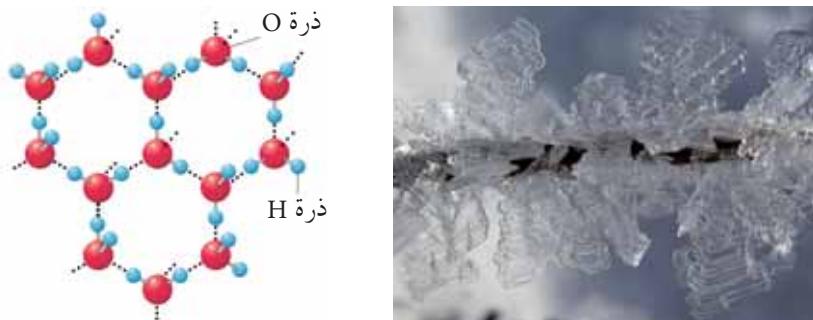


الكيمياء في حياتنا



في أيام الشتاء الباردة، وعند حدوث الصقيع، تُحدّر وزارة الزراعة المزارعين من تدني درجات الحرارة، وتطلب إليهم أخذ الحيطه والحدر؛ تجنّباً لتلف المزروعات، وذلك بإشعال النيران ليلاً في المزرعة، أو استخدام البيوت البلاستيكية، أو رى المزروعات ليلاً. فعند حدوث الصقيع تتدنى درجات الحرارة لتصل إلى ما دون الصفر، فيتجمّد الماء داخل أوعية النبات، ويزداد حجمه بسبب تكوّن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء، فيحاط كل جزيء ماء بأربعة جزيئات ماء أخرى في اتجاهات رؤوس رباعية الأوجه، وهذا يؤدي إلى تكوين بلورات تحوّي فراغات كبيرة نسبياً بين الجزيئات، مما يجعل الجليد أكبر حجماً، فتتمزّق الأوعية

النباتية، وتتلف المزروعات. وبوجه عام، تكون كثافة الجليد أقل من كثافة الماء السائل، وهذا ما يجعل الجليد يطفو فوقه، ولهذا أهمية كبيرة في المحافظة على الحياة المائية في المناطق القطبية؛ إذ يُشكّل الجليد على السطح طبقة عازلة تمنع تجمّد الماء أسفل منها.



٣ – قوى لندن London Forces

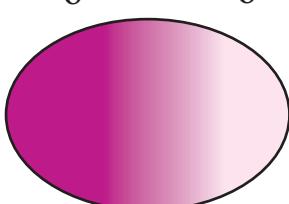
بعد دراستك قوى التجاذب بين الجزيئات القطبية (قوى تجاذب ثنائيات الأقطاب، والرابطة الهيدروجينية)، هل تتوقع وجود قوى تجاذب بين جزيئات المواد غير القطبية؟ وما الحالة الفيزيائية المُتوقّعة لتلك المواد في الظروف الطبيعية؟

إن افتراض عدم وجود قوى تجاذب بين جزيئات المادة غير القطبية يجعلنا نتوقع أن تكون هذه المواد في الحالة الغازية، وهذا منافٍ للحقيقة؛ إذ توجد جزيئات الكلور Cl₂ في الحالة الغازية، في حين يوجد бром brom₂ في الحالة السائلة، واليود I₂ في الحالة الصلبة في الظروف الطبيعية، بالرغم من أن جزيئات هذه المواد كلها غير قطبية، فكيف نفسّر ذلك؟

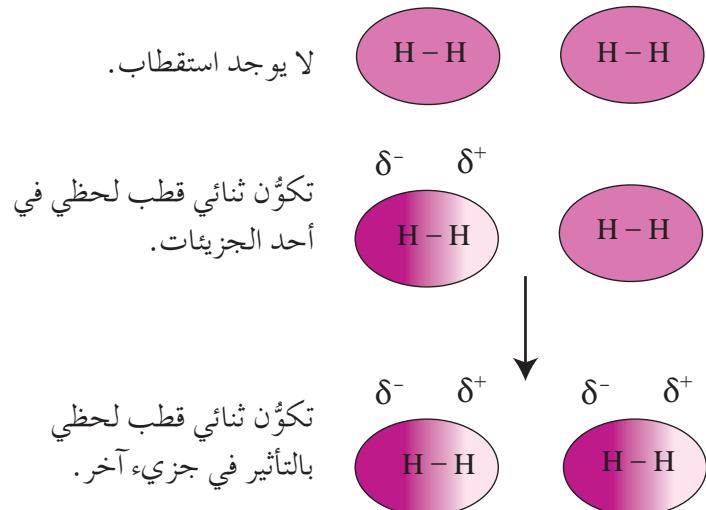
إن وجود الجزيئات غير القطبية في الحالة السائلة أو الصلبة يتطلب وجود قوى تجاذب تربط تلك الجزيئات بعضها ببعض، فما هذه القوى؟ وكيف تنشأ؟

اقترح العالم الألماني فرنس فرنس فرنس لندن تفسيرًا علميًّا لتلك القوى؛ إذ افترض أنه في أثناء حركة الإلكترونات في الذرات أو الجزيئات فإن الكثافة الإلكترونية في لحظة ما قد تتوزع بشكل غير منتظم في الجزيء، فتضاد الكثافة الإلكترونية على أحد طرفي الذرة أو الجزيء بصورة أكثر منها لطرف الآخر، مما يحدث استقطابًا لحظيًّا في الجزيء، انظر الشكل (٢ - ٢١).

الشكل (٢ - ٢١): ثنائي القطب اللحظي.



عند تكون ثنائي القطب اللحظي في الجزيء فإنه يؤثر في الجزيئات المجاورة، وفي الاتجاهات جميعها، محدثاً فيها استقطاباً لحظياً، مما يؤدي إلى تجاذب لحظي بينها يسمى قوى لندن، ويُبيّن الشكل (٢ - ٢٢) تكون ثنائي قطب لحظي بين جزيئات H_2 .



الشكل (٢ - ٢٢): تكون ثنائي قطب لحظي في جزيء H_2 بالتأثير.

جدير بالذكر أن هذا الاستقطاب اللحظي لا يدوم؛ إذ تستمر الإلكترونات في حركتها ليتغير توزيع الكثافة الإلكترونية، ويُستقطب الجزيء لحظياً بوضع جديد، وُتُسْتَحِدَّ قطبية لحظية بالتأثير في جزيء آخر، وهكذا ليتوَّلَّ تجاذب بين الجزيئات. وهذا التجاذب بين الجزيئات أو الذرات قد يكون كافياً لإبقاء المادة في الحالة السائلة أو الصلبة.

ونتيجةً لضعف التجاذب بين ثنائيات الأقطاب اللحظية؛ فإن قوى لندن تُعَدُّ أضعف أنواع قوى التجاذب بين الجزيئات، وهي موجودة في جميع المواد في الطبيعة عندما تكون الدقائق متقاربة؛ سواءً أكانت قطبية أم غير قطبية، ولكنّها تكتسب أهمية خاصة في حالة الجزيئات غير القطبية (أو ذرات الغازات النبيلة)؛ لأنّها قوى التجاذب الوحيدة العاملة بينها.

وقد أثبتت العلماء وجود عوامل تزيد من مقدار هذه القوى نسبياً في بعض المواد. لتعرف هذه العوامل، نفذ النشاط (٢ - ٧).



نشاط (٢ - ٧): أثر الكتلة المولية وحجم الجزيئات في قوى لندن

ادرس الجدول الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

المادة	الكتلة المولية	درجة الغليان (°S)
Cl_2	٧١	٣٤,٧-
Br_2	١٦٠	٥٨
I_2	٢٥٤	١٨٣

- ما نوع قوى التجاذب بين الجزيئات في كل مادة من المواد الثلاث؟ وما حالتها الفيزيائية في الظروف العادية؟
- رتب الجزيئات السابقة حسب حجمها.
- كيف تتغير درجة غليان المواد بزيادة الكتلة المولية والحجم؟
- رتب المواد السابقة حسب تزايد قوى التجاذب بين جزيئاتها.
- ما أثر زيادة الكتلة المولية والحجم للجزيئات في قوى التجاذب بينها؟ فسر إجابتك.

يتبيّن من النشاط السابق أن درجة الغليان تزداد بازدياد الكتلة المولية للجزيئات؛ ذلك أن زيادة الكتلة المولية للجزيئات أو الذرات تعني زيادة في عدد الإلكترونات، وهذا يزيد من فرصة حدوث الاستقطاب اللحظي. أضف إلى ذلك أن زيادة الكتلة المولية تؤدي إلى زيادة حجم الذرات أو الجزيئات، وهو ما يزيد بعد الإلكترونات عن النواة، فيقل جذب النواة للإلكترونات، وهذا يعني سهولة عدم التناقض في توزيع الإلكترونات، وتكون ثنائي قطب لحظي في ما بعد، علماً بأن زيادة الحجم تزيد من مساحة سطح التماس بين الجزيئات، فتزيد القطبية اللحظية المستحدثة بين الجزيئات، وهو ما يزيد قوى لندن، فتزيد درجة الغليان.

سؤال

رتب المواد الآتية تبعاً لزيادة درجة غليانها:

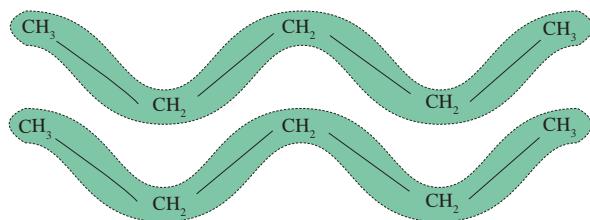
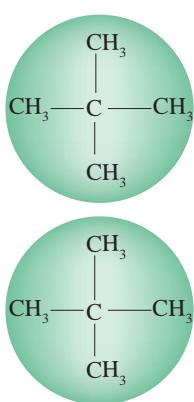
CH_3CH_3 , CH_4 , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$.

يُذَكَّرُ أَنْ شَكْلَ الْجَزِئَاتِ فِي الْفَرَاغِ يُؤثِّرُ فِي قَوْيِ لَندَنَ . وَلِتَعْرَفَ ذَلِكَ، ادْرِسِ الْجَدُولَ (٣-٢) .

الجدول (٣-٢): أثر شكل الجزيء في قوى لندن.

المركب (ب)	المركب (أ)	الخصيصة
C_5H_{12}	C_5H_{12}	الصيغة الجزيئية
$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3 - C - CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}$	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$	الصيغة البنائية
٧٢	٧٢	الكتلة المولية (غ/مول)
٩,٥	٣٦	درجة الغليان (°س)
غير قطبي	غير قطبي	قطبية الجزيء

يُبيّن الجدول أن درجة غليان المركب (أ) أعلى منها للمركب (ب) بالرغم من تساوي كتلتيهما المولية، ويعزى ذلك إلى الاختلاف في شكل الجزيء؛ إذ إن شكل الجزيء يحدّد مساحة سطحه الخارجي، الذي بزيادته تزداد القطبية المستحدثة بين الجزيئات، ويبدو ذلك واضحاً في العديد من المركبات العضوية، انظر الشكل (٢ - ٢٣)؛ فكلما زاد طول السلسلة الكربونية في المركب العضوي ازدادت نقاط التجاذب بين جزيئات المركب على طول السلسلة، فتزداد قوى لندن، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة غليانه.



الشكل (٢ - ٢٣): أثر شكل الجزيء في قوى لندن.

سؤال

رتب الجزيئات الآتية تبعاً لزيادة درجة غليانها:



٧ أسئلة الفصل

١ - ما نوع قوى التجاذب الرئيسية بين جزيئات أو ذرات كل من المواد الآتية إذا كانت في الحالة السائلة: I_2 , H_2S , Ar , NO , O_2 , $C_3H_7NH_2$, C_8H_{18} , C_2H_5OH

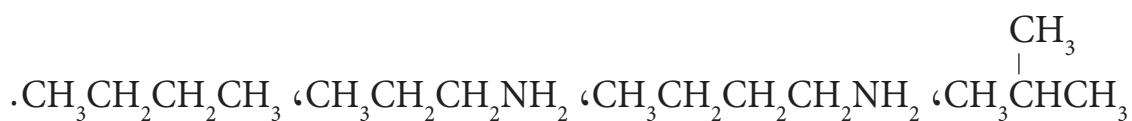
٢ - فسر ما يأتي:

أ) الرابطة $F - B$ قطبية، بينما الجزيء BF_3 غير قطبي.

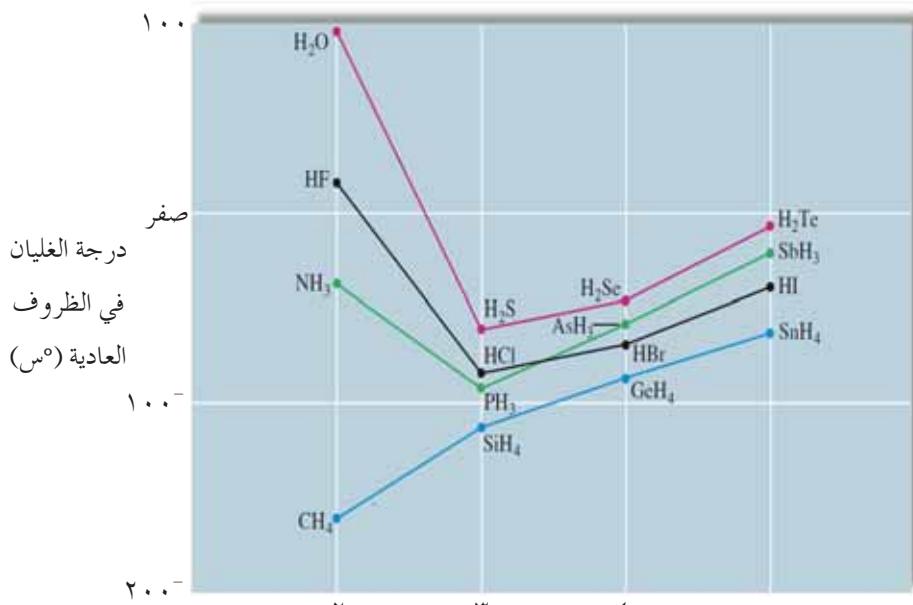
ب) درجة غليان المركب $HOCH_2CH_2OH$ أعلى من درجة غليان المركب $CH_3CH_2CH_2OH$ بالرغم من تقارب كتلتيهما المولية.

ج) الروابط بين جزيئات CH_3F ليست روابط هيدروجينية.

٣ - رتب الجزيئات الآتية تبعاً لزيادة درجة غليانها:



٤ - ادرس الشكل (٢ - ٢٤) الذي يمثل درجات غليان مركبات الهيدروجين مع عناصر المجموعات: الرابعة، الخامسة، والسادسة، والسابعة من الجدول الدوري، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



أرقام الدورات في الجدول الدوري.

الشكل (٢ - ٢٤): درجة غليان مركبات الهيدروجين مع عناصر المجموعات: الرابعة، الخامسة، والسادسة، والسابعة من الجدول الدوري.

أ) كيف تغير درجة الغليان بزيادة الكتلة المولية بوجه عام؟

ب) فسر :

(١) ارتفاع درجة غليان الماء مقارنةً بمركبات عناصر المجموعة السادسة.

(٢) ارتفاع درجة غليان المركب HF مقارنةً بمركبات عناصر المجموعة السابعة.

(٣) نقصان درجة غليان المركب CH_4 مقارنةً بعناصر المجموعة الرابعة.

الفصل الثالث

٣

حالات المادة

States of Matter

إذا نظرت إلى الماء من حولك وجدته في حالات فизيائية ثلاثة، هي: الغازية مثل بخار الماء، والسائلة مثل مياه الأنهار والبحيرات، والصلبة مثل الجليد، ولكنها جميعاً تمتلك الخصائص الكيميائية نفسها؛ لأن التركيب الكيميائي للماء هو H_2O في الحالات الثلاث، في حين نجد أن هذه الحالات تختلف في خصائصها الفيزيائية؛ فحجم عينة من الماء السائل ثابت، أمّا العينة نفسها إذا تحولت إلى بخار الماء فإنها تملأ الوعاء الذي توضع فيه، فما سبب هذا الاختلاف؟

وكيف توجد دقائق المادة في كل حالة؟ وكيف تتحول المادة من حالة إلى أخرى؟ ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل، ويُتوقع منك بعد ذلك أن:

■ تفسّر الاختلاف في الخصائص الفيزيائية بين حالات المادة الثلاث.

■ تجري حسابات مستخدِّماً قوانين الغازات المختلفة.

■ توضّح المقصود بالمفاهيم الآتية: التبخر، التكاثف، درجة الغليان، الضغط البخاري.

■ تتعرّف العوامل التي تؤثّر في خصائص المادة في الحالة السائلة.

■ تتعرّف خصائص المادة في الحالة الصلبة.



تمتاز المادة في الحالة الغازية بأن قوى التجاذب بين دقائقها تكاد تكون معدومة، مما يجعل المسافات بين دقائقها كبيرة جدًا، وهذا يساعدها على أن تنتقل مسافات كبيرة قبل أن تصطدم بجزئيات أخرى تُعوق انتشارها، وعند تعرضها لضغط معين فإن جزيئاتها تقترب من بعضها، مما يؤدي إلى نقصان حجم الحيز الذي تشغله، وهذا يعني أن المادة الغازية تكون قابلة للانضغاط والتمدد.

الكيمياء في حياتنا

من التطبيقات الحياتية المألوفة على سرعة انتشار الغازات إضافةً نسب بسيطة من مركبات الشيول ذات الرائحة النفاذة إلى الغاز المستخدم في المنازل؛ لأن غازي البروبان والبيوتان (المُكوّنان الرئيسان لغاز الطبخ) عديماً الرائحة، ويصعب الإحساس بتسربهما؛ لذا فإن إضافة كميات قليلة من مادة الشيول إلى الغاز المنزلي يساعد على الكشف عن أي تسرب له، وتجنب مخاطره.

يمكن القول إن الغازات تسلك سلوكاً متتشابهاً، وتختضع للقوانين نفسها التي تصف سلوك المادة في الحالة الغازية، والتي تُعرف بقوانين الغازات، وقد توصل إلى هذه القوانين من خلال نتائج تجارب عملية قام بها عدد من العلماء؛ إذ درسوا العلاقة بين متغيرات عدّة تصف سلوك الغاز المحصور، مركّزين على العلاقة بين ضغط الغاز (P)، وحجمه (V)، ودرجة حرارته المطلقة (T)، وهذه القوانين هي:

١ - قانون بوويل Boyle's Law

درس العالم بوويل العلاقة بين ضغط الغاز المحصور وحجمه عند درجة حرارة ثابتة، فتوصل إلى أن: «حجم الغاز المحصور يتاسب عكسياً مع الضغط الواقع عليه، عند ثبوت درجة الحرارة»، وقد سُمي ذلك قانون بوويل للغازات، وهو يصاغ رياضياً على النحو الآتي:

$$P \propto \frac{1}{V} \quad (\text{عند ثبوت درجة الحرارة}).$$

ويمكن تحويل التناوب إلى العلاقة الرياضية الآتية:

$$P = \frac{\text{ثابت}}{V}$$

أي إن: $P \times V = \text{ثابت}$

وبناءً عليه، يمكن استنتاج أن: $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$.

مثال (١)



عينة غاز حجمها ٣٦ لترًا، وضغطها ١ ض.ج. احسب حجم العينة إذا أصبح ضغطها ٢ ض.ج في درجة الحرارة نفسها.

الحل

$$H_1 = 36 \text{ لترًا} \quad P_1 = 1 \text{ ض.ج}$$

$$H_2 = ? \quad P_2 = 2 \text{ ض.ج}$$

$$H_1 \times P_1 = H_2 \times P_2$$

$$H_2 = \frac{H_1 \times P_1}{P_2}$$

$$H_2 = \frac{1 \times 36}{2} = 18 \text{ لترًا.}$$

سؤال

عينة من غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 حجمها ١,٥٣ لتر عند ضغط ٥,٦ ض.ج.

إذا تغير الضغط إلى ١,٥ ض.ج، فكم يصبح حجم الغاز عند درجة الحرارة نفسها؟

٢ – قانون شارل Charl's Law

وجد العالم شارل أن حجم الغاز يزداد عند رفع درجة حرارته مع ثبوت الضغط، وقد صاغ شارل هذه العلاقة في قانون ينص على الآتي: «يتناصف حجم كمية ثابتة من الغاز تناصفيًا مع درجة الحرارة المطلقة عند ثبوت الضغط».

ويُعبر عن ذلك رياضيًّا على النحو الآتي:

$H \propto T$ (عند ثبوت الضغط).

ويمكن تحويل التناصف إلى العلاقة الرياضية الآتية:

$$H = \text{ثابت} \times T$$

$$\frac{H}{T} = \text{ثابت، حيث:}$$

ط هي درجة الحرارة المطلقة = درجة الحرارة + 273 ، وتقاس بوحدة كلفن (ك)، ومنها:

$$\frac{H_2}{T_2} = \frac{H_1}{T_1}$$

٣ - قانون غاي - لوساك Gay- Lussac's Law

توصل غاي - لوساك إلى وجود علاقة تناسب طردي بين ضغط كمية ثابتة من الغاز ودرجة الحرارة المطلقة عند ثبوت الحجم. ويعبر عن هذه العلاقة رياضياً على النحو الآتي:

ض \propto ط (عند ثبوت الحجم).

$$\text{ض} = \text{ثابت} \times \text{ط}$$

$$\frac{\text{ض}}{\text{ط}} = \text{ثابت،}$$

$$\text{أو: } \frac{\text{ض}_2}{\text{ط}_2} = \frac{\text{ض}_1}{\text{ط}_1}$$

تذكرة

$$1 \text{ ض. ج.} = 760 \text{ مم زئبق.}$$

$$1 \text{ ض. ج.} = 101,325 \text{ باسكال.}$$

سؤال

◀ عينة غاز تشغل حجماً مقداره ٢,٥٨ لتر عند ٢٥°C، و ١ ض. ج، فكم يصبح حجم العينة عند درجة حرارة ٣٨°C، وضغط ١ ض. ج؟

٤ - القانون الجامع للغازات Combined Gas Law

تعرفت من خلال دراستك القوانين السابقة إلى أن حجم عينة من الغاز المحصور (ح) يتتناسب عكسياً مع ضغطه (ض)، وطردياً مع درجة حرارته المطلقة (ط). ويمكن الربط بين المتغيرات الثلاثة (حجم الغاز، وضغطه، ودرجة الحرارة المطلقة) التي تصف سلوك الغاز بقانون يُسمى القانون الجامع للغازات.

ويتمكن التعبير عنه رياضياً على النحو الآتي:

$$\frac{ح_1 \times ض_1}{ط_1} = \frac{ح_2 \times ض_2}{ط_2}$$

مثال (٢)



عَيْنَةٌ مِنْ غَازِ الْهَيْلِيُومُ ضَغْطُهَا يَسَاوِي ٢ ضَ.جَ، وَحُجمُهَا ٥٠٠ مَلٍ فِي درجة حرارة ٢٧°س. كم يصبح حجم العينة عند درجة حرارة (-٧°س)، و ١ ض. ج؟

الحل

$$\begin{aligned} \text{ح}_1 &= 500 \text{ مل ، ض}_1 = 2 \text{ ض.ج} \\ \text{ط}_1 &= 27^{\circ}\text{س} + 273 = 300 \text{ ك.} \\ \text{ح}_2 &=? \quad \text{ض}_2 = 1 \text{ ض.ج} \\ \text{ط}_2 &= 7^{\circ}\text{س} + 273 = 266 \text{ ك.} \end{aligned}$$

بِتَطْبِيقِ الْقَانُونِ الْجَامِعِ لِلْغَازَاتِ، يَتَبَيَّنُ أَنَّ:

$$\frac{\text{ح}_1 \times \text{ض}_1}{\text{ط}_1} = \frac{\text{ح}_2 \times \text{ض}_2}{\text{ط}_2}$$

$$\frac{1 \times 2 \times 500}{266} = \frac{2 \times 500}{300}$$

$$\text{ح}_2 = 887 \text{ مل.}$$

سؤال

عَيْنَةٌ مِنْ غَازِ الْهَيْدِرُوجِينِ المُحَصَّرُ فِي وَعَاءٍ حَجمُهُ ٣٠٠ مَلٍ، ضَغْطُهَا يَسَاوِي ٨٢,٥ مَمٍ زَئِيقٌ فِي درجة حرارة ٢٥°س. كم يصبح ضغط العينة إذا وُضِعَتْ فِي وَعَاءٍ حَجمُهُ ٥٠٠ مَلٍ فِي درجة الحرارة نفسها؟

٥ – قانون أفوغادرو Avogadro's Law

فِي الْقَوَانِينِ السَّابِقَةِ كَانَتْ كَمِيَّةُ الغَازِ فِي العَيْنَةِ ثَابِتَةً، فَمَاذَا يَحْدُثُ لَوْ تَعْيَّرَتْ كَمِيَّةُ الغَازِ فِي العَيْنَةِ؟ دَرَسَ الْعَالَمُ أَفُوْغَادِرُوَ الْعَالَقَةَ بَيْنَ حَجَومِ مُخْتَلِفَةِ مِنِ الْغَازَاتِ وَكَمِيَّةِ الغَازِ فِي العَيْنَةِ، فَتَوَصَّلَ إِلَى أَنَّ الْحَجَومَ الْمُتَسَاوِيَّةَ مِنْ غَازَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ تَحْوِي عَدْدَ الدَّقَائِقِ نَفْسَهُ (جُزِيَّاتٍ، أَوْ ذَرَاتٍ مُنْفَصَلَةٍ) فِي الظَّرُوفِ نَفْسَهَا مِنَ الضَّغْطِ وَدَرْجَةِ الْحَرَارَةِ، وَقَدْ وُجِدَ أَنَّ حَجَمَ مَوْلٍ وَاحِدٍ مِنْ أَيِّ غَازٍ فِي الظَّرُوفِ الْمُعيَارِيَّةِ (١ ض. ج، و ٢٧٣ ك) يَسَاوِي ٤,٢٢ لَتَرًا، وَتُدْعَى هَذِهِ الْكَمِيَّةُ الْحَجَمُ الْمُولِيُّ لِلْغَازِ.

يمكن التعبير عن قانون أفوغادرو رياضيًّا على النحو الآتي:

$$\frac{H_1}{U_1} = \frac{H_2}{U_2}, \text{ حيث:}$$

U_1 : عدد المولات في العيّنة الغازية الأولى.

U_2 : عدد المولات في العيّنة الغازية الثانية.

وهذا يعني أنه إذا تضاعفت كمية الغاز فإن حجمه يتضاعف.

ومنه يمكن التوصل إلى قانون عام للغازات يُسمى قانون الغازات العام الذي يمكن اشتقاقه على النحو الآتي:

$$H \propto U$$

$$H \propto \frac{1}{P}$$

$$H \propto T$$

$$H \propto \frac{T}{P}$$

$$\text{أي إن: } H = \text{ثابت} \times \frac{U}{P}$$

$$\text{ومنها: } H = \frac{R \times U}{P}$$

وبإعادة ترتيب المعادلة تصبح:

$$H = \frac{U}{P} \times R, \text{ حيث:}$$

(ر): ثابت النسب، ويُسمى ثابت الغازات العام.

وتُسمى العلاقة: $H = \frac{U}{P} \times R$ قانون الغازات العام.

سؤال

احسب قيمة الثابت (ر) ووحدة قياسه في الظروف المعيارية.

تجدر الإشارة إلى أن الغاز الذي يحقق هذه المعادلة في الظروف جميعها يُعرف بالغاز المثالى، ولذلك أطلق على قانون الغازات العام اسم قانون الغاز المثالى (Ideal Gas Law).

والغاز المثالي هو غاز افتراضي لا وجود له في الواقع، غير أنه يحقق قوانين الغازات في الظروف جميعها، ويكون مقاربًا لسلوك الغازات الحقيقية عند ضغط منخفض (أقل من ١ ض.ج)، ولذلك نفترض أن الغازات الحقيقية تسلك سلوك الغاز المثالي عند حل المسائل المتعلقة بالغازات.

٢ مثال (٣)

عِيَّنة من غاز الهيدروجين H_2 تشغّل حِيزاً مقداره ٨,٥٦ لترات في درجة حرارة صفر °س، وضغط ١,٥ ض.ج. احسب عدد مولات غاز الهيدروجين التي توجد في العينة (افرض أن الغاز مثالي).

الحل

$$R = ٠,٠٨٢٠٦ \text{ لتر.ض.ج/مول.ك} , \text{ درجة الحرارة المطلقة} = ٠ + ٢٧٣ = ٢٧٣ \text{ ك.}$$

$$\text{ن.ض} = \frac{\text{ن.طر}}{\text{طر}}$$

$$\text{ومنها: } \text{ن.ع} = \frac{\text{ن.ض}}{\text{طر}}$$

$$= \frac{٨,٥٦ \times ١,٥}{٠,٠٨٢٠٦ \times ٢٧٣} = ٠,٥٧ \text{ مول.}$$

سؤال

◀ تفاعل كيميائي أنتج ٥ مل من غاز الهيدروجين H_2 عند ضغط ٣٨٠ مم زئبق، و ٢٧ °س،
فما عدد مولات الغاز الناتج؟ وما كتلته؟

G

نظريّة الحركة الجزيئيّة

ثانياً

القوانين السابقة للغازات تصف سلوك الغاز في الظروف المختلفة من الضغط والحجم ودرجة الحرارة وكمية الغاز، لكنّها لا تفسّر لنا أسباب سلوك الغازات هذا السلوك وفق هذه القوانين؛ لذا أخذ العلماء يبحثون عن نظرية شاملة يمكن الاعتماد عليها لفهم سلوك الغازات في

الظروف المختلفة، فوضعوا نظرية لهذا الغرض سُمّيت نظرية الحركة الجزئية.
يمكن تلخيص افتراضات هذه النظرية في ما يأتي:

- ١ - الغازات جميعها تتكون من دقائق صغيرة جدًا تحرك حركة عشوائية مستمرة، مما يؤدي إلى اصطدام بعضها البعض، وبجدران الوعاء الذي توضع فيه، وهذا يسبب ضغط الغاز.
 - ٢ - معظم حجم الغاز فراغ؛ أي إن الحجم الذي تشغله دقائق الغاز صغير جدًا مقارنةً بحجم الحيز المحصور فيه، ولا توجد قوى تجاذب أو تنازع بين دقائق الغاز، مما يجعلها تتحرك بحرية في الحيز الذي توجد فيه.
 - ٣ - تصادمات الدقائق بعضها البعض أو بجدار الوعاء هي تصادمات مرنة؛ فقد تكتسب إحدى دقائق الغاز طاقة أو تفقدها نتيجة الاصطدام، ولكن يبقى مجموع الطاقة الحركية للدقائق ثابتاً.
 - ٤ - متوسط الطاقة الحركية لجزيئات الغاز يتاسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة.
- من الواضح أن نظرية الحركة الجزئية يمكنها تفسير القوانين المختلفة للغازات؛ فمثلاً، عندما يقل حجم الغاز تقل المسافة بين جدران الوعاء، وبما أن متوسط سرعة الجزيئات ثابت عند ثبوت درجة الحرارة، فإن عدد التصادمات بالجدران يزداد، فيزداد ضغط الغاز.



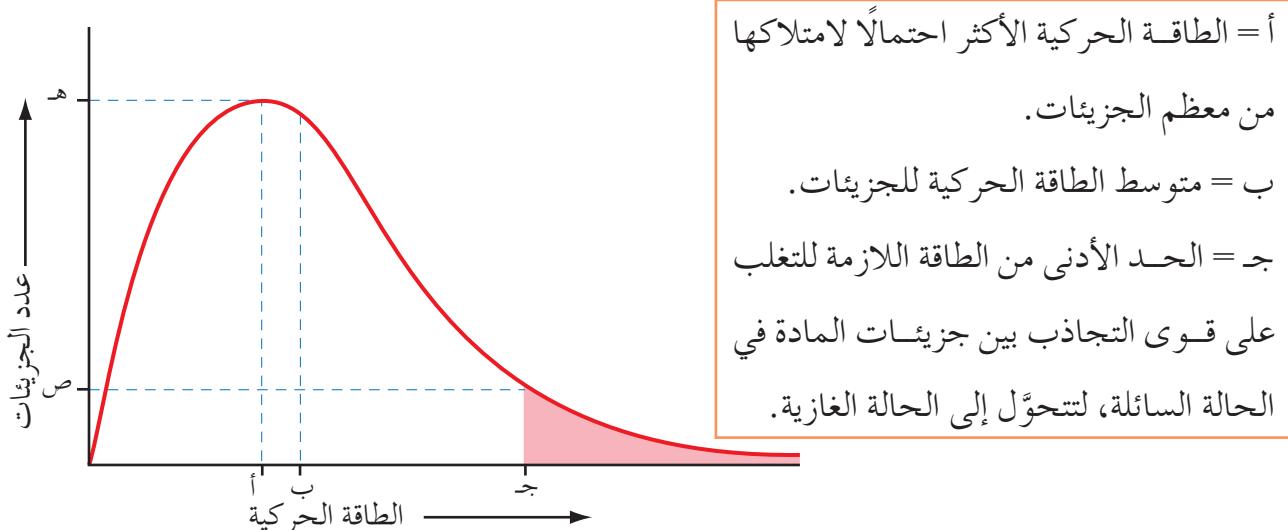
◀ فسر قوانين الغازات وصفياً استناداً إلى افتراضات نظرية الحركة الجزئية.

ثالث

الحالة السائلة

كيف تكون المسافة بين دقائق المادة في الحالة السائلة مقارنةً بالحالة الغازية؟ وكيف تؤثر قوى التجاذب في خصائص المادة في الحالة السائلة؟ تكون جزيئات المادة السائلة في حالة حركة دائمة وعشواء، وترتبط فيما بينها قوى تجاذب كافية لجعلها قريبة من بعضها بعضًا مقارنةً بالحالة الغازية، وهو ما يُعرضها لعدد كبير من التصادمات التي تساهم في تقليل حركتها، وتُعوق انتشارها، فضلاً عن أن المادة في حالتها السائلة تكون غير قابلة للانضغاط، ولكن هذه القوى لا تحدُ من قدرة السائل على الجريان، فتتخد المادة في الحالة السائلة شكل الوعاء الذي توضع فيه، ويبقى حجمها ثابتاً، وهذه أهم خصائص المادة في الحالة السائلة التي تتأثر بقوى التجاذب:

كيف تتبخر مياه البحار والمحيطات بالرغم من أن درجة حرارتها لا تصل إلى درجة غليان الماء؟ ومتى يتbx السائل؟ وهل يحدث التبخر في درجة حرارة معينة؟
لتتعرّف ذلك، ادرس الشكل (٢٥) الذي يُمثل منحنى ماكسويل - بولتزمان لتوزُّع الطاقة الحرَّكية لجزيئات السائل، ثم أجب عما يليه من أسئلة.



الشكل (٢٥): منحنى ماكسويل - بولتزمان لتوزُّع الطاقة الحرَّكية لجزيئات السائل في درجة حرارة معينة.

• ماذا تمثل المساحة المظللة في الشكل؟

• ما الشروط التي يجب توافرها في الجزيئات لكي تتبخر؟

تكون جزيئات السائل في حالة حركة دائمة وعشوائية، مما يتسبّب في تصادمات مرنة بينها. ونتيجةً لهذه التصادمات؛ فإن بعض الجزيئات تفقد جزءاً من طاقتها، في حين يكتسب بعضها الآخر هذه الطاقة، بحيث تصبح طاقتها الحرَّكية كافية للتغلب على قوى التجاذب مع الجزيئات الأخرى المحيطة بها في السائل، فتتمكن من الإفلات من سطح السائل (أي تتبخر)، وهذا يعني أن التبخر يحدث في أي درجة حرارة؛ نظراً إلى وجود جزيئات تمتلك طاقة حرَّكية كافية للتغلب على قوى التجاذب مع الجزيئات الأخرى.

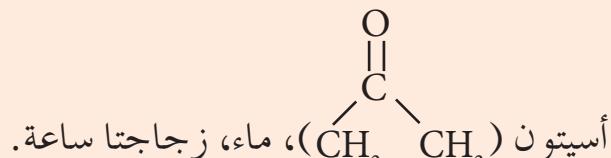
ولكن، هل تتفاوت السوائل في سرعة تبخرها عند درجة الحرارة نفسها؟

للإجابة عن هذا السؤال، نفذ النشاط (٢-٨).



نشاط (٢ - ٨): الاختلاف في معدل سرعة تبخر السوائل

المواد والأدوات المطلوبة



الخطوات

- ١ - ضع ٥ مل من كلٌّ من الأسيتون والماء في زجاجة ساعة مستقلة.
- ٢ - اترك الزجاجتين جانباً مدة خمس دقائق، ملاحظاً كمية السائل المتبقية في كلٌّ منها.
 - أي السائلين كان عدد الجزيئات المتبخرة منه أكبر؟
 - أي السائلين كان تبخره أسرع؟
 - ما نوع قوى التجاذب لكلٌّ من السائلين السابقين؟
 - ماذا تستنتج؟

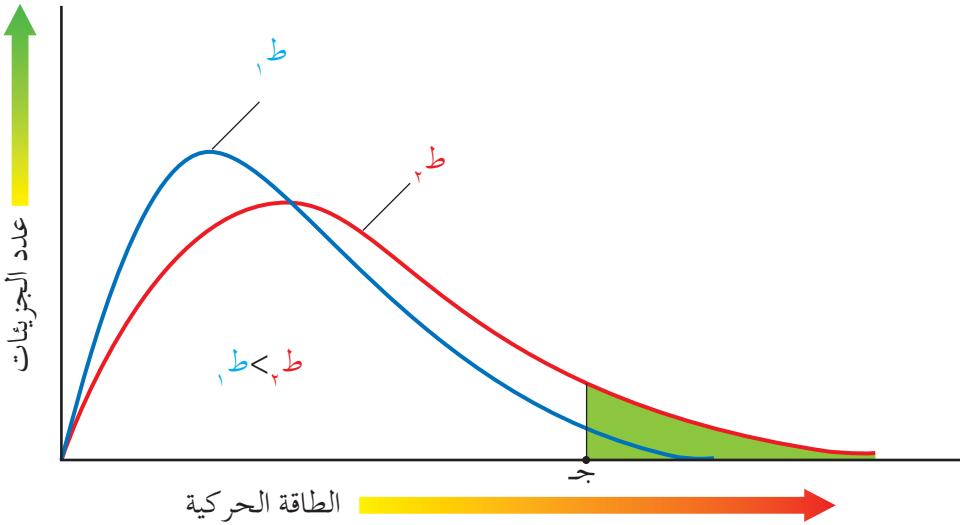
يتضح من النشاط السابق أن معدل سرعة تبخر السوائل يختلف باختلاف نوع قوى التجاذب بين جزيئات السائل عند ثبوت درجة الحرارة؛ فقوى التجاذب بين جزيئات الأسيتون أضعف منها للماء؛ وهذا يجعل الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لتبخرها أقل، ولذلك كان التبخر أسرع. أمّا بخصوص جزيئات الماء فإن قوى التجاذب بينها أكبر، وهذا يعني أن الطاقة اللازمة للتغلب على هذه القوى أكبر؛ لذا فإن سرعة تبخر الماء أقل. هل تستطيع التوصل إلى العلاقة بين الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لتبخر وقوى التجاذب؟

سؤال

◀ رتب المواد الآتية تصاعدياً تبعاً لمعدل سرعة تبخرها:



والآن، هل تؤثر درجة الحرارة في معدل سرعة تبخر السوائل؟
لتتعرف بذلك، ادرس الشكل (٢ - ٢٦)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل (٢ - ٢٦): توزُّع الطاقة الحركية على جزيئات مادة سائلة في درجتي حرارة مختلفتين.

- علام تدل النقطة ج على المنحنى في الشكل؟
 - عند أي درجة حرارة (T_1 ، أو T_2) تكون نسبة عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة كافية للت BX أك بـ؟
 - عند أي درجة حرارة (T_1 ، أو T_2) يكون معدل الت BX أك بـ؟
- يتبين من الشكل السابق أن معدل سرعة BX السائل يزداد بازدياد درجة الحرارة؛ فزيادة درجة حرارة السائل تزيد الطاقة الحركية للجزيئات، وهذا يزيد عدد التصادمات بينها، وبذلك يزداد عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة كافية للت BX، ويزداد معدل الت BX، «وتسمى الطاقة اللازمة لتحويل مول واحد من جزيئات المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، في درجة الحرارة نفسها، طاقة الت BX المولية».

٢ - التكافـف

تُمثل المعادلة الآتية تحـول مول واحد من الماء في الحالة السائلة إلى مول واحد من بخار الماء في الحالة الغازية. ادرسها، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:



- اكتب معادلة تُمثل تحـول الماء من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة. ماذا تسمـي هذا التـحـول؟
- هل تـعد عملية التـحـول مـاصـة لـلـطاـقة أم طـارـدة لـهـا؟
- ما مـقـدـار فـرقـ الطـاقـة المـرـافـق لـهـذـه الـعـمـلـيـة؟

تُسمى عملية تحول المادة من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة عملية التكاثف، وهي تحتاج إلى خفض الطاقة الحركية لجزيئات الغاز بالتبريد وتقرير بعضها من بعض بزيادة الضغط ليصبح في الحالة السائلة، مما يؤدي إلى انبعاث طاقة تُسمى طاقة التكاثف المولية، وهي تساوي طاقة التبخر المولية للسائل في المقدار، ولكنها تختلف في الإشارة. وبالرجوع إلى معادلة تبخر الماء، فإن مولًا واحدًا من بخار الماء يبعث طاقة مقدارها ٤٠،١ كيلوجول عند تحوله إلى الحالة السائلة.

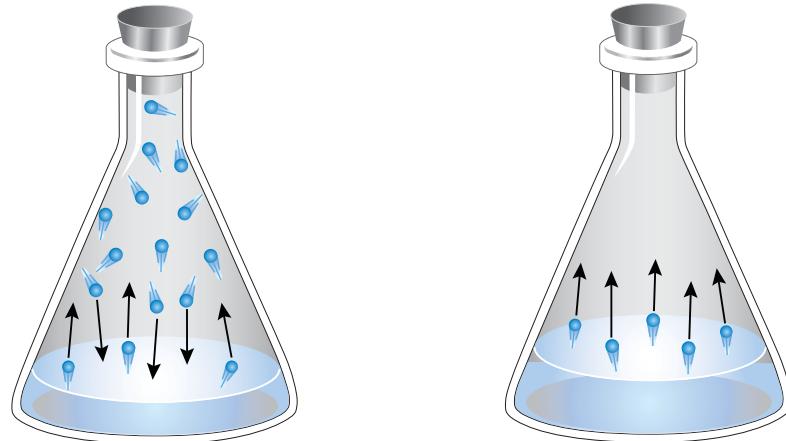
سؤال

- ◀ ما الشرطان الواجب توافرهما لحدوث التكاثف؟
- ◀ لماذا تكون الحروق الناتجة من بخار الماء في درجة حرارة ٠٠ ١° أشد من تلك الناتجة من الماء الساخن في درجة حرارة ٠٠ ٠°؟

٣ – الضغط البخاري

عرفت سابقاً أنه إذا وضع سائل في وعاء مكشوف فإنه يتبخر باستمرار. ولكن، ماذا يحدث لو وضعنا السائل نفسه في وعاء مغلق؟

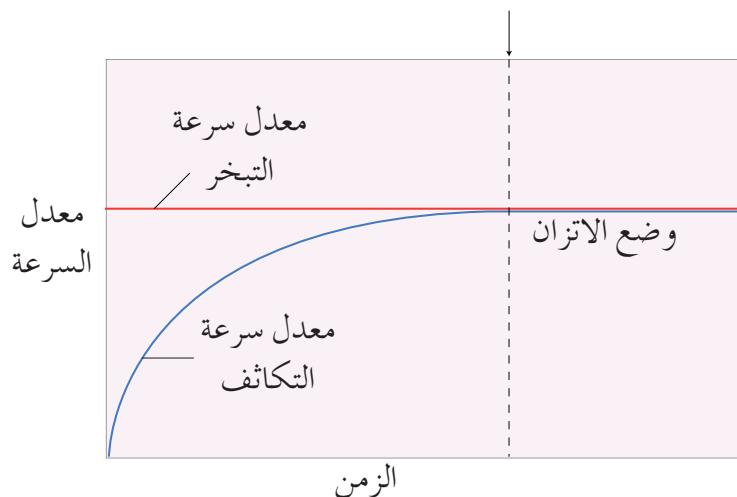
عند وضع سائل في وعاء مغلق فإن كمية السائل تبدأ بالتناقص بسبب تحول بعض الجزيئات من الحالة السائلة إلى بخار، انظر الشكل (٢ - ٢٧/أ)، وتحدث عملية التبخر هذه بمعدل ثابت عند درجة حرارة محددة. ونتيجةً لتصادم جزيئات البخار بجدار الوعاء المغلق؛ فإنها تفقد جزءاً من طاقتها، وتحوّل إلى الحالة السائلة مرة أخرى؛ أي تتكاثف كما في الشكل (٢ - ٢/ب)، ويزداد معدل سرعة التكاثف تدريجياً مع مرور الزمن، إلى أن يصبح معدل سرعة التبخر مساوياً لمعدل سرعة التكاثف، عندئذ، يثبت عدد الجزيئات المتتبخرة، وعدد الجزيئات المتكتاثفة في وحدة الزمن، انظر الشكل (٢ - ٢٨)، وهذا يعني وجود حالة اتزان بين جزيئات السائل وبخاره، ويُسمى الضغط الناتج من جزيئات بخار السائل عند الاتزان الضغط البخاري للسائل.



عملية التبخر والتكافث للجزيئات
حتى تصل إلى حالة الاتزان.
(ب)

عملية التبخر لبعض
جزيئات السائل.
(أ)

الشكل (٢ - ٢٧): سلوك سائل في وعاء مغلق.

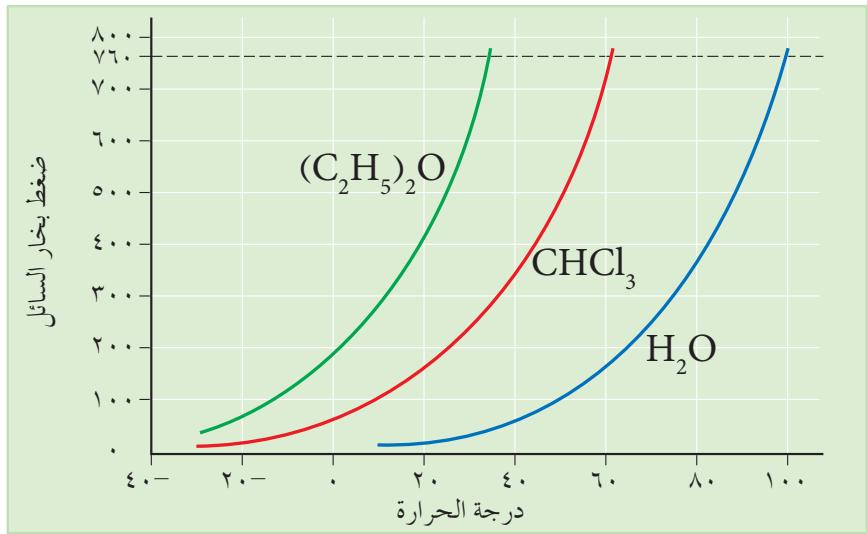


الشكل (٢ - ٢٨): معدل سرعة التبخر والتكافث مع مرور
الزمن لسائل ما في درجة حرارة معينة.

قضية للبحث

هل تؤثر كمية السائل أو حجم الإناء في مقدار الضغط البخاري للسائل عند أي درجة للحرارة؟
ابحث في الشبكة المعرفية، مستعيناً بالكلمتين المفتاحيتين الآتيتين: الضغط البخاري، ضغط
بخار السائل.

لتتعرف على العوامل التي يعتمد عليها الضغط البخاري لسائل ما، لاحظ المنحنيات في الشكل
(٢ - ٢٩)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



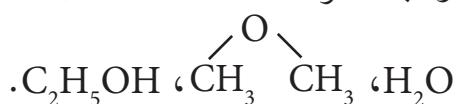
الشكل (٢٩-٢): أثر زيادة درجة الحرارة في الضغط البخاري لعدد من السوائل.

- رتب المواد الوارد ذكرها في الشكل (٢٩-٢) تصاعدياً حسب قوى التجاذب بين جزيئاتها.
- ما مقدار الضغط البخاري لكُلٌ من السوائل الثلاثة في درجة حرارة 20°S ؟
- ما علاقة الضغط البخاري للسائل بقوى التجاذب بين جزيئاته في درجة حرارة معينة؟
- أيهما أعلى: الضغط البخاري للماء في درجة حرارة 40°S أم الضغط البخاري للماء في درجة حرارة 60°S ? هل ينطبق ذلك على السائلين الآخرين؟
- ما العلاقة بين درجة حرارة السائل وضغطه البخاري؟

من الواضح أن قوى التجاذب بين جزيئات H_2O هي الأعلى من بين السوائل السابقة يليها CHCl_3 ثم $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ ، وأن الضغط البخاري للماء يكون الأقل بين هذه السوائل بسبب قوى التجاذب الهيدروجيني بين جزيئاته وعليه، فإن الضغط البخاري للسائل يقل بزيادة قوى التجاذب بين جزيئات السائل في درجة الحرارة نفسها، وأنه يزداد للسوائل جميعها بزيادة درجة الحرارة.

سؤال

رتب المواد الآتية تصاعدياً تبعاً لضغطها البخاري في درجة حرارة معينة:



٤ – درجة الغليان

ادرس الظاهرتين الآتتين، محاولاً إيجاد تفسير مناسب لها:

- أ – ينضج الطعام في أواني الضغط بسرعة أكبر منها في الأواني العادية.
- ب – تكون درجة غليان الماء في الأغوار أعلى منها في عمان.

عرفت أن التبخر يحدث في أي درجة حرارة، ومن سطح السائل، فهل يختلف التبخر عن الغليان؟ يحدث الغليان عندما تبخر جزيئات السائل من أجزاء السائل جميعها، وليس من سطحه فقط؛ فنحن نشاهد فوائض كثيرة من البخار تصعد إلى السطح من مختلف أجزاء السائل عند غليانه، وهذا يعني أن للبخار في الفوائض ضغطاً يساوي الضغط الجوي الواقع على سطح السائل، ولو كان أقل من ذلك لانفجرت الفوائض قبل أن تصعد إلى السطح.

تُسمى درجة الحرارة التي يتتساوى فيها الضغط البخاري للسائل مع الضغط الواقع على سطح السائل درجة غليان السائل، وهي تختلف باختلاف الضغط الواقع على سطح السائل؛ إذ يمكن غلي الماء في أي درجة حرارة نريدها إذا جعلنا الضغط المؤثر في سطحه مساوياً لضغطه البخاري عند تلك الدرجة. يذكر أن درجة غليان السائل عند ضغط ١ ض. ج و ٧٦٠ مم زئبق تُسمى درجة الغليان العادي (Normal Boiling Point) لذلك السائل، وأن لكل سائل درجة غليان تُميّزه عن غيره من السوائل.

سؤال

- أجب عن السؤالين الآتيين مستعيناً بالشكل (٢٩ - ٢):
- ما درجة الغليان العادي لكل سائل من السوائل المذكورة في الشكل؟
- كيف يمكن جعل الماء يغلي في درجة حرارة ٦٠ °س؟

رابعاً

الحالة الصلبة

ما خصائص المادة في الحالة الصلبة؟ وما الذي يُميّزها عن المادة في الحالتين: السائلة، والغازية؟

عند تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة فإن قوى التجاذب بين دقائقها تصبح كبيرةً جداً، مما يجعل الطاقة الحرارية لدقائقها تنخفض، فتقرب الدقائق بعضها من بعض، وهذا يجعل الدقائق المكونة للمادة في الحالة الصلبة ثابتة في أماكن محددة، وعندئذ، تترتب الوحدات الأساسية للمادة في حالتها الصلبة في أشكال هندسية منتظمة تُسمى بلورات، وتُسمى المادة في هذه الحالة المادة الصلبة البلورية، علماً بأن المادة في الحالة الصلبة قد توجد على صورة مادة صلبة غير بلورية مثل الزجاج.

المواد متغيرة الانسيابية (Thixotropic Materials)

يرتبط التغير في الحالة الفيزيائية للمادة غالباً بتغيير درجة الحرارة، وعلى الرغم من ذلك فإن التغير في الحالة الفيزيائية يمكن أن يتأثر بعوامل أخرى. فالمواد متغيرة الانسيابية (Thixotropic Materials) هي مواد شبه صلبة تتحول إلى حالة السائلة عندما تتعرض لقوة تسمى القص الجانبية (shering force)؛ فعلى سبيل المثال تُعد معظم الدهانات مواد متغيرة الانسيابية؛ إذ تصبح رقيقة عندما تُدَهَن على السطح أو الجدار، ويزداد سُمْكها عندما توقف الفرشاة، فتحول دون انسياط الدهان على السطح أو الجدار. ومن الأمثلة أيضاً على المواد متغيرة الانسيابية معجون الأسنان، وجel الشعر، وخلط النشا والماء.



٧ أسئلة الفصل

- ١ - وضح المقصود بالمفاهيم الآتية:
- طاقة التبخر المولية، الضغط البخاري، درجة الغليان العادية، طاقة التكافف المولية.
- ٢ - فسر قانون بويل للغازات اعتماداً على نظرية الحركة الجزيئية.
- ٣ - تشغّل عينة غاز حجماً مقداره ١,٥ لتر في 27°S ، وضغط ١ ض.ج. احسب حجم العينة في درجة حرارة 100°S ، و ٢ ض.ج.
- ٤ - ما الحجم الذي تشغله عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون، كتلتها ٤,٤ غ في الظروف المعيارية؟
- ٥ - عينة من غاز النيتروجين N_2 تشغّل حيزاً مقداره ١,٧٥ لتر في الظروف المعيارية. كم عدد مولات غاز النيتروجين في العينة؟
- ٦ - رتب السوائل الآتية: CH_3Cl ، CH_3CH_3 ، $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ترتيباً تصاعدياً وفق:
- قيمة ضغطها البخاري.
 - سرعة تبخرها.
 - درجة غليانها العادية.
- ٧ - يُبيّن الجدول الآتي الضغط البخاري لمادتين افتراضيتين (A، وB) في درجات حرارة مختلفة. ادرسه، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

٨٠	٦٠	٤٥	٢٠	درجة الحرارة ($^{\circ}\text{S}$)
٧٦٠	٥٢٠	٣٢٠	١١٥	الضغط البخاري للمادة A (مم زئق)
١١٠٠	٧٦٠	٥٦٠	٤١٠	الضغط البخاري للمادة B (مم زئق)

- أي المادتين تربط وحداتها الأساسية بقوى تجاذب أقوى؟
- كيف تجعل المادة B تغلي في درجة حرارة 45°S ؟
- ما درجة الغليان العادية للمادة A؟

أسئلة الوحدة

١ - اختر الإجابة الصحيحة لـ كلٌّ ممّا يأتي:

(١) إذا علمت أن العدد الذري للعنصر $A = 7$ فإن الروابط التي يكوّنها A_2 في الجزيء هي من النوع:

- د) 1σ و 2π ج) 3σ ب) 3π أ) 1π و 2σ

(٢) تكون الرابطة $H-B$ في جزيء BH_3 من تداخل الأفلاك:

- د) $sp^3 - s$ ج) $p - s$ ب) $sp^2 - s$ أ) $p - p$

(٣) المادة التي ترتبط جزيئاتها في الحالة السائلة بقوى لندن فقط هي:

- د) HF ج) NH_3 ب) CH_4 أ) H_2O

(٤) الشكل البنائي المرتبط بالتهجين sp هو:

- ب) منحنٍ أ) هرمي ثلاثي
د) رباعي الأوجه منتظم ج) خطٍ

(٥) إحدى الآتية غير صحيحة فيما يتعلق بالأفلاك الهرجينة:

- أ) التمايل في الاتجاه الفراغي ب) التمايل في الشكل
د) التمايل في الطاقة ج) التمايل في السعة

(٦) أي الجزيئات الآتية غير قطبٍ:

- د) PCl_3 ج) H_2S ب) BCl_3 أ) CH_3F

(٧) كمية من الغاز حجمها لتر واحد، إذا تضاعف كلٌّ من درجة الحرارة المطلقة وضغطها

٣ مرات فإن حجمها الجديد باللتر هو:

- د) ٩ ج) ٣ ب) $\frac{1}{3}$ أ) ١

(٨) إذا علمت أن مقدار الزاوية $F-P-F$ في الجزيء PF_3 هو 104° فإن الأفلاك المكوّنة

للرابطة $F-P$ هي:

- د) $p - p$ ج) $sp^3 - sp^3$ ب) $sp^3 - p$ أ) $sp^3 - s$

(٩) أي الحالات الآتية يغلي فيها سائل:

أ) ضغطه البخاري = ٧٦٠ مم زئبق.

ب) ضغطه البخاري ك الضغط الخارجي الواقع على سطحه.

ج) درجة حرارته = ٢٧٣ درجة مطلقة.

د) درجة حرارته > درجة حرارة الغرفة.

(١٠) ترتيب الجزيئات: HF ، HCl ، CH₄ ، H₂O حسب تناقص قوى التجاذب بين

جزيئاتها في الحالة السائلة هو:

ب) CH₄<HF<H₂O<HCl (أ) CH₄<H₂O<HCl<HF

د) CH₄<HCl<HF<H₂O (ج) CH₄<HCl<H₂O<HF

٢ - اعتماداً على نوع قوى الترابط بين دقائق السائلين: CH₃Cl، H₂O، و CH₃Cl، أجب عن الأسئلة الآتية:

أ) أي السائلين معدل سرعة التبخر لجزيئاته أكبر في درجة الحرارة نفسها؟

ب) أيهما له ضغط بخاري أعلى؟

ج) أي السائلين له درجة غليان أعلى؟

د) أي السائلين له طاقة تبخر مولية أعلى؟

٣ - اعتماداً على موقع العناصر الافتراضية في نموذج الجدول الدوري الآتي، أجب عن

الأسئلة التي تليه:

H													R
	M												
Z	Y												
		E		A		Q							
			D			G	B						

أ) أي العناصر في الجدول تتماسك ذراته بصورة رئيسة بقوى لندن؟

ب) ما التهجين المُتوقع للذرة المركزية عند اتحاد A مع Cl₁₇؟

ج) ما الأفلاك المكونة للرابطة F - D عند اتحاد D مع الفلور F₉؟

د) ما نوع قوى التجاذب الرئيس بين جزيئات المركب GQ₂؟

هـ) أيهما درجة غليانه أعلى: Q₂ أم B₂؟ ولماذا؟

و) قارن بين الجزيئين: MQ_2 ، و EQ_3 من حيث:

(١) التهيجين الذي تستخدمه الذرة المركزية.

(٢) الأفلاك المُكوّنة للرابطين: $Q - M$ ، و $Q - E$.

(٣) قطبية الجزيء.

(٤) الزاوية بين الروابط.

٤ - أ) احسب الكتلة المولية لغاز مجهول إذا علمت أن كتلة عينة منه $3,2$ غ و حجمها $2,24$ لتر في الظروف المعيارية.

ب) كم يصبح حجم هذه العينة إذا انخفض ضغطها إلى 380 مم زئبق؟

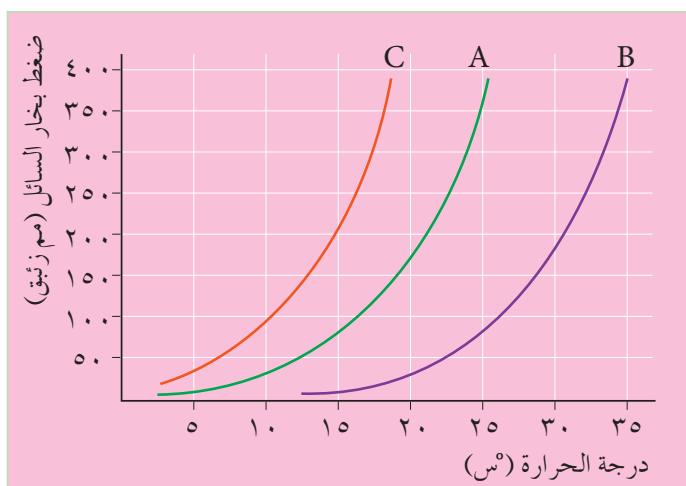
٥ - عينة من غاز الأمونيا NH_3 تشغل حيزاً مقداره $3,5$ لترات، في ضغط مقداره $1,68$ ض.ج. إذا زيد ضغط العينة حتى أصبح الحجم الذي تشغله $1,35$ لتر في درجة الحرارة نفسها، فما مقدار الضغط الذي أثر في العينة؟

٦ - ادرس الشكل (٢ - ٣٠) الذي يمثل منحنيات ضغط البخار لسوائل: A، B، C في درجات حرارة مختلفة، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

أ) أي السوائل يمتلك أكبر قيمة من الحد الأدنى للطاقة اللازمة للتغلب على قوى التجاذب بين الجزيئات؟

ب) أي الجزيئات يمتلك أقل درجة غليان؟

ج) أي السوائل يوجد في الحالة الغازية عند درجة $15^\circ S$ إذا كان الضغط الواقع عليه



١٥٠ مم زئبق؟

د) رتب السوائل السابقة تبعاً لزيادة

قوى التجاذب بين الجزيئات؟

هـ) أي السوائل السابقة يمتلك أكبر طاقة تكافف؟

و) كيف يمكن جعل السائل B يغلي في درجة حرارة $30^\circ S$ ؟

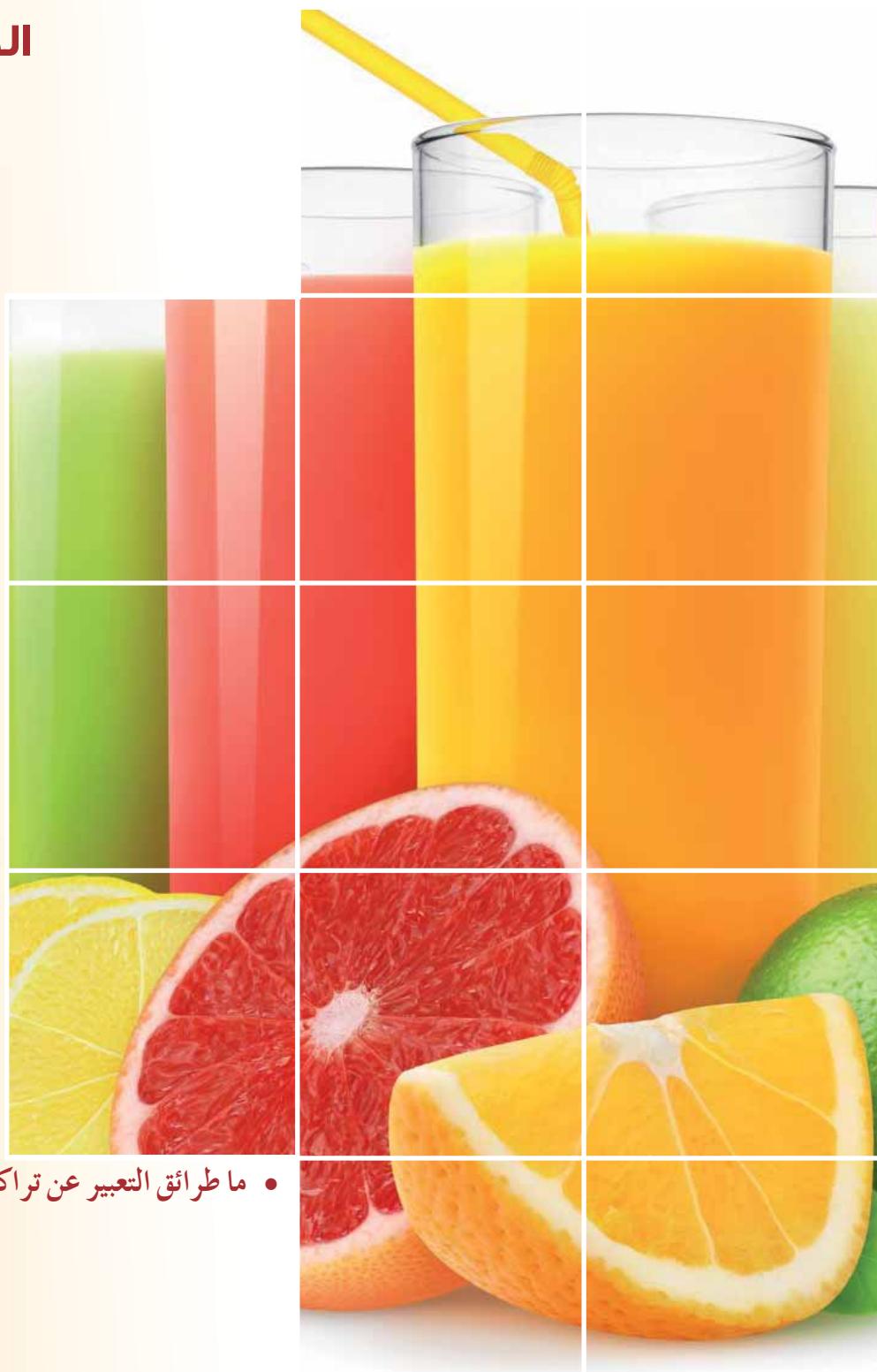
الشكل (٢ - ٣٠): منحنيات الضغط البخاري لسوائل مختلفة.

الفصل الدراسي الثاني



المحاليل

- **الذوبان والذائبية**
- **تركيز محلول**
- **خصائص المحاليل**



- ما طرائق التعبير عن تركيز المحاليل؟ وما الخصائص المرتبطة بها؟

الفصل الأول

١

الذوبان والذائبية Solubility

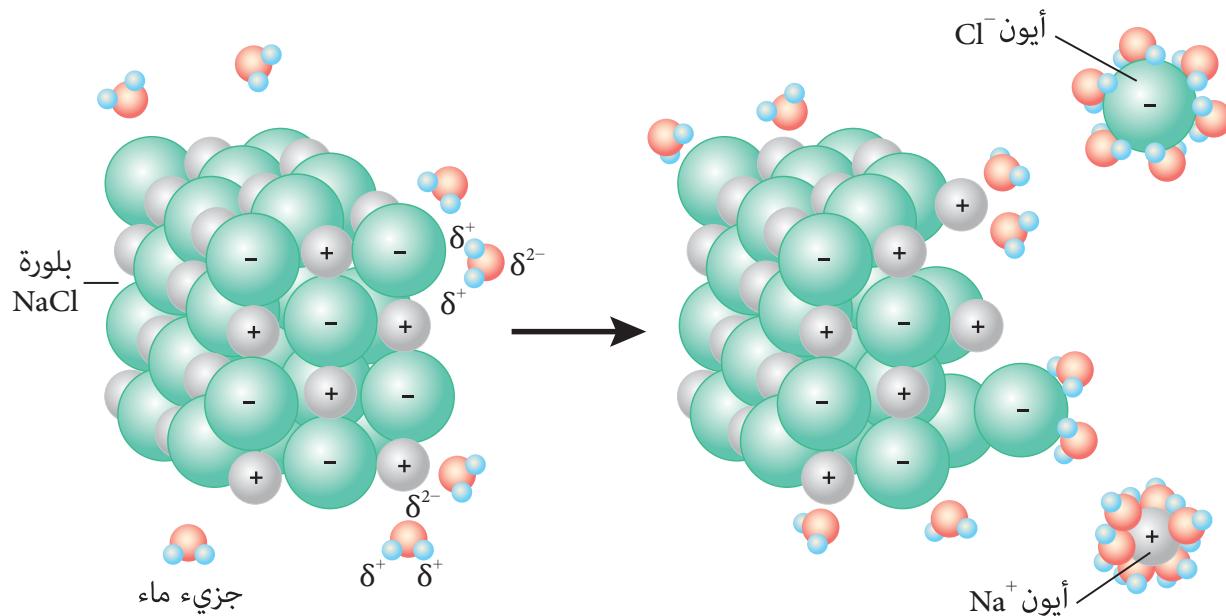
درست في الصف التاسع أن المحلول خليط متجانس التركيب والخصائص؛ لأن دقائق المذاب فيه تنتشر بشكل منتظم في أجزائه جميعاً، ويمكن تصنيف المحاليل تبعاً للحالة الفيزيائية للمذيب الذي يمثل الجزء الأكبر من المحلول؛ سواء كان صلباً، أو سائلاً، أو غازياً.

تُركّز هذه الوحدة على دراسة المحاليل المائية، لما لها من أهمية كبيرة في مجال التفاعلات والحسابات الكيميائية والظواهر المتعلقة بها، فالماء مركب مهم لحياتنا على هذا الكوكب، بل إنه أساس الحياة، فهو يغطي ثلاثة أرباع سطح الأرض، ويُمثل أعلى نسبة من بين المركبات التي تدخل في تكوين أجسام الكائنات الحية، ويتميز بقدرته على إذابة الكثير من المركبات. فماذا يحدث عند ذوبان مادة ما في الماء؟ وكيف تتم عملية الذوبان؟ وما العوامل التي تؤثر في ذوبان المواد المختلفة (الصلبة، أو السائلة، أو الغازية) في الماء؟

ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- تفسّر ذوبان المواد في الماء.
- تصنّف المحاليل المائية حسب حالة المذيب.
- تبيّن أثر العوامل المختلفة في ذائبية المواد في الماء.

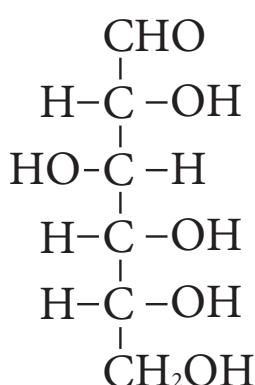
ماذا يحدث عند إذابة ملح كلوريد الصوديوم NaCl في الماء؟
لإجابة عن هذا السؤال، ادرس الشكل (١-٣) الذي يُمثل ذوبان بلورة من NaCl في الماء، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل (١-٣): عملية ذوبان بلورة من كلوريد الصوديوم في الماء.

- ما الدقائق الأساسية المُكوّنة لبلورة NaCl ؟
- ما نوع الترابط بين الدقائق المُكوّنة لبلورة NaCl ؟
- صِف ما يحدث لبلورة NaCl عند إذابتها في الماء.

عند إضافة ملح كلوريد الصوديوم إلى الماء تعمل جزيئات الماء المحيطة بالبلورة من الجهات جميعها على تكوين ترابط مع أيونات الصوديوم وأيونات الكلوريد الموجودة على سطح البلورة الصلبة، فينشأ نتيجةً لذلك عدَّ كبير من قوى التجاذب بين الأقطاب الموجبة للماء والأيون السالب في البلورة، وكذلك بين الأقطاب السالبة للماء والأيون الموجب في البلورة، فتعمل هذه القوى على فصل الأيونات الموجبة والسائلة عن جسم البلورة الأيونية، فتتفكك البلورة إلى أيونات موجبة وأخرى سالبة تحيط بها جزيئات الماء القطبية كما في الشكل (١-٣)، وتتحرك هذه الأيونات بحرية في المحلول.



ولكن، هل ينطبق ما يحدث لبلورة كلوريد الصوديوم على بلورة سكر الغلوکوز عند إذابتها في الماء؟ للإجابة عن هذا السؤال، ادرس الشكل (٢-٣) الذي يمثل تركيب جزيء سكر الغلوکوز، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

الشكل (٢-٣): تركيب جزيء سكر الغلوکوز.

- هل يُعد جزيء سكر الغلوکوز قطبي أم غير قطبي؟ وهل يُعد جزيء الماء قطبي أم غير قطبي؟
- ما نوع الترابط بين جزيئات سكر الغلوکوز في البلورة؟
- ما نوع الترابط بين جزيئات الماء وجزيئات السكر؟

يتكون سكر الغلوکوز من جزيئات قطبية ترتبط فيما بينها بروابط هيدروجينية، وعند إذابته في الماء تنشأ بين جزيئاته وجزيئات الماء قوى ترابط هيدروجيني، فتنفصل مكوّنات البلورة على شكل جزيئات تنتشر بين جزيئات الماء مكوّنةً محلول السكر.

ولكن، هل تقتصر عملية الذوبان في الماء على المواد الأيونية والمواد القطبية؟



الشكل (٣-٣): ما يحدث عند إضافة الزيت إلى الماء.

إن كثيرًا من المواد الأيونية والمواد القطبية تذوب بسهولة في الماء. أمّا المواد غير القطبية، مثل الزيت والفالازلين ومشتقاته البترول، فهي قليلة الذوبان في الماء إلى حد كبير؛ وذلك لضعف قوى الترابط بين دقائق هذه المواد وجزيئات الماء، وهذا يعني أن المحلول يتكون عندما تنشأ قوى تجاذب بين دقائق المذاب ودقائق المذيب، وذلك باتباع دلائل المذاب بعضها عن بعض وانتشارها بشكل متتجانس بين دقائق المذيب، وهذا ينطبق على قاعدة «الشبيه يُذيب الشبيه» (Like Dissolves Like)؛ إذ تذوب المواد القطبية في المذيبات القطبية الشبيهة بها، ولا تذوب في المذيبات غير القطبية، انظر الشكل (٣-٣).

أيّ المواد الآتية تتقدّم أن تذوب في الماء:



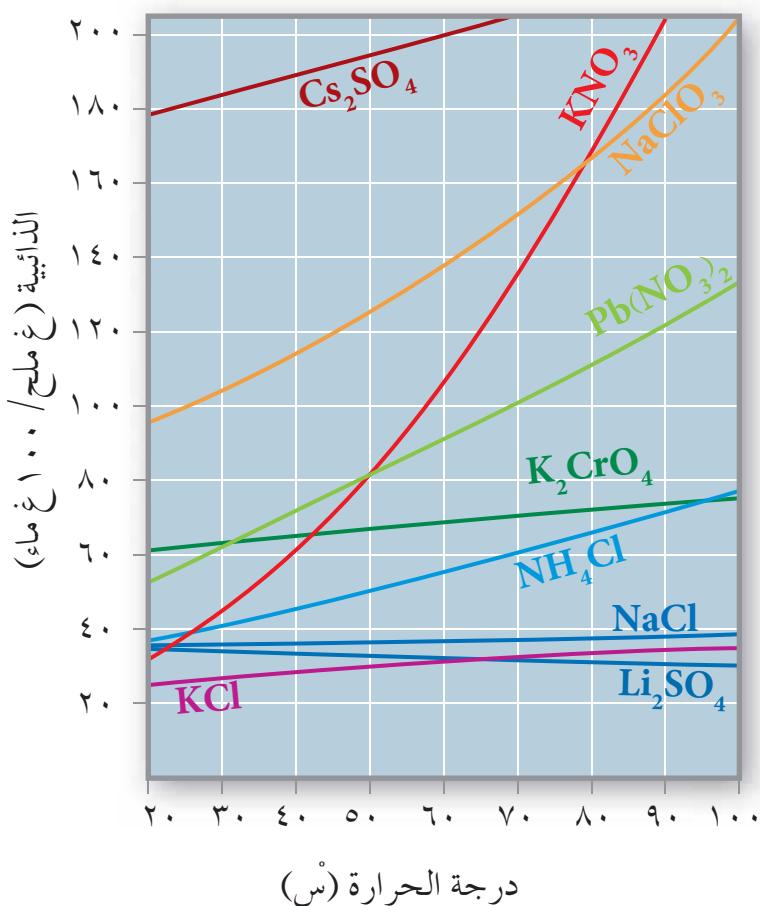
فَسْر: عدم ذوبان الزيت في الماء.

معتمداً على ما تعلّمت عن الذائبة، اقترح طريقة مناسبة لفصل خليط من النفاثلين (مادة غير قطبية) والرمل وملح الطعام.

المحاليل السائلة

ثانياً

تصنّف المحاليل بـ حالتها المذيبة الفيزيائية، فتكون سائلة، أو صلبة، أو غازية، وستعرّف في هذا الفصل أنواع المحاليل السائلة التي يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع، هي:



الشكل (٣-٤): منحنيات الذائبة لعدد من الأملاح في الماء في درجات حرارة مختلفة.

١ - محلول صلب في سائل

عرفت أنه يوجد حد أقصى من المذاب الصلب الذي يمكن إذابته في كمية معينة من الماء عند درجة حرارة معينة، وهذا ما نسميه ذاتية المادة، وهي إحدى طرائق التعبير عن تركيز محلول المشبع. تُعرّف الذائبة بأنها أكبر كتلة من المذاب يمكن أن تذوب في ١٠٠ غ من المذيب (الماء) في درجة حرارة معينة. فما العوامل المؤثرة في ذاتية المواد الصلبة في الماء؟

للإجابة عن هذا السؤال، ادرس الشكل (٤-٣) الذي يوضح ذاتية بعض الأملاح في ١٠٠ غ من الماء في درجات حرارة مختلفة، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

- أي الأملاح أكثر ذائبيةً في درجة حرارة 20°S ؟
- أي الأملاح أقل ذائبيةً في درجة حرارة 20°S ؟
- اختر ملحين لهما الذائبية نفسها في درجة حرارة 50°S .
- ما الملح الذي تقل ذائبيته بزيادة درجة الحرارة؟
- ما كتلة نترات البوتاسيوم اللازم إذابتها في 500 g من الماء لعمل محلول مشبّع منها في درجة حرارة 50°S ؟

والآن، بعد دراستك الشكل (٤-٣)، وإجابة الأسئلة المتعلقة به، هل توصلت إلى العوامل المؤثرة في ذائبية المواد الصلبة في الماء؟

يُعزى اختلاف ذائبية المواد في الماء إلى اختلاف طبيعة المادة المذابة؛ أي اختلاف نوع قوى الترابط بين دقائقها، وهو ما يؤدي إلى اختلاف ذائبيتها في الماء. تختلف أيضًا ذائبية المواد الصلبة الأيونية في الماء باختلاف درجة الحرارة؛ فهي تزداد بازديادها، وهذا ينطبق على معظم المواد الصلبة الأيونية عامة، ولكن بعض المواد قد تتشدّد عن هذه القاعدة، مثل ملح كبريتات الليثيوم Li_2SO_4 ؛ إذ تقل ذائبيته كلما زادت درجة الحرارة.

قضية للبحث

ابحث في الواقع الإلكتروني في الشبكة المعلوماتية عن قواعد ذائبية المواد الصلبة الأيونية في الماء.

٢ - محلول سائل في سائل

ماذا يحدث عند وضع سائل مثل الإيثanol في الماء؟ هل يذوب؟ وهل تختلف ذائبيته في الماء عن ذائبية رابع كلوريد الكربون CCl_4 في الماء مثلاً؟ للإجابة، نفذ النشاط الآتي.



نشاط (١-٣): ذوبان الإيثانول ورابع كلوريد الكربون في الماء

المواد والأدوات المطلوبة

أنبوب اختبار، مخبران مدرجان سعة كلٌّ منها 10 ml ، رابع كلوريد الكربون CCl_4 ، إيثانول $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ، ماء.

الخطوات

- ١ - أضف ٣ مل من الماء إلى كلّ من الأنبوين.
- ٢ - أضف ٣ مل من رابع كلوريد الكربون إلى الأنبوب الأول، و ٣ مل من الإيثانول إلى الأنبوب الثاني. لاحظ ما يحدث في كل حالة، ثم أجب عما يأتي:
 - أي الأنبوين (الأول أم الثاني) يمترج فيه السائلان ليكوّنا محلولاً متجانساً؟ وأيهما يُكوّن السائلان فيه طبقتين منفصلتين؟
 - أيهما يذوب في الماء: رابع كلوريد الكربون أم الإيثانول؟ فسر إجابتك.

إن رابع كلوريد الكربون CCl_4 لا يذوب في الماء لعدم امتلاكه خصائص قطبية، فلا يحدث تجاذب بين جزيئاته وجزيئات الماء؛ لذا فهما يُكوّنان طبقتين منفصلتين، ولا يمترجان. أمّا الإيثانول فيمتلك خصائص قطبية، بحيث ينشأ تجاذب هيدروجيني قوي بين جزيئاته وجزيئات الماء، فيمترج السائلان ليكوّنا محلولاً متجانساً.

الكيمياء في حياتنا

يستخدم CCl_4 في التنظيف الجاف لإزالة البقع الزيتية عن الملابس في محال تنظيف الملابس (Dry Clean)؛ لأنّه مذيب غير قطبي.

سؤال

أي المخلوط الآتي يُكوّن محلولاً متجانساً:

- ◀ الماء والميثanol CH_3OH .
- ◀ البنزين والماء.
- ◀ الأسيتون $\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{CH}_3$ والإيثانول $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

٣ - محلول غاز في سائل

تُعرَّف ذائبية الغاز في الماء بأنها كتلة الغاز التي يمكن أن تذوب في كمية معينة من الماء في درجة حرارة وضغط معينين.

تعتمد ذائبية الغاز في الماء على عوامل عدّة، فما هذه العوامل؟ وكيف يؤثّر كل منها في ذائبية الغاز؟

أ - طبيعة الغاز المذاب: ادرس الجدول (١-٣) الذي يبيّن ذائبية بعض الغازات في الماء في ١٠٢٥°س، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

الجدول (١-٣): ذائبية بعض الغازات في الماء.

الذائية (غ غاز/لتر ماء)	الكتلة المولية (غ / مول)	صيغة الغاز
٠,٠٠١٦	٤	He
٠,٠٤٠	٣٢	O ₂
٠,٠٦٠	٤٠	Ar
٠,١٤٠	٤٤	CO ₂

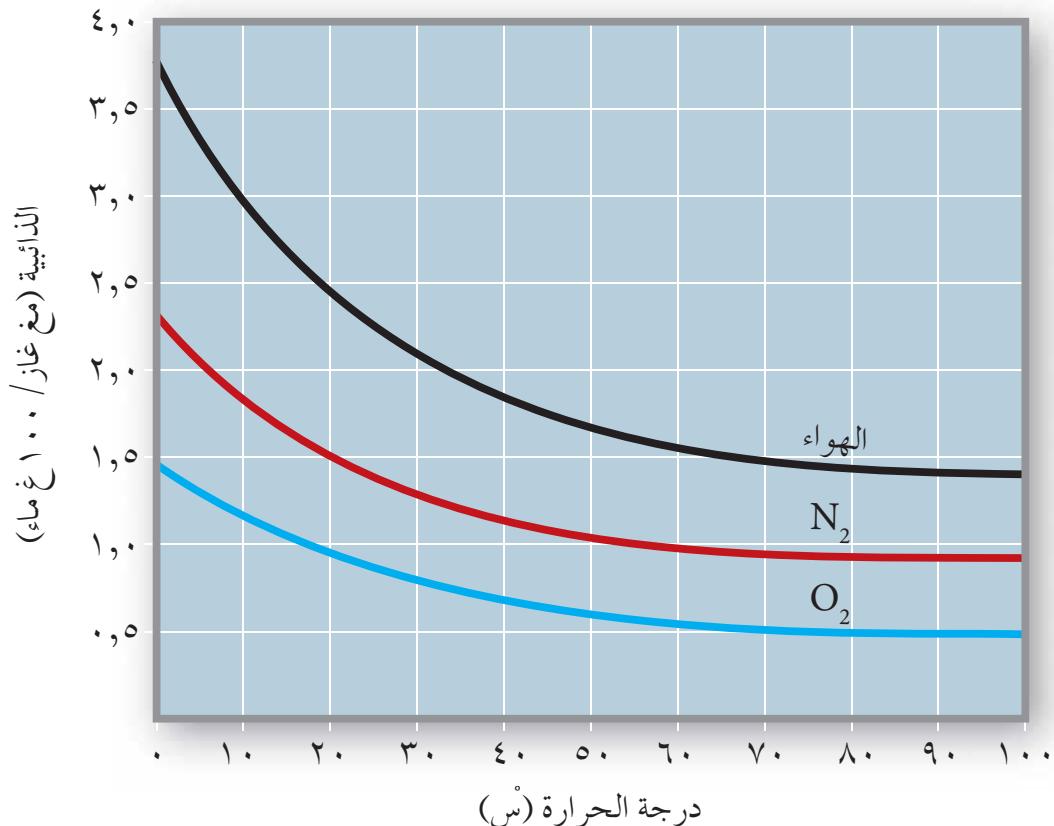
- أي الغازات في الجدول أكثر ذائبيةً؟ وأيها أقل ذائبيةً؟
- كيف تغير الذائية بزيادة الكتلة المولية؟
- اقترح تفسيرًا مناسباً للانخفاض الكبير في ذائبية غاز He في الماء مقارنةً بذائبية غاز CO₂ في الماء.
لاحظ أن ذائبية الغازات في الماء منخفضة بصفة عامة، وأنها تزداد -كما هو واضح من الجدول- بزيادة الكتلة المولية للغاز، ويعزى ذلك إلى زيادة قوة التجاذب بين دقائق الغاز وجزيئات الماء؛ نظراً إلى زيادة قوى لندن التي تزداد بزيادة الكتلة المولية للغاز.

سؤال

◀ أي الغازين تتوقع أن يكون أعلى ذائبية في الماء: CO₂ أم HCl؟ فسر إجابتك.

ب - درجة الحرارة: عرفت أن ذائبية المواد الصلبة الأيونية في الماء تزداد بازدياد درجة الحرارة، فهل ينطبق ذلك على ذائبية الغازات في الماء؟ لماذا؟

لإجابة عن هذا السؤال، ادرس الشكل (٣-٥) الذي يبيّن منحنيات الذائبية لبعض الغازات في الماء في ضغط جوي واحد ودرجات حرارة مختلفة، ثم أجب عن السؤالين اللذين يليانه.



الشكل (٣-٥): منحنيات الذائبية لبعض الغازات في الماء.

- ما ذائبية كلّ من غاز O_2 ، و N_2 في درجة حرارة: 10°س ، 30°س ، و 60°س ؟
- كيف تغير ذائبية كلّ من الغازين بزيادة درجة الحرارة؟

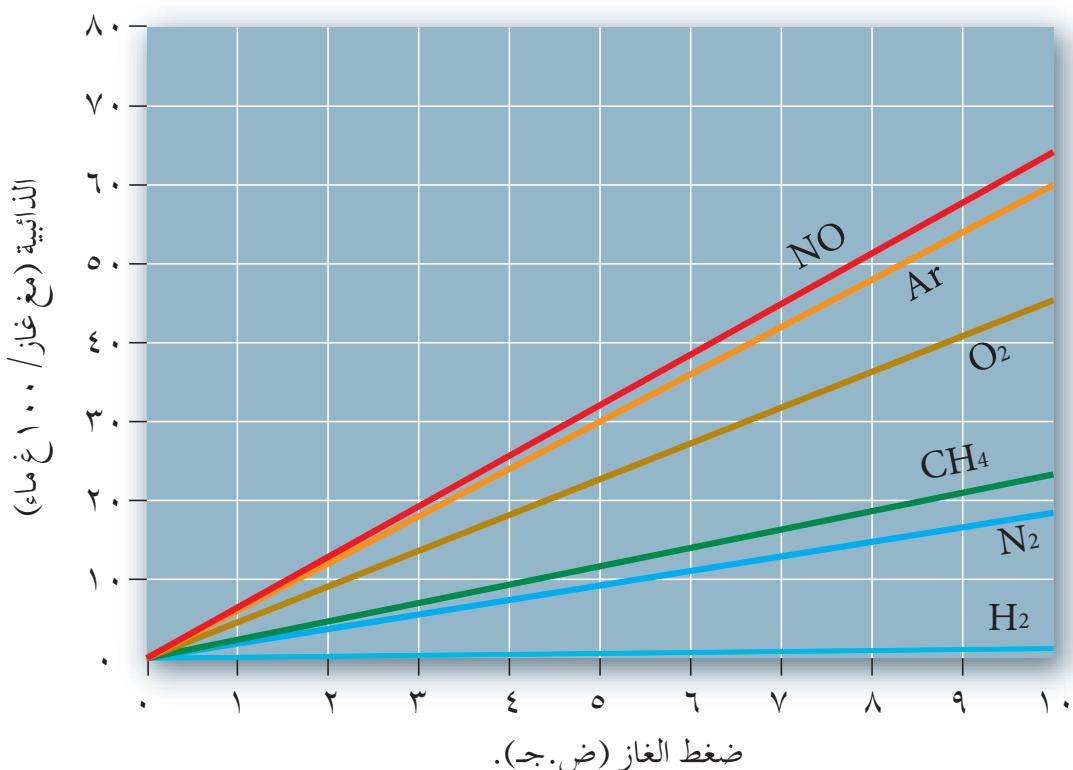
من الواضح أنّ ذائبية الغاز تقل بزيادة درجة الحرارة؛ فعند ذوبان الغاز في الماء تنشأ قوى تجاذب بين دقائق الغاز وجزيئات الماء، وعند زيادة درجة الحرارة يزداد معدل التصادم بين مكوّنات محلول، وتزداد الطاقة الحركية لدقائق الغاز إلى حد كافٍ للتغلب على قوى الترابط بين دقائق الغاز وجزيئات الماء، فتتحرّر دقائق الغاز مغادرةً محلول، فتقل الذائبية.

سؤال

ما أثر ارتفاع درجة حرارة مياه الأنهار في حياة الكائنات النهرية؟ فسر إجابتك.

ج - ضغط الغاز: إذا وجدَ غاز فوق سطح كمية من الماء، فما العلاقة بين ضغط هذا الغاز وذائبيته في الماء؟

للإجابة عن هذا السؤال، ادرس الشكل (٦-٣) الذي يُبيّن العلاقة بين ضغط عدد من الغازات وذائبيتها في الماء، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل (٦-٣): منحنيات الذائية لبعض الغازات في الماء عند ضغوط مختلفة.

- ما ذائية غاز CH_4 وغاز O_2 وغاز Ar تحت ضغط مقداره ٥ ض. ج؟
- ما ذائية غاز CH_4 وغاز O_2 وغاز Ar تحت ضغط مقداره ١٠ ض. ج؟
- كيف تتغير ذائية الغازات في الماء بزيادة ضغط هذه الغازات فوق سطح الماء؟

تمكّن العالم هنري من إيجاد علاقة بين ذائية الغاز ومقدار ضغطه المؤثّر في سطح السائل، وقد عبّر عن ذلك بالقانون الآتي:

$$\text{ذائية الغاز} = \text{الثابت} \times \text{ضغط الغاز}$$

يُسمى الثابت في هذه الحالة ثابت هنري، وتعتمد قيمته على نوع الغاز المذاب ودرجة الحرارة

كما يتضح من المجدول (٢-٣).

المجدول (٢-٣): ثابت هنري لبعض الغازات الذائبة في الماء في درجات حرارة مختلفة (ملي مول / لتر. ض. ج.).

الغاز	٠	٢٥	٣٠
N_2	١,١	٠,٦٧	٠,٤٠
O_2	٢,٥	١,٣	٠,٨٩
CO	١,٦	٠,٩٦	٠,٤٤
Ar	٢,٥	١,٥	١
He	٠,٤١	٠,٣٨	٠,٤٠
CO_2	٧٨	٣٤	١٦

سؤال

- ◀ احسب مقدار ذائبية غاز النيتروجين في مياه البحار والمحيطات في درجة حرارة 30°س. ، علمًا بأن مقدار ما يُسهم به N_2 من ضغط يساوي $78,0\text{ ض. ج.}$.
- ◀ ما سبب انطلاق فقاقيع غاز CO_2 عند فتح زجاجة المشروبات الغازية؟

٧ أسئلة الفصل

١ - هل تتوقع أن يذوب الغازولين (وقود السيارات) في الماء؟ إذا علمت أن الغازولين هو أقل كثافة من الماء، فهل يمكن استخدام الماء في مكافحة الحرائق الناجمة عن اشتعال الغازولين؟ فسّر ذلك.

٢ - يوضح الجدول الآتي ذائبية بعض المواد الصلبة الأيونية في الماء (غ مذاب / ١٠٠ غ ماء) في درجات حرارة مختلفة. ادرسه جيداً، ثم أجب عما يليه من أسئلة:

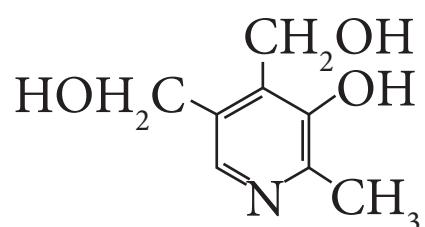
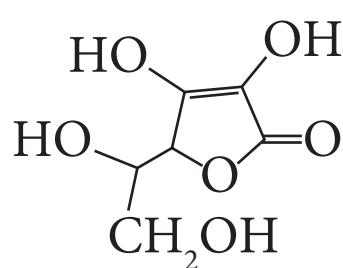
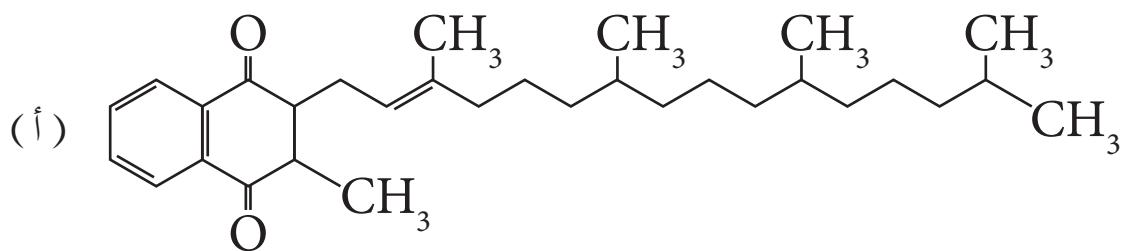
ال المادة	الذائية عند درجة حرارة				
	٨٠°س	٦٠°س	٤٠°س	٢٠°س	٠°س
كربونات النحاس (II) <chem>CuSO4</chem>	٥٥	٤٠	٢٩	٢١	١٤
نترات البوتاسيوم <chem>KNO3</chem>	١٦٩	١١٠	٦٤	٣٢	١٣
كلوريد الصوديوم <chem>NaCl</chem>	٣٨	٣٧	٣٦	٣٦	٣٦

أ) ارسم منحنيات الذائية للمواد المذكورة في الجدول، محدداً ذائبيتها عند درجة حرارة ٧٠°س.

ب) رتب المواد التي في الجدول حسب تأثير ذائبيتها بدرجة الحرارة من الأكثر تأثيراً إلى الأقل تأثيراً.

٣ - مُستعيناً بالجدول (٢-٣)، احسب كتلة CO_2 التي يمكن أن تذوب في ٤٠٠ مل من الماء في ضغط ٠,٨ ض.ج، ودرجة حرارة ٣٠°س.

٤ - تقسم الفيتامينات التي يحتاج إليها الجسم في العمليات الحيوية قسمين: فيتامينات ذائبة في الدهون، وفيتامينات ذائبة في الماء. صنف الفيتامينات المُبيَّنة في الشكل (٧-٣) إلى فيتامينات ذائبة في الدهون، وأخرى ذائبة في الماء، بناءً على معرفتك بمبادئ الذائية.



الشكل (٧-٣): الصيغ البنائية لبعض الفيتامينات.

الفصل الثاني

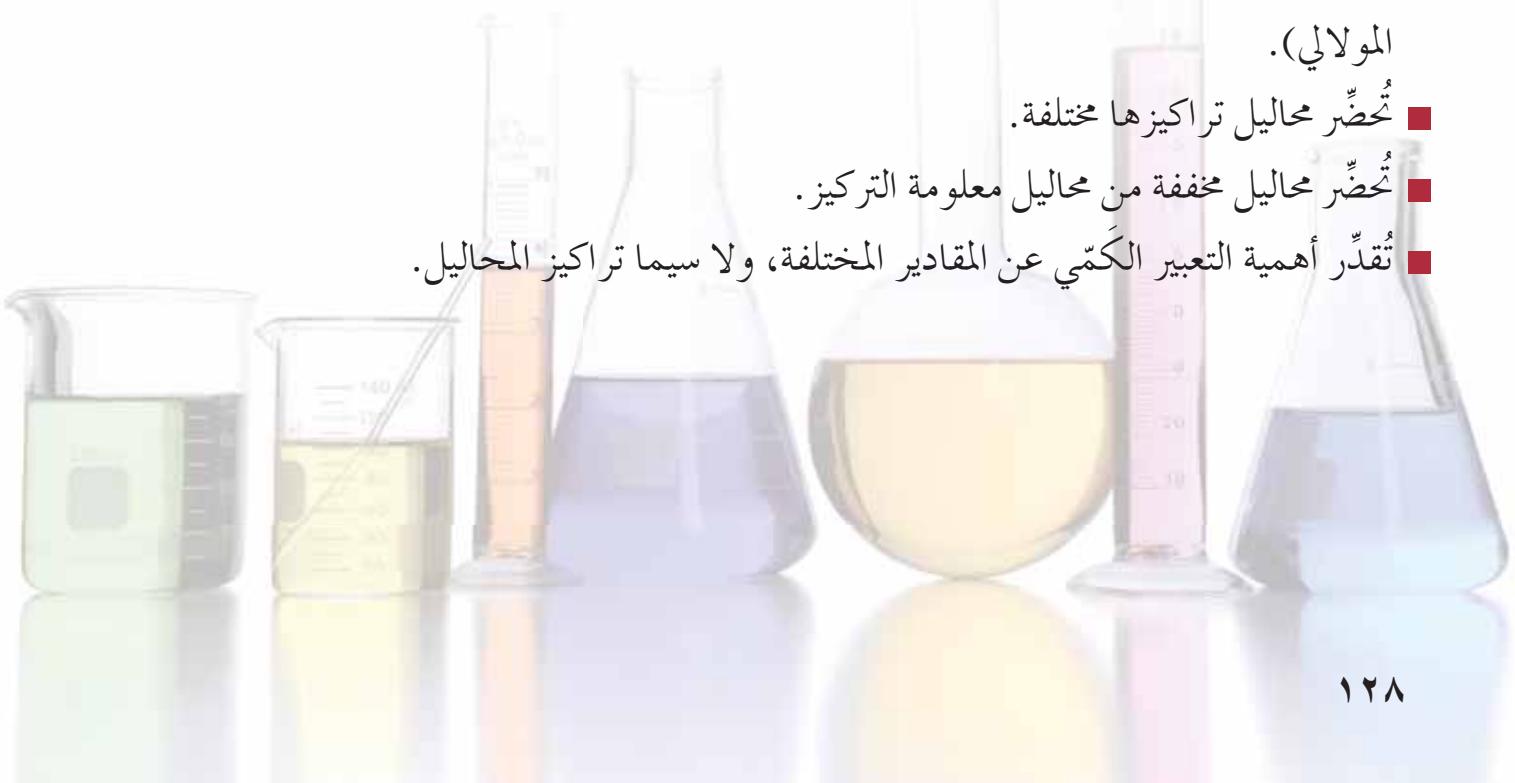
٢

تركيز محلول Concentration of Solution

عرفت سابقاً أنواع المحاليل، وتصنيفها، ومفهوم الذائية، وأهمية تحديد النسبة بين كمية المذاب والمذيب؛ فزيادة كمية الملح في الطعام مثلاً تكون مزعجة، وزيادة نسبة المادة الفاعلة في الدواء قد تكون قاتلة أحياناً؛ لذا تراعي الدقة في مزج المواد في الصناعات الدوائية، وذلك بالتحكم في تراكيز هذه المحاليل.

فما المقصود بتركيز محلول؟ وما الطرق المختلفة للتعبير عن تركيز محلول ما؟

- ستتمكن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك لهذا الفصل، ويُتوقع منك بعد ذلك أن:
 - تُوضح المقصود بتركيز محلول.
 - تَحْلِّلَّ أسئلة تتعلق بتركيز محلول (النسبة الكتليلية المئوية للمذاب، والتركيز المولاري، والتركيز المولالي).
 - تُحضر محاليل تراكيزها مختلفة.
 - تُحضر محاليل مخففة من محاليل معلومة التركيز.
 - تقدّر أهمية التعبير الكمي عن المقادير المختلفة، ولا سيما تراكيز المحاليل.



نحتاج كثيراً في حياتنا العملية إلى تحضير بعض المحاليل لاستخدامها في مجالات ذات صلة كبيرة ب الغذائيتنا ودوائنا وصناعاتنا، ولكن مزج كميات غير محددة من المذاب والمذيب في هذه المحاليل يؤثر في فاعليتها وخصائصها، فرب البيت مثلاً لا تستطيع أن تضيف أي كمية من الملح إلى الطعام الذي تريده طهيه بشكل عشوائي؛ لأن زيادة الملح أو نقصه عن حد معين يجعل الطعام غير مستساغ، وكذا الحال بالنسبة إلى المنظفات الكيميائية المنزلية والأصباغ والأدوية وغيرها؛ إذ تخلط مكوناتها بدقة.

الكيمياء في حياتنا



الدم محلول غروي يحتوي على غازات وأيونات وجزئيات من مواد غذائية وحيوية ذائبة فيه، مثل البروتينات، والإنزيمات، والهرمونات. ولكي يعمل الجسم بكفاءة؛ يجب أن تكون تراكيز هذه المواد ثابتة في الدم، فيعمل الكبد والبنكرياس على تنظيم تركيز السكر في الدم، وتحافظ الكلية على تركيز الفضلات الذائبة في الدم بأقل مستوى ممكن.

يعبر عن كمية المذاب والمذيب في المحاليل بتراكيز المحاليل، ولتحضير محلول تركيزه محدد، فإنه يلزم توافر أدوات قياس مناسبة لقياس كمية المواد الداخلة في تحضيره، ويُبيّن الشكل (٨-٣) عدداً من هذه الأدوات.

لاحظ أن بعض هذه الأدوات تقيس الكتل، وأن بعضها الآخر يقيس الحجوم، لكنّها جمیعاً تساعدننا على تحديد نسبة تركيز المحلول، فكيف نعبر عن تراكيز المحاليل كمياً باستخدام هذه الأدوات وغيرها؟



دورق حجمي.



ماصة.



ميزان كتلة.

الشكل (٨-٣): بعض الأدوات التي تستخدم في تحضير المحاليل.

توجد طرائق عدّة تستخدم لتعبير عن تركيز المحلول، منها:

١ - النسبة المئوية الكتليلية للمذاب Mass Percent

إذا قرأت بيانات المحلول الملحي (Normal Saline) المستخدم في المستشفيات فإنك تلاحظ وجود الرقم ٩,٠٪ (نسبة كتليلية)، فما المقصود بهذه النسبة؟ وكيف يمكن حسابها؟ لمعرفة ذلك، نفذ النشاط (٢-٣).



نشاط (٢-٣): تحضير محلول NaCl تركيزه ٩,٠٪ نسبة كتليلية.

المواد والأدوات المطلوبة

ملح طعام NaCl، ماء، كأس زجاجية سعتها ١٥٠ مل، ميزان كتلة.

الخطوات

١ - زِنِي الكأس الزجاجية الفارغة باستخدام الميزان، ثم زِنْ كتلة ٩,٠ غ تقريباً من الملح NaCl، ثم ضعها في الكأس.

٢ - أضف قليلاً من الماء إلى الملح الموجود في الكأس الزجاجية، ثم حرك المحلول جيداً.

٣ - استمر في إضافة الماء تدريجياً إلى الكأس حتى تصبح كتلة المحلول (الملح + الماء) ١٠٠ غ، مراعياً وزن الدورق.

● احسب نسبة كتلة الملح إلى كتلة المحلول.

يمكن التعبير عن تركيز المحلول في هذه الحالة باستخدام العلاقة الرياضية الآتية:

$$\text{النسبة المئوية الكتليلية} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100\%$$

حيث كتلة المحلول = كتلة المذاب + كتلة المذيب.

مثال (١)

جد كتلة KNO_3 اللازمة لتحضير محلول كتلته ٢٠ غ بتركيز ٤٪ نسبة كتليلية.

الخل

$$\text{النسبة المئوية الكتليلية} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100\%$$

$$\% \text{KNO}_3 = \% \times \frac{\text{كتلة KNO}_3}{20}$$

$$\text{كتلة KNO}_3 = \% \times \frac{4}{100} \times 20 \text{ غ}$$

$$\text{كتلة KNO}_3 = 8 \text{ غ.}$$

مثال (٢)

كم غراماً من حمض الكبريتيك H_2SO_4 يوجد في ٢٠ لتر من محلول الحمض الذي تركيزه ٤٪ نسبة كتليلية، إذا علمت أن كثافة محلول $1,25 \text{ غ/مل}$ ؟

الحل

يمكن حساب كتلة المذاب H_2SO_4 على النحو الآتي:

$$\text{كتلة المذاب} = \frac{\text{كتلة المحلول}}{\text{كتلة المحلول} \times \text{كثافة المحلول}} \times \text{التركيز}$$

$$\text{كتلة المحلول} = \text{كثافة المحلول} \times \text{حجم المحلول} \quad (\text{حجم المحلول بوحدة مل} = 200 \text{ مل})$$

$$\text{كتلة المذاب} = \frac{1,25 \text{ غ}}{200 \text{ مل}} =$$

$$= 25 \text{ غ.}$$

ثم نستخدم قانون النسبة المئوية الكتليلية الذي يشير إلى تركيز محلول الكتلي لحساب كتلة H_2SO_4 :

$$\text{النسبة المئوية الكتليلية} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times \% \times 100$$

$$\text{كتلة المذاب} = \% \times \frac{\text{كتلة المذاب}}{250} = \% \times \frac{\text{كتلة H}_2\text{SO}_4}{250}$$

$$\text{كتلة H}_2\text{SO}_4 = 100 \text{ غ.}$$

◀ احسب كتلة الماء اللازمة لتحضير محلول من سكر المائدة تركيزه ٤٪ نسبة كتليلية، علماً بأن كتلة السكر المذابة ٨ غ.

٢ – المolarية (Molarity)

يهم الكيميائيون في التفاعلات الكيميائية بمعرفة عدد مولات المواد المتفاعلة، وهذا يتطلب استخدام طريقة أخرى للتعبير عن تركيز المحلول تسمى المolarية، وتُعرَّف المolarية بأنها عدد مولات المذاب في لتر من المحلول. ولتحضير محلول تركيزه ١ مول / لتر من KCl الذائب في الماء، نفذ النشاط (٣-٣).



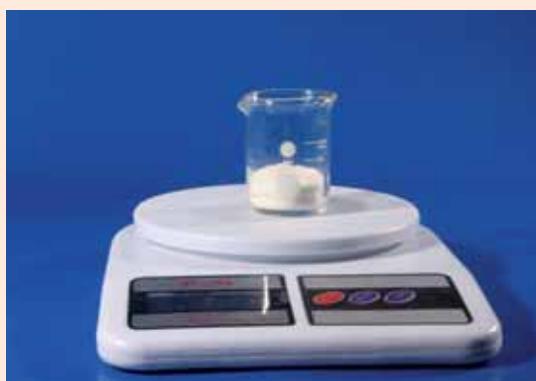
نشاط (٣-٣): تحضير محلول تركيزه ١ مول / لتر

المواد والأدوات المطلوبة

مسحوق ملح KCl ، ماء، ميزان رقمي، دورق حجمي سعته لتر، زجاجة ساعة أو كأس زجاجية سعتها ٥٠ مل، قطارة.

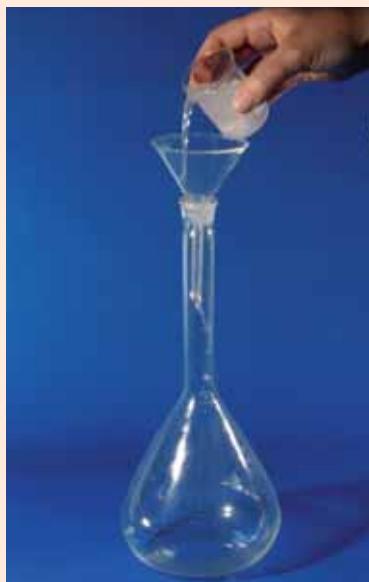
الخطوات

- ١ - زنْ ٧٤,٥ غ (١ مول) تقريباً من الملح KCl ، ثم ضعها في الكأس الزجاجية.



- ٢ - أذب الملح في قليل من الماء، ثم اسكب ما يذوب منه في الدورق الحجمي.





٣ - كرّر الخطوة الثانية مرات عدّة حتى يقترب مستوى محلول من العلامات الموجودة على عنق الدورق.

٤ - استمر بإضافة الماء إلى الدورق باستخدام القطرة، حتى يصبح مستوى تغير السائل عند مستوى العلامات الموجودة على عنق الدورق.



- احسب عدد مولات الملح.

- جد ناتج النسبة بين عدد مولات الملح إلى حجم محلول باللتر.

يُطلق على كمية المذاب (المُعبّر عنها بعدد المولات الذائبة من المذاب) في لتر من محلول اسم المolarية (التركيز المolarي)، وتستخدم الصيغة الرياضية الآتية للتعبير عن المolarية:

$$\text{المolarية} = \frac{\text{عدد مولات المذاب (مول)}}{\text{حجم محلول (لتر)}}$$

وبالنظر إلى المعادلة السابقة، يمكن القول إن التركيز المolarي هو معامل تحويل يناسب عدد المولات إلى حجم محلول، ويمكن استخدامه في حل العديد من المسائل.

مثال (٣)



احسب التركيز المولاري لمحلول حُضِّر بإذابة ١٥ غ من NaOH في كمية من الماء للحصول على محلول حجمه ١٥٠٠ مل.

الحل

يمكن حساب التركيز المولاري على النحو الآتي:

$$\text{التركيز المولاري} = \frac{\text{الكتلة المولية}}{\text{الكتلة المولية}} \times \frac{\text{الحجم باللتر}}{\text{عدد المولات}} \div \text{NaOH}$$

$$\text{عدد مولات NaOH} = \frac{\text{كتلة NaOH (غ)}}{\text{الكتلة المولية (غ/مول)}}$$

$$\text{الكتلة المولية NaOH} = \text{الكتلة المولية H} + \text{الكتلة المولية O} + \text{الكتلة المولية Na}$$

$$= ٢٣ + ١٦ + ١ = ٤٠ \text{ غ/مول.}$$

$$\text{عدد مولات NaOH} = \frac{١٥ \text{ غ}}{٤٠ \text{ غ/مول}} = ٠,٣٧٥ \text{ مول.}$$

$$\text{حجم محلول باللتر} = \frac{١٥٠٠ \text{ مل}}{١٠٠٠ \text{ مل/لتر}} = ١,٥ \text{ لتر.}$$

$$\text{التركيز المولاري للمحلول} = \frac{\text{عدد مولات NaOH}}{\text{الحجم (لتر)}}$$

$$= \frac{٠,٣٧٥ \text{ مول}}{١,٥ \text{ لتر}} = ٠,٢٥ \text{ مول/لتر.}$$

مثال (٤)



احسب كتلة الـ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ اللازمة لتحضير محلول حجمه ٥٠٠ مل بتركيز (٥٠٠ مول / لتر).

الحل

يمكن حساب كتلة المذاب (الـ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) على النحو الآتي:

$$\frac{\text{الكتلة المولية}}{\text{التركيز}} \times \frac{\text{حجم محلول (لتر)}}{\text{عدد المولات}}$$

عدد مولات $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ اللازم لتحضير محلول:

$$\text{عدد المولات} = \text{التركيز المولاري (مول / لتر)} \times \text{الحجم (لتر)}$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{مول}}{\text{لتر}} \times ٥٠٠,٥ = ٥٠,٢٥ \text{ مول}$$

$$\text{كتلة المذاب} = \text{عدد مولات } \text{CO}(\text{NH}_2)_2 \times \text{الكتلة المولية لـ } \text{CO}(\text{NH}_2)_2$$

$$\frac{\text{غ}}{\text{مول}} = \frac{٦٠}{٥٠,٢٥} \text{ مول} \times ٦٠ = ١٥ \text{ غ.}$$

سؤال

أذيت ٥,٣ غ من كربونات الصوديوم Na_2CO_3 في كمية معينة من الماء، بحيث أصبح تركيز محلول ٠,٢٥ مول / لتر. احسب حجم محلول إذا علمت أن الكتلة المولية لـ كربونات الصوديوم = ١٠٦ غ / مول.

٣ - المولالية Molality

تمثل المولالية إحدى طرائق التعبير عن تركيز محلول، وتستخدم لتحضير محليل في درجات حرارة مختلفة، ولا تعتمد على حجم محلول الكلي الذي قد يتغير بتغيير درجة الحرارة. فما المولالية؟ وكيف يمكن تحضير محلول تركيزه المولالي معلوم؟ للإجابة، نفذ النشاط (٣-٤).



نشاط (٤-٣): تحضير محلول سكري تركيزه ١٠٠ مول/كغ

المواد والأدوات المطلوبة

سكر الغلوکوز $C_6H_{12}O_6$, ماء، ميزان كتلة، كأسان زجاجيتان سعة كلٌّ منها ٢٠٠ مل، ملعقة، ورق ترشيح.

الخطوات

- ١ - زِنْ ٣,٦ غرامات من سكر الغلوکوز على ورق ترشيح، ثم ضعه في كأس زجاجية سعتها ٢٠٠ مل.
 - ٢ - زِنْ ٢٠٠ غرام من الماء في الكأس الزجاجية الأخرى.
 - ٣ - أضف الماء تدريجياً إلى الكأس الزجاجية التي تحوي سكر الغلوکوز حتى تتأكد من ذوبان كمية السكر جميعها.
- احسب كتلة الماء بالكيلوغرام.
 - احسب عدد مولات سكر الغلوکوز.
 - احسب نسبة عدد مولات سكر الغلوکوز إلى كتلة الماء بالكيلوغرام.
 - ماذا يُطلق على هذه النسبة؟

يعبر التركيز المولالي أو المولالية عن نسبة عدد مولات المذاب إلى كتلة المذيب بالكيلوغرام، وتستخدم لذلك الصيغة الرياضية الآتية:

$$\text{المولالية} = \frac{\text{عدد مولات المذاب (مول)}}{\text{كتلة المذيب (كغ)}}$$

يمكن استخدام الصيغة السابقة في معرفة كميات المواد اللازمة لتحضير محليل تركيزها المولالي معلوم.

مثال (٥)



احسب التركيز المولالي ل محلول مُكون من إذابة ٦٥ غ من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH في ٢٠٠ غ من الماء.

الحل

لحساب التركيز المولالي، يتعين حساب عدد مولات KOH، ثم إيجاد ناتج النسبة بين عدد المولات وكتلة المذيب بالكيلوغرام على الحو الآتي:

$$\text{كتلة KOH (غ)} \xleftarrow{\text{ـ}} \frac{\text{ـ}}{\text{ـ}} \text{ـ} \xleftarrow{\text{ـ}} \frac{\text{ـ}}{\text{ـ}} \text{ـ}$$

$$\frac{\text{كتلة المذاب KOH (غ)}}{\text{الكتلة المولية ل KOH (غ / مول)}} = \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ}$$

$$= \frac{٦٥ \text{ـ}}{٥٦ \text{ـ}} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ}$$

$$= \frac{٢٠٠ \text{ـ}}{١٠٠ \text{ـ}} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ}$$

$$\frac{١ \text{ـ مول}}{٠,٢ \text{ـ كغ}} = \frac{\text{ـ}}{\text{ـ}} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ} \text{ـ}$$

$$= ٠,٥ \text{ـ مول / كغ}.$$

سؤال

◀ احسب كتلة كربونات البوتاسيوم K_2CO_3 اللازم إذابتها في ٢٠٠ غ من الماء لإنتاج محلول تركيزه ٢٥ ،٠ مول / كغ (الكتلة المولية ل K_2CO_3 = ١٣٨ غ / مول).

تحضير المحاليل بالتخفيض

يمكن تخفيف أي محلول عن طريق إضافة المذيب إليه، فيقل تركيزه، ومن المشاهدات العملية لذلك تخفيف العصير المركّز الذي تشربه بإضافة كمية من الماء إليه، فيصبح لونه أخف، وحلاؤته أقل، فيختلف طعمه. ولكن، هل تغيير كمية العصير مثلاً في حال زيادة الماء؟ وماذا يحدث لتركيز العصير؟ للاجابة، نفذ النشاط (٣-٥).



نشاط (٣-٥): تخفيف محلول دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$

المواد والأدوات المطلوبة

دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ ، ماء، ميزان كتلة، دورق حجمي سعته ٥٠ مل، دورق حجمي سعته ١ لتر، قمع.

الخطوات



- ١ - زن ١ غ تقريباً من دايكرومات البوتاسيوم باستخدام الميزان الحساس.
 - ٢ - ضع الكتلة في الدورق الحجمي الذي سعته ٥٠ مل، ثم أضف الماء إلى العلامات المميّنة على عنق الدورق.
 - ٣ - احسب تركيز محلول بالمول / لتر.
 - ٤ - انقل محتويات الدورق إلى الدورق الآخر الذي سعته ١ لتر باستخدام القمع، ثم أكمل الحجم (بإضافة الماء) إلى العلامات المميّنة على الدورق.
- هل يختلف اللون في الحالة الثانية عنه في الحالة الأولى؟
 - هل يختلف عدد مولات المادة المذابة في الحالة الثانية عنه في الحالة الأولى؟
 - أي محلولين أعلى تركيزاً: الأول أم الثاني؟

يمكن تخفيف تركيز محلول بإضافة كمية جديدة من المذيب السائل من دون أي إضافة جديدة للمذاب؛ أي إن عدد مولات المذاب لا تتغير، وإنما يتغير حجم محلول وتركيزه

بالتحفيف، ويمكن توضيح ذلك بالعلاقة الآتية:

عدد المولات قبل التخفيف = عدد المولات بعد التخفيف

$$ت_١ \times ح_١ = ت_٢ \times ح_٢$$

حيث ترمز T_1 و H_1 إلى التركيز المولاري والحجم، على التوالي، للمحلول قبل تخفيفه، وترمز T_2 و H_2 إلى التركيز المولاري والحجم، على التوالي، للمحلول بعد التخفيف.

مثال (٦)

احسب تركيز محلول KOH الذي حُضِر بإضافة ١٥٠ مل من الماء المقطر إلى ٥٠ مل من محلول KOH الذي تركيزه ٤٠ مول / لتر.

الحل

$$\text{حجم محلول } H_2 = 150 \text{ مل} + 50 \text{ مل} \\ = 200 \text{ مل.}$$

$$ت_١ \times ح_١ = ت_٢ \times ح_٢ \\ ٤٠ \text{ مول / لتر} \times ٥٠ \text{ مل} = ت_٢ \times ٢٠٠ \text{ مل} \\ ت_٢ = ١٠ \text{ مول / لتر.}$$

سؤال

ما الحجم اللازم أخذه من محلول هيدروكسيد الصوديوم ذي التركيز ٥٠٠ مول / لتر لتحضير ٦٠٠ مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم المُخفَّف الذي تركيزه ١٠٠ مول / لتر؟

٧ أسئلة الفصل

- ١ - عرّف ما يأتي:
- المولالية، المولالية، الذائية، محلول، التخفيف.
- ٢ - احسب التركيز المولاري لمحلول تركيزه ٧٥٪ بالكتلة من H_3PO_4 ، وكتافته ١,٥٨ غ/مل.
- (الكتلة المولية لـ $\text{H}_3\text{PO}_4 = 98$ غ/مول).
- ٣ - ما كتلة الميثanol CH_3OH المذابة في ٤٠٠ غ ماءً التي تلزم لتحضير محلول تركيزه ٢٤ مول/كغ؟ (الكتلة المولية لـ $\text{CH}_3\text{OH} = 32$ غ/مول)؟
- ٤ - ادرس الشكل (٩-٣)، ثم أجب عما يأتي:
- أ) ما عدد مولات HCl احسب كتلة HCl .
- ب) احسب كتلة HCl علماً بأن الكتلة المولية $\text{HCl} = 36,5$ غ/مول.



الشكل (٩-٣): وعاء يحوي محلول HCl .

- ٥ - ما حجم الماء اللازم إضافته إلى ٢٠ مل من محلول KOH الذي تركيزه ٤,٠ مول/لتر، ليصبح تركيزه ١,٠ مول/لتر؟

الفصل الثالث

٣

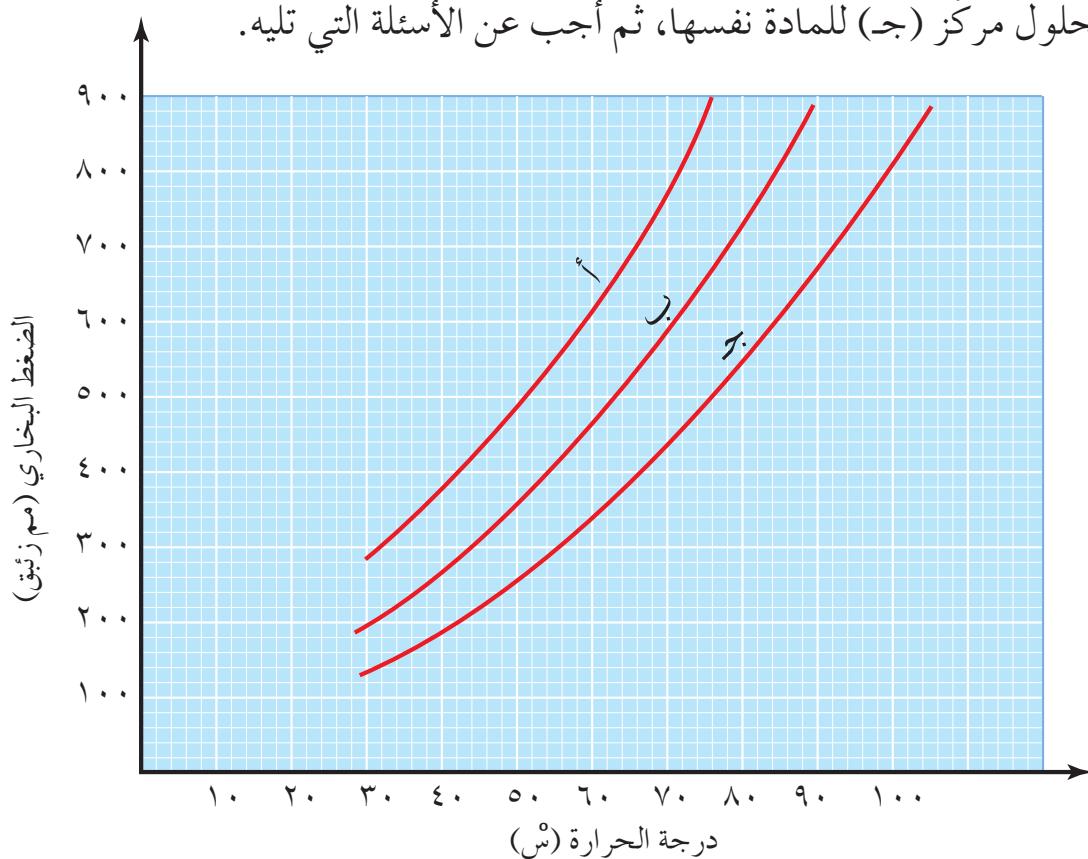
خصائص المحاليل Properties of Solutions

عرفت سابقاً أن الماء النقي يغلي في درجة حرارة 100°س ، ويجمد في درجة حرارة صفر $^{\circ}\text{س}$ عندما يكون الضغط الواقع على سطحه ١ ض.ج، وأن للماء ضغطاً بخارياً ثابتاً في درجة حرارة معينة. فهل تختلف خصائص الماء عند إذابة مادة ما فيه؟ وكيف يكون هذا الاختلاف؟ وما التطبيقات العملية المفيدة لذلك في حياتنا؟

- ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:
- توضح تأثير تركيز المذاب في تغيير خصائص المذيب، مثل: الضغط البخاري، ودرجة الغليان، ودرجة التجمد.
 - تحسب درجة غليان محلول، ودرجة تجمده إذا علمت نوع المذاب وتركيزه.
 - تقارن بين أثر المركبات الكهربائية والمركبات غير الكهربائية في تغيير خصائص المذيب النقي.
 - توضح بعض التطبيقات العملية المفيدة المرتبطة بخصائص محلول.

الضغط البخاري للمحلول

يُعرَّف الضغط البخاري للسائل (Vapor Pressure of Solution) بأنه الضغط الذي ينبع من جزيئات بخار السائل في وعاء مغلق، والذي يكون ثابتاً عند درجة حرارة معينة، وهنا يتبدّل إلى الذهن السؤال الآتي: ماذا يحدث للضغط البخاري لسائل ما عند إضافة كمية من المذاب إليه؟ إذا أضفنا كمية من السكر إلى ماء في وعاء مغلق، فهل تختلف قيمة الضغط البخاري للمحلول عنها للماء النقي؟ لتعزيز ذلك، ادرس الشكل (١٠-٣) الذي يُمثّل مقارنةً بين الضغط البخاري لمذيب نقي (أ) والضغط البخاري للمحلول مخفّف (ب) من مادة غير متطرفة، والضغط البخاري للمحلول مرَّكز (ج) للمادة نفسها، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

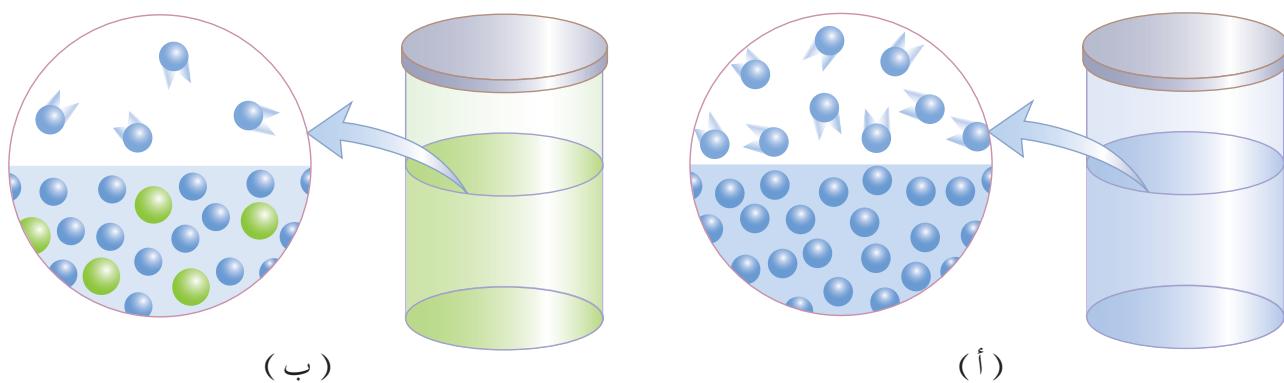


الشكل (١٠-٣): قيم الضغط البخاري لمذيب نقي (أ)، و محلول مخفّف (ب)، و محلول مرَّكز (ج).

- أيهما أعلى قيمةً: الضغط البخاري للمحلول (ب) أم الضغط البخاري للمذيب النقي في درجة حرارة ٦٠°؟
- أيهما أعلى قيمةً: الضغط البخاري للمحلول (ج) أم الضغط البخاري للمذيب النقي في درجة حرارة ٦٠°؟

- رتب قيم الضغط البخاري للمواد (أ، ب، ج) تصاعدياً عند درجة حرارة ٦٠°س.
- ما العلاقة بين تركيز المحلول وقيمة الضغط البخاري له عند درجة حرارة معينة؟ فسر ذلك.

من الواضح أن الضغط البخاري لمحلول مادة غير متطايرة يكون دائمًا أقل من الضغط البخاري للمذيب النقي عند أي درجة للحرارة، وأن مقدار الانخفاض في الضغط البخاري للمحلول يزداد بزيادة تركيز المحلول؛ ذلك أنه عند إذابة مادة غير متطايرة مثل السكر في مذيب مثل الماء فإن عدد دقائق المذيب في وحدة الحجم يكون أقل بسبب وجود دقائق المذاب التي ترتبط مع دقائق المذيب بقوى تجاذب، وهو ما يقلل عدد دقائق المذيب التي يمكن أن تفلت من سطح السائل، وتتحول إلى الحالة الغازية، فتقل قيمة الضغط البخاري للمحلول عنها للمذيب النقي، ويوضح الشكل (١١-٣) انخفاض عدد دقائق المذيب المتبخرة في المحلول عنها في المذيب النقي.



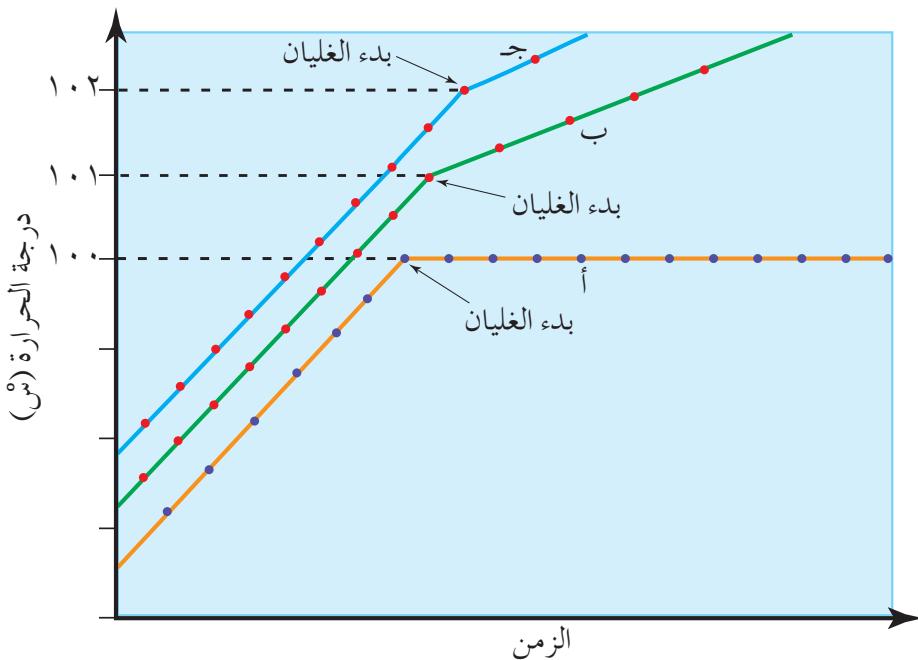
الشكل (١١-٣): انخفاض عدد دقائق المذيب المتبخرة في المحلول (ب) عنها في المذيب النقي (أ).

درجة غليان المحلول

ثانيًا

هل لاحظت في أثناء تحضيرك الشاي أن إضافة السكر إلى ماء يغلي يوقفه عن الغليان؟ ما تأثير إضافة السكر إلى الماء في درجة غليان الماء؟ وهل إذابة كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) في الماء يعطي التأثير نفسه في درجة غليان الماء؟

لتتعرف على تأثير المواد المذابة في درجة غليان الماء، ادرس الشكل (١٢-٣)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

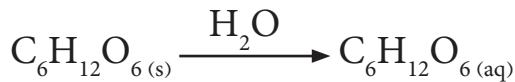
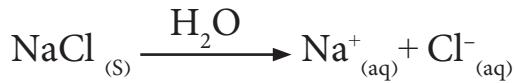


الشكل (١٢-٣): منحنى يمثل تسخين الماء النقي (أ)، ومنحنى يمثل تسخين محلول السكر في الماء (ب)، و محلول كلوريد الصوديوم في الماء (ج)، حيث إن للمحلولين التركيز نفسه.

- ما التغيرات التي طرأت على درجة غليان الماء عند إذابة مادة فيه مقارنةً بالماء النقي؟
- حدد درجة غليان كلٌّ من محلول السكر، و محلول كلوريد الصوديوم، علمًا بأن لهما التركيز نفسه.
- كيف تفسّر الاختلاف في درجة غليان كلٌّ من محلول السكر (لا كهربائي)، و محلول كلوريد الصوديوم (كهربائي)؟

يتضح مما سبق أن درجة غليان محلول الكهربائي (كلوريد الصوديوم) هي أعلى من درجة غليان محلول اللاكهربائي (محلول السكر) المساوي له في التركيز، وهم أعلى من درجة غليان الماء النقي، ويعزى ذلك الاختلاف إلى ما يحدث عند إذابة مادة ما (جزيئية، أو أيونية) في الماء؛ إذ يقل عدد دقائق المذيب في وحدة الحجم، فيقل عدد الدقائق الموجودة على سطح السائل، وهذا يقلل عدد دقائق المذيب القادرة على الإفلات من سطح السائل، فيقل الضغط البخاري، وتزيد درجة الغليان. ولما كان عدد دقائق المذاب في المركبات الكهربائية أكبر مقارنةً بالمركبات اللاكهربائية فإن عدد دقائق المذيب الموجودة على السطح يكون أقل في حالة المركبات الكهربائية، وهذا يقلل من عدد جزيئاته المتباخرة، ثم من قيمة الضغط البخاري للمحلول، فتزيد درجة غليان محلول الكهربائي مقارنةً بدرجة غليان محلول اللاكهربائي.

لتوضيح ذلك، ادرس المعادلتين الآتيتين تُمثلان تفَكُّك محلولين في الماء بالتركيز المولالي نفسه، أحدهما كلوريد الصوديوم NaCl ، والآخر السكر $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ، ثم أجب عن الأسئلة التي تليهما.



- ما عدد مولات الدقائق الناتجة من إذابة مول من كلوريد الصوديوم؟
- ما عدد مولات الدقائق الناتجة من إذابة مول من سكر الغلوکوز؟
- احسب التركيز المولالي لمحلول سكر الغلوکوز عند إذابة مول واحد منه في كيلوغرام من الماء.
- احسب التركيز المولالي لأيونات محلول كلوريد الصوديوم عند إذابة مول واحد منه في كيلوغرام من الماء.
- ماذا تستنتج؟

عند إذابة مول من سكر الغلوکوز (مادة لا كهربية غير متطرفة) في كيلوغرام من الماء فإن عدد دقائق السكر في محلول تساوي مولاً واحداً من جزيئات السكر، وعند إذابة مول من كلوريد الصوديوم (مادة كهربية غير متطرفة) في كيلوغرام من الماء فإن الملح يتفكّك ليتتج مولين من الأيونات في محلول، وهو ما يجعل درجة غليان محلول الكهري أعلى منها للمحلول اللاكهري.

وقد تبيّن أن مقدار الارتفاع في درجة غليان محلول يتناسب طردياً مع التركيز المولالي للمحلول، وفق العلاقة الآتية:

$$\text{الارتفاع في درجة الغليان} = \text{ثابت} \times \text{تركيز محلول (مول / كغ)}$$

$$\Delta h = k \times M$$

ويُسمى الثابت k ثابت الارتفاع في درجة الغليان للمذيب السائل، وهو يساوي مقدار الارتفاع في درجة غليان المذيب عند إذابة مول واحد من المذاب في كيلوغرام واحد من المذيب.

◀ ما وحدة قياس ثابت الارتفاع في درجة الغليان (كـغ)؟

يُبيّن الجدول (٣-٣) قيمة ثابت الارتفاع لدرجة غليان بعض المذيبات السائلة.

الجدول (٣-٣): قيمة ثابت الارتفاع لدرجة غليان بعض المذيبات السائلة.

المذيب	درجة الغليان (°) عند ضغط ١ ض. ج	قيمة ثابت الارتفاع لدرجة الغليان (°. كـغ / مول)
الماء	١٠٠	٠,٥٢
البنزين	٨٠,١	٢,٦١
الإيثanol	٧٨	١,٠٧
حمض الإيثانويك	١١٨,٥	٢,٦١

مثال (١١)

احسب درجة غليان محلول ناتج من إذابة ٤٠,٤ غ من حمض البنزويك (كتلته المولية = ١٢٢ غ / مول) في ٥٠٠ غ من الإيثانول، علماً بأن درجة غليان الإيثانول ٧٨°س، وثابت غليانه كـغ = ١,٠٧ . كـغ / مول.

الحل

$$\text{عدد مولات المذاب غير الأيوني} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{كتلة المولية}}$$

$$\frac{٤٠,٤}{١٢٢} = ٠,٣٢ \text{ مول.}$$

$$\text{التركيز المولالي} = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{كتلة المذيب (كـغ)}}$$

$$= \frac{٠,٣٢}{٤,٠} = ٠,٠٨ \text{ مول / كـغ.}$$

مقدار الارتفاع في درجة الغليان (Δ غ) = كـغ × م

$$= ٠,٠٨ \times ١,٠٧ =$$

$$= ٠,٤٢٨ . س.$$

$$\text{درجة غليان محلول} = \text{درجة غليان المذيب النقي} + \Delta \text{غ}$$

$$0,428 + 78 =$$

$$78,428 {}^{\circ}\text{س.}$$

سؤال

◀ احسب درجة غليان محلول ناتج من إذابة ١٨,٤ غ غليسروول في كيلوغرامين من الماء، علمًا بأن كثافة الماء ٥٢,٠ س. كغ / مول، والكتلة المولية للغليسروول ٩٢ غ / مول.

مثال (٢)

أذيب ٧,٤٥ غ من كلوريد البوتاسيوم KCl في ٣٦٠ غ من الماء. احسب درجة غليان محلول، علمًا بأن الكتلة المولية للكلوريد البوتاسيوم ٧٤,٥ غ / مول، وأن كثافة الماء ٥٢,٠ س. كغ / مول.

الحل

KCl_(s) $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$ K⁺_(aq) + Cl⁻_(aq): مادة أيونية تتفكك كلياً في الماء كما في المعادلة: فيكون عدد دقائق المذاب في محلول مولين من الأيونات.

$$\text{عدد مولات} = \frac{7,45}{74,5} = 0,1 \text{ مول.}$$

$$\text{م} = \frac{0,1}{0,36} = 0,28 \text{ مول / كغ.}$$

$$\text{التركيز الكلي للأيونات} = 2 \times 0,28 = 0,56 \text{ مول / كغ}$$

$$\Delta \text{غ} = \text{كثافة} \times \text{م}$$

$$0,56 \times 0,52 =$$

$$0,29 = {}^{\circ}\text{س.}$$

$$\text{درجة غليان محلول} = 100 + 0,29 = 100,29 {}^{\circ}\text{س.}$$

- ◀ أي المحلولين الآتيين له أعلى درجة غليان: Na_2CO_3 أم NaBr ، علماً بأن تركيزهما المولالي متساوٍ، والضغط المؤثر فيهما هو نفسه (بافتراض التفكك التام لكلٍّ منهما)؟
- ◀ اكتب معادلة تفكك K_2SO_4 إلى أيونات عند إذابته في الماء، ثم احسب التركيز الكلي للأيونات في محلول تركيزه ٣٠٠٠ مول/كغ من K_2SO_4 ، مفترضاً التفكك التام للمحلول.

درجة تجمد محلول

ثالث

لماذا يحرص الناس في بداية فصل الشتاء على إضافة مادة غلايكول الإيثيلين $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ إلى الماء الموجود في مشعاع السيارة؟ وما أثر هذه المادة في خصائص الماء؟

من المعروف أن درجة تجمد الماء النقى هي صفرٌ س عند ١ ض. ج، وأنه عندما تنخفض درجة الحرارة إلى الصفر أو تحت الصفر يتجمد الماء، ويزداد حجمه في مشعاع السيارة، فتتعطل. وقد ثبت أنه عند إذابة مول واحد من غلايكول الإيثيلين في كيلوغرام من الماء فإن درجة تجمد محلول تنخفض إلى (-١٨٦°س)، وبذلك لا يتجمد الماء في مشعاع السيارة في فصل الشتاء عندما تنخفض درجة الحرارة إلى صفرٌ س.

وقد ثبت أيضاً أن مقدار الانخفاض في درجة تجمد محلول يتناسب طردياً مع تركيز محلول، ويمكن التعبير عن التركيز المولالي بالعلاقة الآتية:

$$\text{مقدار الانخفاض في درجة التجمد} = \text{ثابت} \times \text{التركيز المولالي}$$

$$\Delta T = K \times M$$

حيث K ثابت الانخفاض في درجة التجمد، وهو يساوي مقدار الانخفاض في درجة تجمد المذيب عند إذابة مول واحد من المذاب في كيلوغرام واحد من المذيب النقى.

ويعين الجدول (٤-٣) قيمة ثابت الانخفاض في درجة التجمد لبعض المذيبات السائلة.

المجدول (٤-٣): قيم ثابت الانخفاض في درجة التجمد لبعض المذيبات السائلة.

المذيب	درجة التجمد (°س)	قيمة ثابت الانخفاض في درجة التجمد (°س. كغ/مول)
الماء	صفر	١,٨٦
البنزين	٥,٥	٥,٠٦
الإيثانول	١١٧-	٥,١٢
حمض الإيثانويك	١٧	٣,٩

الكيمياء في حياتنا

يمكن الاستفادة من الانخفاض في درجة تجمد محلول أيام الشتاء، وذلك برشّ الطرق ببعض المركبات، مثل كلوريد الصوديوم، وكلوريد الكالسيوم؛ لمنع حدوث التجمد عندما تنخفض درجة حرارة الهواء الجوي إلى ما دون الصفر.

مثال (٣)

احسب درجة التجمد لمحلول يحتوي على ١٢,٣٨ غ من سكر الغلوکوز $C_6H_{12}O_6$ ، مذابة في ٢٥٠ غ من الماء، علماً بأن الكتلة المولية للسكر ١٨٠ غ/مول، وكـ١١,٨٦ س.كغ/مول.

الحل

السكر مادة لا كهربية؛ لذا فإن عدد مولات الدقائق الناتجة يساوي عدد مولات المذاب.

$$\text{عدد مولات المذاب} = \frac{١٢,٣٨}{١٨٠}$$

= ٠,٠٦٩ مول من الغلوکوز.

$$\text{التركيز المولالي (م)} = \frac{٠,٠٦٩}{٠,٢٥}$$

= ٢٧٦ مول/كغ.

مقدار الانخفاض في درجة التجمد (ΔT) = $m \times k$

$$= ١,٨٦ \times ٠,٢٧٦$$

$$= ٠,٥١ س.$$

درجة تجمد محلول = صفر - ٠,٥١

$$= - ٠,٥١ س.$$

يُطلق على خصائص المحاليل، مثل: الضغط البخاري، والارتفاع في درجة الغليان، والانخفاض في درجة التجمد اسم الخصائص الجمعية؛ لأنها لا تعتمد على طبيعة المادة، وإنما تعتمد على التركيز المولالي للمحلول؛ أي على عدد دقائق المذاب، ولهذه الخصائص أهمية في التطبيقات العملية مثل تعيين الكتلة المولية للمذاب كما يتضح في المثال الآتي.

٤ مثال (٤)

عند إذابة ٦٤,٠ غ من مادة عضوية في ١٠٠ غ من البنزين، وُجِدَ أن درجة غليان محلول الناتج هي ٢٣,٨٠°س. احسب الكتلة المولية للمادة المذابة، علمًا بأن درجة غليان البنزين النقي ١٨٠,١°س، وكغ للبنزين ٢,٦١°س. كغ/مول.

الحل

$$\Delta \text{غ} = \text{درجة غليان محلول} - \text{درجة غليان المذيب النقي}$$

$$\Delta \text{غ} = ٢٣,٨٠ - ١٨٠,١ = ١٣,٠°\text{س}$$

$$\Delta \text{غ} = \text{م} \times \text{كغ}$$

$$٢,٦١ = \text{م} \times ١٣$$

$$\frac{٠,١٣}{٢,٦١} = \text{م}$$

$$= ٠,٤٩٨ \text{ مول/كغ.}$$

$$\text{عدد مولات المذاب} = \text{م} \times \text{كتلة المذيب}$$

$$= ٠,٤٩٨ \times ٠,٠٠٤٩٨ = ٠,١ \text{ مول.}$$

$$\text{الكتلة المولية للمذاب} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{عدد المولات}}$$

$$\frac{٠,٦٤}{٠,٠٠٤٩٨} =$$

$$= ١٢٨,٥ \text{ غ/مول.}$$

سؤال

◀ أذيب ٩٩ غ من مركب لا كهربائي في ٦٦٩ غ ماءً، فوُجِدَ أن درجة تجمد محلول الناتج (-٩٦,٠°س). احسب الكتلة المولية للمركب.

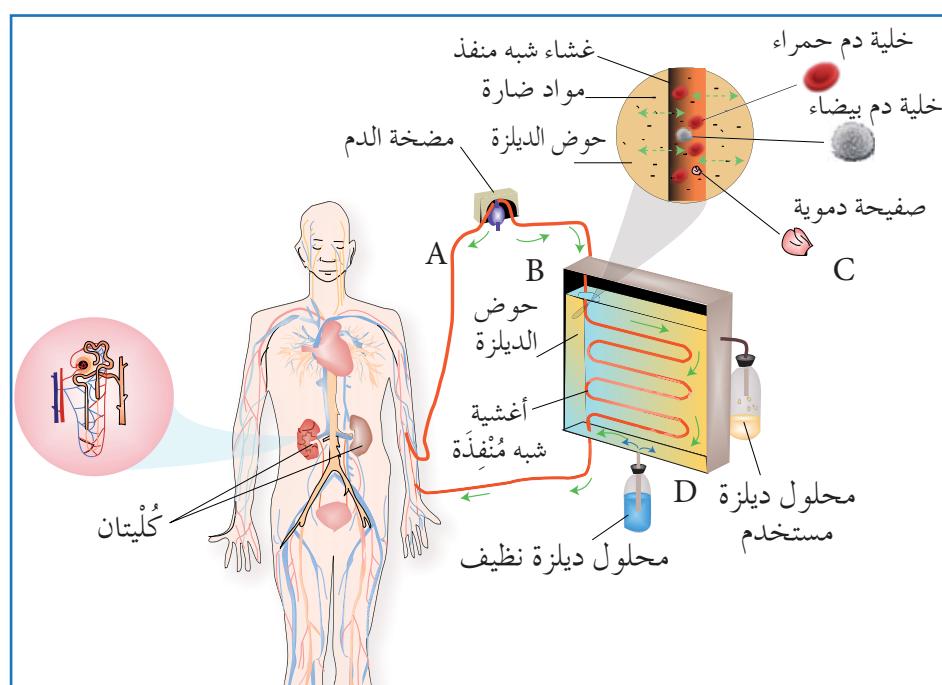
محاليل غسل الكلى لمرضى الفشل الكلوى

ينقل دمك الأكسجين والمواد المغذية الأخرى إلى الخلايا، ويساعد على التخلص من المواد الضارة من هذه الخلايا بنقلها إلى الكلية؛ لأن الوظيفة الرئيسية للكلية هي تصفية المواد السامة من الدم وإخراجها مع البول، علماً بأن الدم جميعه يمر بالكليتين كل 45 دقيقة، وفي حال فشلت الكلية في عملها فإن السموم تراكم داخل الجسم، وعندئذٍ يمكن تنقية الدم خارج الجسم باستخدام جهاز تنقية خاص يمر بمراحل عدّة في ما يُعرف بعملية الديلزة (Hemodialysis)،

انظر الشكل (١٤-٣).

تمثل المرحلة A في وصل أنبوب بين المريض وجهاز الديلزة، فتسحب الآلة الدم من الوريد خلال ممر الديلزة، ثم تعده إلى وريد آخر.

أما المرحلة B فتشمل الأنابيب التي داخل جهاز الديلزة ، والتي تحتوي على أغشية شبه مُنفِّذة



الشكل (١٤-٣): مراحل عملية الديلزة.

تسمح بتبادل المواد خلالها في الاتجاهين اعتماداً على الاختلاف في التركيز ، فتنتقل المواد الضارة من الوسط الأعلى تركيزاً (دم المريض) إلى الوسط الأقل تركيزاً (جهاز الديلزة).

وفي المرحلة C تُنْفَذ دقائق المواد الضارة خلال هذا الغشاء إلى محلول الديلزة، وتبقى الجسيمات الكبيرة من الصفائح الدموية وكريات الدم الحمراء والبيضاء في دم المريض؛ إذ إنها لا تنتقل خلال هذا الغشاء.

وتمثل المرحلة D في إضافة محلول ديلزة نقي، وإزالة محلول الذي يحتوي على المواد الضارة. جدير بالذكر أن هذه المراحل من عملية الديلزة تكرر إلى أن يُنْقَى الدم، ويستغرق ذلك ساعات عدّة، فسبحان الله الذي أبدع خلقه، فقال: ﴿وَفِي أَنفُسِكُمْ أَفَلَا يُبَصِّرُونَ﴾.

٧ أسئلة الفصل

- ١ - رتب المحاليل ذات التراكيز الآتية تصاعدياً وفق درجة غليانها، مفترضاً التفكك التام للمركبات الكهروية منها:
- أ) محلول السكر وزن $C_{12}H_{22}O_{11}$ (سكر المائدة) الذي تركيزه $1,00$ مول / كغ.
- ب) محلول كلوريد الصوديوم $NaCl$ الذي تركيزه $1,00$ مول / كغ.
- ج) محلول كلوريد المغنيسيوم $MgCl_2$ الذي تركيزه $0,08$ مول / كغ.
- د) محلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 الذي تركيزه $4,00$ مول / كغ.
- ٢ - ضع إشارة (✓) إزاء العبارة الصحيحة، وإشارة (X) إزاء العبارة غير الصحيحة في ما يأتي:
- أ) تعتمد الخصائص الجماعية للمحاليل على عدد دقائق المذاب بغض النظر عن نوعها.
- ب) إذا كانت درجة تجمد محلول المائي تحت الصفر $^{\circ}S$ فإن درجة غليانه تكون أعلى من $100^{\circ}S$.
- ج) مقدار الانخفاض في درجة التجمد لمحلول ملح الطعام $1,00$ مول / كغ يساوي نصف مقدار الانخفاض في درجة التجمد لمحلول السكر $1,00$ مول / كغ.
- ٣ - احسب درجة تجمد محلول مائي من كلوريد الباريوم $BaCl_2$ يحتوي على $1,00$ مول من $BaCl_2$ في 500 مل من الماء، علماً بأن كلوريد الباريوم مادة متآينة تفكك كلياً إلى أيونات في محلول، وكثافة الماء $1 \text{ g}/\text{ml}$.
- ٤ - أذيب $1,2$ غ من مادة غير متطايرة في 60 غ من البنزين، وقد وجد أن درجة غليان محلول $80,96^{\circ}S$. إذا علمت أن درجة غليان البنزين النقي هي $80,1^{\circ}S$ ، وأن كثافة البنزين $2,61^{\circ}S$. كغ / مول، فاحسب الكتلة المولية للمادة المذابة.
- ٥ - كم غراماً يجب إضافته من مركب صيغته الجزيئية $C_4H_{10}O_3$ إلى 400 غ من الماء لينتج محلول درجة تجمده $(-10^{\circ}S)$ ، علماً بأن ثابت انخفاض درجة التجمد للماء هو $1,86^{\circ}S$ كغ / مول، والكتلة المولية للمركب $106 \text{ g}/\text{mol}$.

أسئلة الوحدة

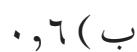
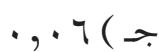
١ - ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي :

(١) المادة التي لا تذوب في الماء هي :

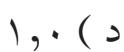


(٢) ذائبية غاز الأرغون عند درجة حرارة 25°C وضغط جوي 1 atm هي :

ملي مول / لتر هي :



(٣) عدد مولات MgCO_3 الموجودة في لتر من محلوله ذي التركيز $0,02 \text{ mol/L}$ هو :



(٤) محلول KOH حجمه 300 mL ، وتركيزه 2 mol/L ، **خفف** بإضافة 200 mL

ماء، فأصبح تركيزه الجديد :

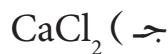


(٥) النسبة المئوية الكتليلية لمحلول ناتج من إذابة 40 g KNO_3 في 160 g من الماء هي :



(٦) محلول الذي درجة غليانه أعلى من بين المحاليل الآتية، بعد إذابة مول واحد من

المذاب من كل منها في كيلوغرام من الماء هو :



٢ - احسب النسبة المئوية الكتليلية لحمض الفورميك HCOOH (الحمض المسؤول عن الوخزة

المؤلمة من لدغة النمل) في محلوله المائي الذي تركيزه $1,1 \text{ mol/L}$ ، وحجمه لتر، علمًا بأن

كثافة محلول $1,0 \text{ g/mL}$ ، والكتلة المولية $M = \text{HCOOH} = 60 \text{ g/mol}$.

٣ - يوجد سكر الغلوكوز $C_6H_{12}O_6$ في الفاكهة، ويُسمى سكر الدم لأنّه موجود أيضًا في الدم،

وهو مصدر رئيس للطاقة في جسم الإنسان. ما التركيز المولالي لمحلول منه يحوي 5 g من

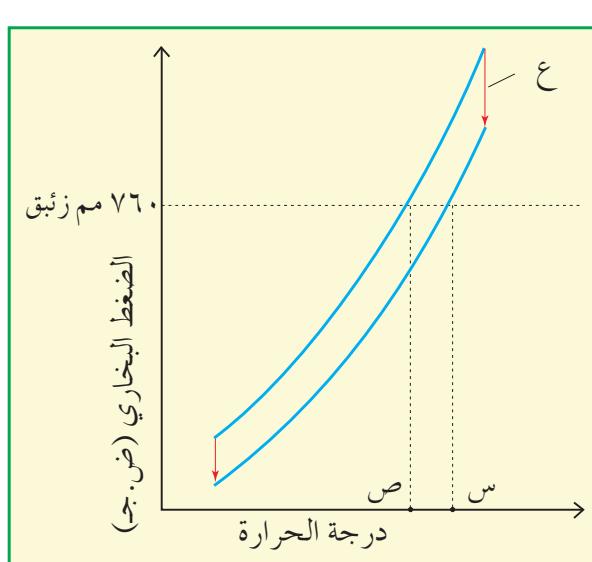
الغلوكوز المذاب في 25 g من الماء، علمًا بأن الكتلة المولية $M = C_6H_{12}O_6 = 180 \text{ g/mol}$ ؟

٤ - إذا كان التركيز المولالي للمحلول KCl يساوي $2,0$ مول/كغ، فاحسب التركيز المولاري لهذا محلول إذا علمت أن كثافة محلول $1,1$ غ/مل، والكتلة المولية لـ $KCl = 74,5$ غ/مول.

٥ - محلول مائي يحوي $9,0$ مول/لتر من $Pb(NO_3)_2$. احسب التركيز المولاري لهذا محلول، علماً بأن كثافته $1,25$ غ/مل، والكتلة المولية لـ $Pb(NO_3)_2 = 331$ غ/مول.

٦ - الهرمونات مواد كيميائية تعمل على ضبط عمليات الأيض في أجسام الكائنات الحية. فإذا أذيت عينة من هرمون كتلتها $6,46 \times 10^{-5}$ غ في 15 غ من البنزين، وكان مقدار الانخفاض في درجة التجمد $24,0^\circ\text{S}$ ، فاحسب الكتلة المولية للهرمون، علماً بأن كتلة البنزين $5,0^\circ\text{S}$. كغ/مول، ودرجة تجمد البنزين $5,5^\circ\text{S}$.

٧ - ادرس الشكل (١٣-٣) الذي يوضح منحنى الضغط البخاري للماء النقى، ومنحنى الضغط البخاري للمحلول مادة غير متطايرة ولا كهربية، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



الشكل (١٣-٣): منحنى الضغط البخاري للماء النقى، ومحلول مادة غير متطايرة ولا كهربية.

أ) عِين منحنى الضغط البخاري للمحلول.

ب) ماذا تمثل الرموز: س، ص، ع؟

ج) فسر سبب الاختلاف في قيم الضغط البخاري للمحلول عنها للماء النقى.

د) كيف تكون قيم الضغط البخاري للمحلول مادة كهربية مقارنةً بمحلول مادة لا كهربية (أقل، أعلى، متساوية) إذا كان للمحلولين التركيز نفسه؟

٨ - إذا كانت كمية الماء في مشعاع سيارة $4,5$ كغ:

أ) جد كتلة غلايكول الإيثيلين $C_2H_6O_2$ اللازم إضافتها لمنع تجمد الماء في مشعاع السيارة حتى درجة (-5°S) (الكتلة المولية لـ $C_2H_6O_2 = 62$ غ/مول).

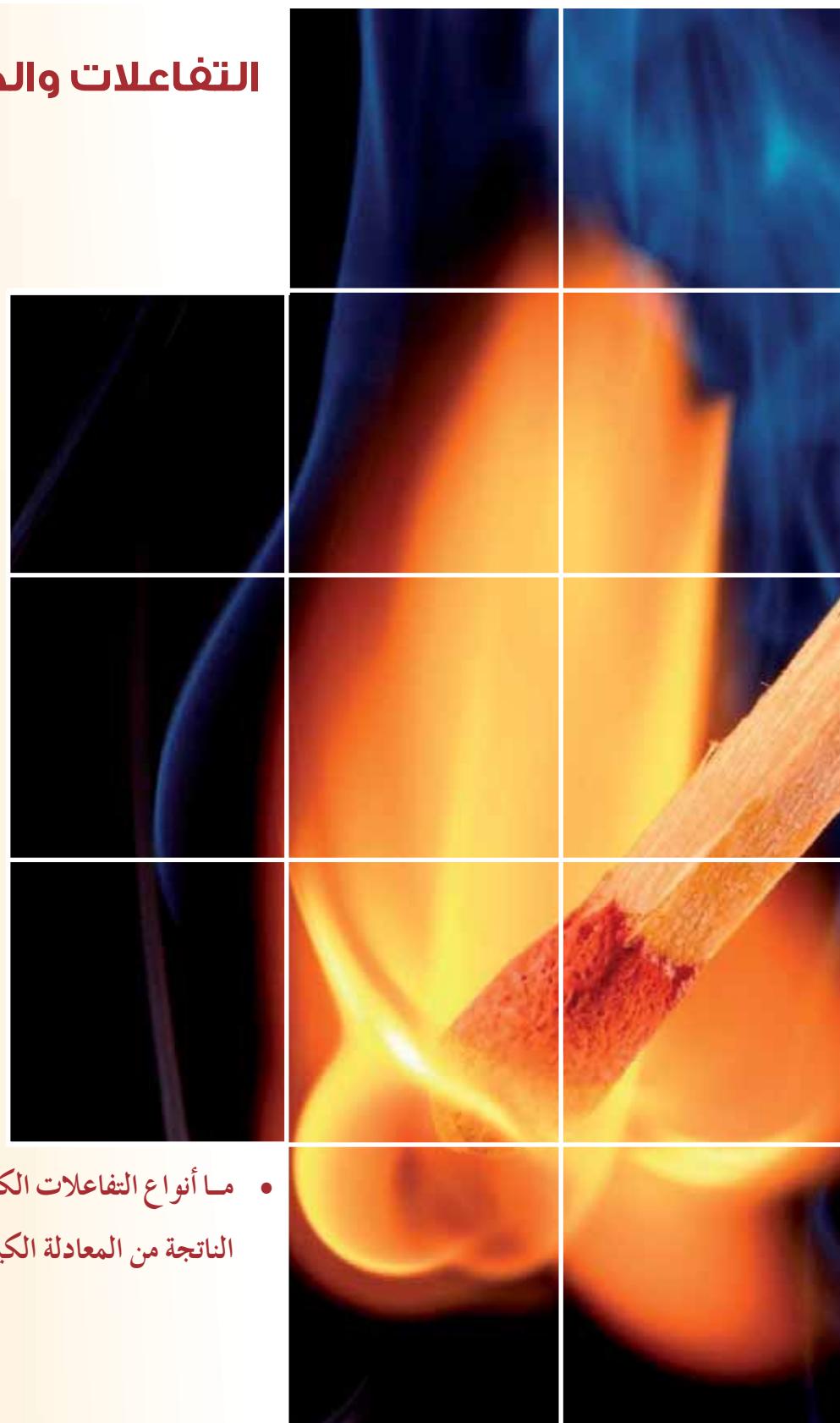
ب) ما درجة الغليان للمحلول الناتج؟

الوحدة الرابعة

٤

التفاعلات والحسابات الكيميائية

- أنواع التفاعلات الكيميائية
- الحسابات الكيميائية
- الاتزان



الفصل الأول

١

أنواع التفاعلات الكيميائية

Types of Chemical Reactions

تكتسب التفاعلات الكيميائية أهمية كبيرة في حياتنا؛ إذ يحترق الوقود في محرك السيارة مولداً الطاقة التي تحرّكها، وينتج النبات غذاؤه من خلال عملية البناء الضوئي بتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء. وتُعدُّ الأنواع المختلفة من الأدوية والألياف الصناعية والأسمدة أمثلة على نواتج التفاعلات الكيميائية المختلفة. ونظرًا إلى وجود العديد من التفاعلات الكيميائية؛ فقد صُنِّفت بطريقة تساعد على فهمها من جهة، وتمكّن من التنبؤ بنواتج تفاعلات أخرى من جهة أخرى.

- فما أنواع التفاعلات الكيميائية؟ وكيف يمكن التعبير عنها؟ وكيف تميّز بعضها من بعض؟
ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:
- تُصنِّف التفاعلات إلى أنواعها الرئيسة.
 - تُبيّن الفروق بين أنواع التفاعلات الكيميائية المختلفة.
 - تعطي أمثلة على أنواع التفاعلات الكيميائية.
 - تتنبأ بنواتج بعض التفاعلات الكيميائية قياساً على التفاعلات المشابهة.
 - تعي أهمية التفاعلات الكيميائية في الحياة اليومية.

ما تفاعلات الاتحاد؟ وما أنواعها؟ وكيف يمكن التعبير عنها؟ وكيف نُميّزها من غيرها من التفاعلات؟ للاجابة، نفّذ النشاط (٤-١).

نشاط (٤-١): تفاعل الاتحاد



المواد والأدوات المطلوبة

شريط مغنيسيوم، لهب بنسن، ملقط، جفنة.

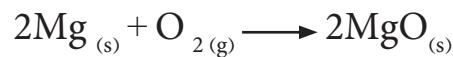
صُمم نشاطاً يؤدي إلى إحداث تفاعل كيميائي مُستخدِّماً المواد السابقة، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

- صِف التفاعل الحاصل.
- صَنْف شريط المغنيسيوم وغاز الأكسجين والمادة الناتجة من التفاعل إلى عنصر ومرَّكب.
- اكتب معادلة موزونة تُمثِّل التفاعل الحاصل.

إن ما قمت به يُعدُّ مثالاً على تفاعل الاتحاد (Combination Reaction)؛ إذ يتفاعل المغنيسيوم وغاز الأكسجين لإنتاج مرَّكب جديد هو أكسيد المغنيسيوم كما في المعادلة الآتية:



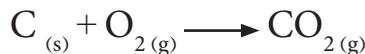
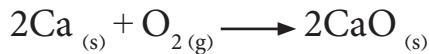
الشكل (٤-٤): قطع من الحديد يعلوها الصدأ.



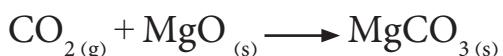
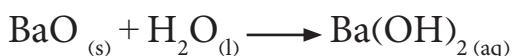
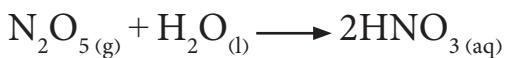
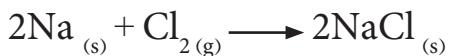
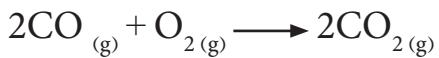
ومن المشاهدات الحياتية لتفاعلات الاتحاد تكون الصدأ على قطع الحديد، انظر الشكل (٤-٤)، الذي ينتج من اتحاد عنصر الحديد مع غاز الأكسجين بوجود الماء، والذي تُمثِّله المعادلة الآتية:



تُعدُّ تفاعلات غاز الأكسجين مع الفلزات والالفلزات لإنتاج أكسيداتها أحد تفاعلات الاتحاد كما في المعادلين الآتيين:



تقسم تفاعلات الاتحاد إلى أنواع عدّة تبعاً لطبيعة المواد المتفاعلة. ولتعرف هذه الأنواع، ادرس التفاعلات الآتية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها.



- أي المعادلات السابقة تمثل تفاعل عنصر مع عنصر؟
- أي المعادلات السابقة تمثل تفاعل عنصر مع مركب؟
- أي المعادلات السابقة تمثل تفاعل مركب مع مركب؟
- بناءً على ما توصلت إليه، اذكر أنواع تفاعلات الاتحاد.

يتبيّن مما سبق أن تفاعلات الاتحاد يمكن أن تتم بتفاعل عنصر مع عنصر، أو عنصر مع مركب، أو مركب مع مركب لإنتاج مركب جديد.

ومن الجدير بالذكر أن هيدروكسيدات الفلزات تنتج من تفاعلات الأكسيد الفلزية مع الماء، وأن الحموض تُنتج من تفاعلات الأكسيد اللافلزية مع الماء.

سؤال

◀ اكتب معادلة عامة تمثل تفاعل الاتحاد.

◀ هل تختلف الأكسيد الناتجة من تفاعل الأكسجين مع الفلزات عن تلك الناتجة من تفاعلها مع اللافلزات من حيث خصائصها الحمضية والقواعدية؟ فسر إجابتك.

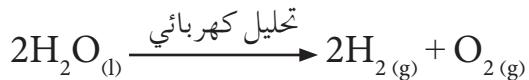


الكيمياء في حياتنا

تُستخدم الأكسيد في صناعة الدهانات بسبب لوانها الجميلة، مثل أكسيد التيتانيوم ذي اللون الأبيض، وأكسيد الحديد ذي اللون الأحمر.

تفاعلات التحلل

كيف يمكن إنتاج غاز الأكسجين من الماء؟ وما نوع التفاعل الذي يحصل للماء عندما تتفكّك جزيئاته إلى مكوّناته الرئيسية كما في المعادلة الآتية:



يُسمّى هذا النوع من التفاعل تفاعل التحلل (Decomposition Reaction)؛ إذ يتحلل مركب واحد إلى مادتين أو أكثر، وقد تكون النواتج عناصر أو مركبات، ويعبر عن عملية تحلل مركب افتراضي BC إلى العناصر المكوّنة له بالمعادلة الآتية:



ولكي تعرّف تفاعلات التحلل، نفذ النشاط (٤-٢).

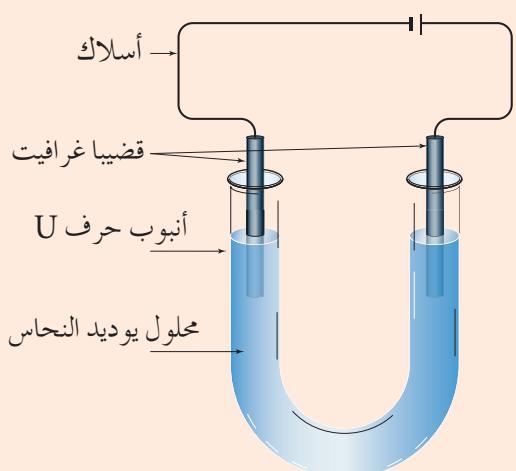
نشاط (٤-٢): تفاعلات التحلل



المواد والأدوات المطلوبة

محلول يوديد النحاس CuI_2 أو (بروميد النحاس CuBr_2)، أنبوب زجاجي على شكل حرف U، قضيباً غرافيت، أسلاك، بطارية ٩ فولت.

الخطوات

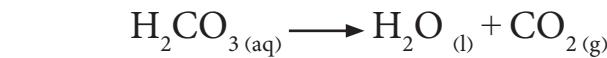


١ - ركب جهاز التحليل الكهربائي كما في الشكل المجاور.

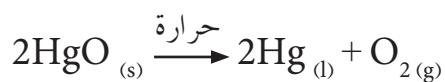
٢ - شغل الجهاز مدة خمس دقائق، ملاحظاً ما يحدث على القطبين، ثم دون ملاحظاتك.

٣ - اكتب معادلة التفاعل الحاصل.

توجد أنواع كثيرة من تفاعلات التحلل، مثل تحلل حمض الكربونيك إلى غاز ثاني أكسيد الكربون والماء كما في المعادلة الآتية:



تحلل الأكاسيد إلى مكوناتها الرئيسية، ويبيّن الشكل (٤-٣) تحلل أكسيد الزئبق(II) HgO ذي اللون الأحمر بالحرارة إلى عناصره حسب المعادلة الآتية:



الشكل (٤-٣): تحلل أكسيد الزئبق(II) بالحرارة.

الكيمياء في حياتنا

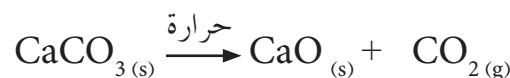


الحنفباء المدفعية تحتوى في جسمها على مادة H_2O_2 التي تتحلل بوجود الإنزيمات إلى أكسجين وبخار ماء وطاقة مولدة ضغطاً، فتنطلق من جسم الحنفباء على شكل غازات تساعدها في الدفاع عن نفسها عند مواجهة الأعداء.

سؤال

◀ يتحلل بروميد الفضة AgBr (المستخدم في طلاء الأفلام الفوتوغرافية) بتأثير الضوء إلى عناصره. اكتب معادلة موزونة لهذا التفاعل.

وتتحلل كربونات الفلز أيضاً بالحرارة إلى أكسيد الفلز، وغاز ثاني أكسيد الكربون، ومن الأمثلة على ذلك تحلل كربونات الكالسيوم بالحرارة إلى أكسيد الكالسيوم وغاز ثاني أكسيد الكربون كما في المعادلة الآتية:



سؤال

◀ اكتب معادلة كيميائية لفظية عامة تمثل تفاعل تحلل كربونات الفلز بالحرارة.

وتتحلل كربونات الفلز الهيدروجينية بالحرارة إلى كربونات الفلز والماء وثاني أكسيد الكربون كما في المعادلة العامة الآتية:



ومن الأمثلة على ذلك تحلل كربونات الصوديوم الهيدروجينية بالحرارة إلى كربونات الصوديوم والماء وثاني أكسيد الكربون كما في المعادلة الآتية:



سؤال

اكتب معادلات موزونة تمثل التفاعلين الآتيين:

◀ تحلل كربونات المغنيسيوم الهيدروجينية $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ بالحرارة.

◀ تحلل كربونات الخارصين ZnCO_3 بالحرارة.

قد يتحلل المركب إلى عنصر ومركب واحد أو أكثر؛ فمثلاً تتحلل كلورات العناصر القلوية إلى كلوريد الفلز وغاز الأكسجين، ويستخدم هذا التفاعل لتحضير غاز الأكسجين في المختبر.

سؤال

◀ تتحلل كلورات البوتاسيوم KClO_3 بالحرارة، فينتج كلوريد البوتاسيوم وغاز الأكسجين.

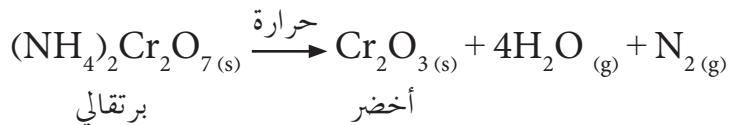
اكتب معادلة موزونة تمثل التفاعل السابق.

الكيمياء في حياتنا



توجد مادة كلورات البوتاسيوم KClO_3 ومادة ثلاثي كبريتيد رباعي الفسفور S_4P_4 في رؤوس أعواد الثقب. عند شحط رأس عود الثقب بسطح العلبة يحدث التفاعل، وتنطلق الشرارة.

ومن التفاعلات الممتعة ما يحدث عند تسخين دايكرومات الأمونيوم؛ إذ تُسبِّب الغازات الناتجة من تحلُّل هذه المادة فوراً يشبه فوران البركان، انظر الشكل (٤-٤).



الشكل (٤-٤) تسخين دايكرومات الأمونيوم.

قضية للبحث

ابحث في أحد مراجع الكيمياء، أو في الشبكة المعلوماتية عن سبب حاجة معظم تفاعلات التحلُّل إلى ضوء أو حرارة، ثم اكتب تقريراً عن ذلك.

ثالث

تفاعلات الإحلال الأحادي

تفاعلات الإحلال الأحادي (Single Displacement Reactions) هي تفاعلات يحل فيها العنصر الأكثر نشاطاً محل العنصر الأقل نشاطاً في أحد مركباته، ويُطلق عليها أيضاً اسم تفاعلات التنافس كما مرّ بك في الصف التاسع. ولتوسيع هذا النوع من التفاعلات، نُفذ النشاط (٤-٣).

نشاط (٤-٣): تفاعلات الإحلال الأحادي

المواد والأدوات المطلوبة

قطع من الخارصين، كبريتات النحاس $CuSO_4$ ، ترات الفضة $AgNO_3$ ، سلك نحاس، ماء مقطّر، ملعقة، كأسان زجاجيتان، مخبر مدرج.

الخطوات

- ١ - حضر محلول كبريتات النحاس بوضع نصف ملعقة صغيرة من كبريتات النحاس في الكأس الزجاجية، ثم أضف إليها ١٥ مل من الماء المقطر.
- ٢ - أضف قطع الخارصين إلى محلول. ماذا تلاحظ؟ هل تكون راسب؟ ما لونه؟ ما اسم المادة الراسبة؟
 - اكتب معادلة موزونة تمثل هذا التفاعل.
- ٤ - ضع سلك النحاس في كأس زجاجية أخرى تحتوي على محلول نترات الفضة. ماذا تلاحظ؟ هل تكون راسب؟ ما لونه؟ ما اسم المادة المترسبة؟
 - اكتب معادلة موزونة تمثل التفاعل.

تُعد التفاعلات التي توصلت إليها في النشاط السابق تفاعلات إحلال أحادي، ويمكن التعبير عنها بالمعادلتين الآتيتين:



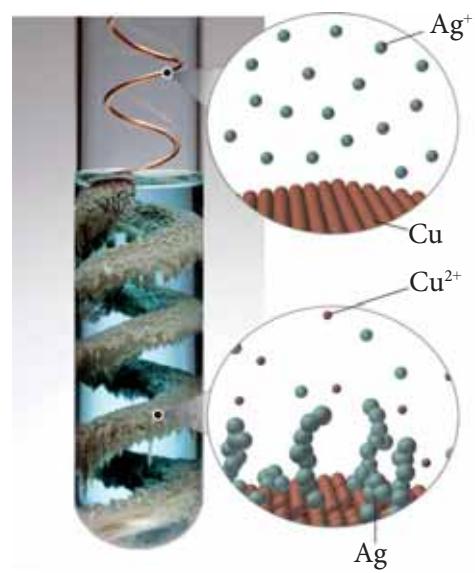
● ما الفلز الأكثر نشاطاً في كل معادلة؟

● ما الفلز الأقل نشاطاً؟

● اكتب معادلة عامة تمثل تفاعل الإحلال الأحادي.

لاحظ في المعادلة الأولى أن فلز الخارصين (الأكثر نشاطاً) قد حل محل فلز النحاس (الأقل نشاطاً)، وأن فلز النحاس (الأكثر نشاطاً) في المعادلة الثانية، قد حل محل الفضة. ويوضح الشكل (٤-٥) ما يحدث لكلٍّ من النحاس وأيونات الفضة في التفاعل الثاني.

لتفاعلات الإحلال الأحادي أهمية كبيرة في حياتنا؛ فهي تستخدم في تحضير أو استخلاص بعض العناصر من



الشكل (٤-٥): تفاعل نترات الفضة مع النحاس.

مركباتها؛ إذ يحضر غاز الهيدروجين مثلاً في المختبر بتفاعل بعض الفلزات مع الحموض مثل HCl , H_2SO_4 ، ومن ذلك وضع الخارصين في محلول حمض الكبريتيك، حيث يحل الخارصين محل الهيدروجين كما في المعادلة الآتية:



سؤال

◀ أكمل المعادلين الآتيين:



رابعاً

تفاعلات الإحلال المزدوج

يحدث هذا النوع من التفاعلات عند مزج محلولين لمركبين أيونيين، فتتبادل الأيونات في المركبين أماكنها مكونةً مركبات جديدة يمكن أن تظهر على شكل مادة راسبة أو غازات، ويمكن التعبير عن هذا النوع من التفاعلات بالمعادلة العامة الآتية:



ولكي تعرّف تفاعلات الإحلال المزدوج، نفذ النشاط (٤-٤).

نشاط (٤-٤): تفاعلات الإحلال المزدوج

المواد والأدوات المطلوبة

كأس زجاجية سعتها ١٢٥ مل، محلول كربونات الصوديوم Na_2CO_3 تركيزه ٥٠ مول/لتر،

محلول كلوريد النحاس(II) CuCl_2 تركيزه ٥٠ مول/لتر.

الخطوات

١ - ضع ٢٥ مل من محلول كربونات الصوديوم Na_2CO_3 ، و ٢٥ مل من محلول كلوريد

النحاس(II) CuCl_2 في الكأس الزجاجية، ثم دَوْن ملاحظاتك حول لون كل محلول.

٢ - حرك المحلول الناتج بطفف. ماذا تلاحظ؟

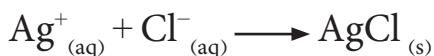
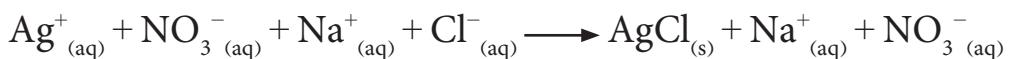
● اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل التفاعل الم hasil.

● ناقش ما توصلت إليه من نتائج مع زملائك.

تصنّف تفاعلات الإحلال المزدوج (Double Displacement Reactions) إلى الأنواع الآتية:

١ - تفاعلات الترسيب

تحدث هذه التفاعلات عند مزج محلولين لمركبين أيونيin، فيتحد الأيون الموجب من أحدهما مع الأيون السالب من الآخر، ليتَكوّن مركب أيوني غير ذائب يتَرَسَّب في وعاء التفاعل. ومن الأمثلة على تفاعلات الترسيب ما يحدث عند مزج محلولي نترات الفضة AgNO_3 وكlorيد الصوديوم NaCl لإنتاج راسب كلوريد الفضة AgCl الذي تمثله المعادلة الأيونية الآتية:



معادلة أيونية صافية

لاحظ أن بعض الأيونات لا تدخل في التفاعل، مثل Na^+ ، و NO_3^- . أمّا أيونات Ag^+ ، وأيونات Cl^- فتتفاعل لتَكوّن راسباً هو AgCl ، وتُسمى معادلة التفاعل النهاية المعادلة الأيونية الصافية.

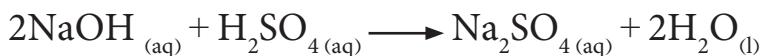
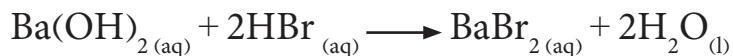
سؤال



◀ عند مزج محلول نترات الرصاص $\text{Pb(NO}_3)_2$ مع محلول يوديد البوتاسيوم KI يظهر راسب أصفر من يوديد الرصاص PbI_2 كما في الشكل (٤-٦). اكتب معادلة موزونة تمثل هذا التفاعل.

الشكل (٤-٦): تفاعل محلول نترات الرصاص مع محلول يوديد البوتاسيوم.

هي تفاعلات تحدث بين حمض وقاعدة، وتؤدي إلى تكوين الملح والماء كما في المعادلين الآتيين:



سؤال

- ◀ اكتب معادلة أيونية صافية لكُل من التفاعلين السابقين.
- ◀ اكتب معادلة تفاعل حمض النيتريل HNO_3 مع هيدروكسيد الليثيوم LiOH .

يُطلق هذا النوع من تفاعلات الإحلال المزدوج غازات عند حدوثه، ومن الأمثلة عليه تفاعل كربونات الكالسيوم CaCO_3 مع حمض الهيدروكلوريك HCl الذي ينتج كلوريد الكالسيوم CaCl_2 وحمض الكربونيك H_2CO_3 ، وهو حمض غير ثابت يتفكّك إلى الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وتمثل المعادلة الآتية التفاعل الحادث:



ومن الأمثلة الأخرى على التفاعلات التي تؤدي إلى إنتاج غاز تفاعل كربونات الصوديوم أو كربونات الصوديوم الهيدروجينية مع حمض الهيدروكلوريك، فينتج كلوريد الصوديوم، والماء، وغاز ثاني أكسيد الكربون.

سؤال

- ◀ اكتب معادلة لتفاعل كربونات الصوديوم مع حمض الهيدروكلوريك.

الكيمياء في حياتنا



تستخدم كربونات الصوديوم Na_2CO_3 لإزالة عسر الماء، وصناعة الزجاج، والصناعات الغذائية.

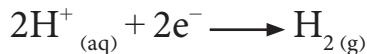
تجدر الإشارة إلى أن تفاعلات الاتحاد والتحلل والإحلال الأحادي هي تفاعلات تأكسد واختزال. ادرس المعادلة الآتية التي تمثل تفاعل إحلال أحادي، ملاحظاً عمليتي التأكسد والاختزال المترافقين فيها:



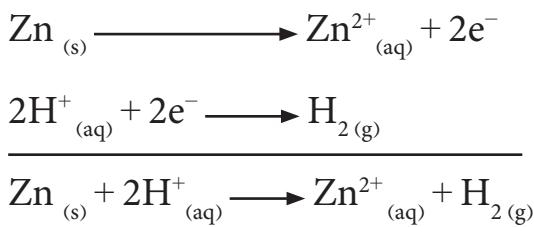
تُكوّن ذرة Zn في التفاعل الحاصل أيون Zn^{2+} نتيجة فقدانها الإلكترونات في عملية التأكسد، وذلك على النحو الآتي:



ويكتسب أيون الهيدروجين الإلكترونات الناتجتين في عملية الاختزال؛ إذ يكتسب كل أيون H^+ إلكتروناً واحداً ليتحول إلى ذرة هيدروجين، وتحدد الذرتان لتكوين جزيء الهيدروجين H_2 على النحو الآتي:

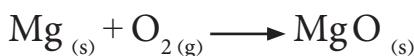


وعند جمع المعادلتين السابقتين ينتهي التفاعل الكلي على النحو الآتي:



سؤال

لديك التفاعلان الآتيان:



◀ حدد نوع كل تفاعل.

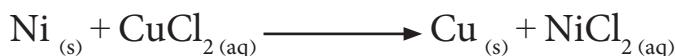
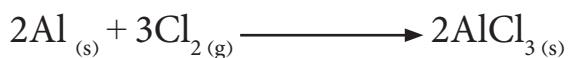
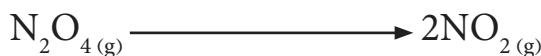
◀ عَبِّر عن عمليتي التأكسد والاختزال في التفاعل الأول بمعادلة أيونية.

٧ أسئلة الفصل

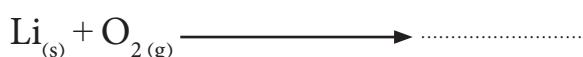
١ - عرّف ما يأتي:

تفاعل الإحلال الأحادي، تفاعلات الترسيب، تفاعل التحلل، المعادلة الأيونية الصافية، الإحلال المزدوج، التفاعل الكيميائي، تفاعلات التعادل.

٢ - حدد نوع التفاعل (تحلل، اتحاد، إحلال أحادي، إحلال مزدوج) الذي تمثله كل من المعادلات الآتية:



٣ - أكمل المعادلات الآتية، ثم زِنها:



٤ - لماذا لا يُعد تفاعل الإحلال المزدوج تفاعل تأكسد واحتزال؟

الفصل الثاني

٢

الحسابات الكيميائية

Chemical Calculations

عرفت في الصف العاشر أن المعادلة الكيميائية الموزونة هي تعبير بالرموز والصيغ الكيميائية يعطي وصفاً كمياً ونوعياً لـ التفاعلات الكيميائية، وأنها تساعد على حساب كميات المواد الداخلة والناجحة من التفاعل الكيميائي.

يُمثل حساب كتل المواد المتفاعلة والناجحة في التفاعلات الكيميائية أهمية كبيرة في الأنشطة الحياتية والصناعية؛ إذ يستخدمه الكيميائيون في المصانع والمخابرات لـ تحديد الكميات المناسبة من المواد المتفاعلة للحصول على كميات محددة من النواتج المهمة في حياتنا، مثل: الصابون، والعطور، والأدوية. فكيف يمكن إجراء حسابات كيميائية لإيجاد كتل المواد وتراكيز المحاليل وحجوم الغازات؟ وكيف تُحدَّد كمية النواتج في التفاعلات المختلفة؟

ستتمكن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك لهذا الفصل، ويتوّقع منك بعد ذلك أن:

- تستخدم المعادلة الكيميائية الموزونة لـ إجراء حسابات كيميائية كمية تتعلق بالتركيز والكتلة والحجم.

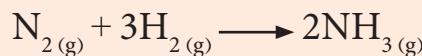
- تُوضّح مفهوم المادة المحددة لـ التفاعل، وتحري الحسابات الكمية المتعلقة بها.
- تحسب المردود المئوي لمادة ناجحة من تفاعل كيميائي.

تستخدم ربّة المنزل مقادير محدّدة من المواد الغذائية عند إعداد الطعام، وإذا احتاجت إلى زيادة كمية الطعام فإنها تُضاعف المقادير المستخدمة. وبالمثل، يستخدم مُصنّعو الأدوية مقادير محدّدة من المواد الكيميائية عند تصنيع الدواء، وكذلك يستخدم الكيميائيون مقادير محدّدة لتحضير كميات معينة من المواد الكيميائية المختلفة، فما العلاقة الكميّة بين تلك المواد؟ لمعرفة ذلك، نفذ النشاط (٤-٥).

نشاط (٤-٥): العلاقة الكميّة بين المواد في المعادلة الكيميائية

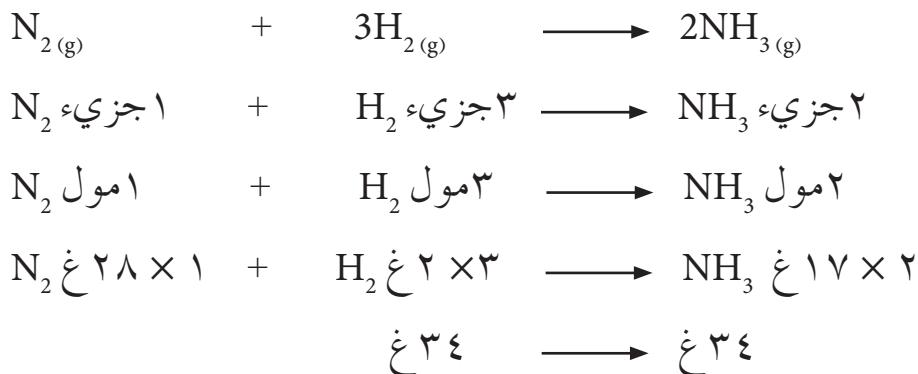


ادرس المعادلة الكيميائية الموزونة التي تمثّل تفاعل الهيدروجين مع النيتروجين لإنتاج الأمونيا:



- ما عدد جزيئات كلّ من: NH_3 ، و N_2 ، و H_2 في المعادلة؟
- ما عدد مولات كلّ من: NH_3 ، و N_2 ، و H_2 في المعادلة؟
- لحساب الكتل، جد حاصل ضرب عدد المولات لكلّ منها بكتلته المولية.
- اجمع كتل المواد المتفاعلة.
- كم كتلة المادة الناتجة؟
- قارن مجموع كتل المواد المتفاعلة وكتلة المادة الناتجة. ماذا تستنتج؟ هل يوجد قانون تنطبق عليه هذه النتائج؟ ماذا نسمّي هذا القانون؟

تدل الأرقام التي تسبق الصيغ الكيميائية في المعادلة الموزونة على عدد الجزيئات، وتدل أيضًا على عدد المولات كالآتي:



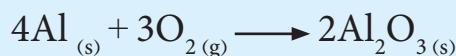
لاحظ أن مجموع كتل المواد المتفاعلة يساوي كتلة المادة الناتجة من التفاعل، وهذا يتفق مع قانون حفظ المادة، وينطبق على أي تفاعل كيميائي.

تقيدنا المعادلة الكيميائية الموزونة في تحديد نسب المواد الداخلة في التفاعل أو الناتجة منه، أو نسبة أي مادتين في التفاعل بعضهما إلى بعض بوحدة المول. ويمكن النظر إلى معاملات المواد في المعادلة الكيميائية الموزونة بوصفها معاملات تحويل تنسب المواد بعضها إلى بعض.

ولكن، كيف يمكن تحديد كميات المواد الناتجة بمعرفة كميات المواد المتفاعلة؟ للإجابة، ادرس المثال الآتي.

مثال (١)

يتفاعل الألمنيوم مع الأكسجين لتكوين أكسيد الألمنيوم كما في المعادلة الآتية:



١ - احسب عدد مولات أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 الناتج من تفاعل ١٠ مول من الألمنيوم Al تفاعلاً تاماً مع كمية كافية من الأكسجين.

٢ - احسب كتلة أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 الناتجة من تفاعل ٤٥ غ من الألمنيوم Al تفاعلاً تاماً مع كمية كافية من الأكسجين.

الحل

١ - في بداية الحل نتأكد أن المعادلة الكيميائية موزونة.
من المعادلة الموزونة يمكننا تحديد النسبة بين مولات المادة المطلوبة Al_2O_3 ومولات Al المعلومة على النحو الآتي:

$$\frac{\text{عدد مولات المادة المطلوبة } \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{مول } \text{Al}} = \frac{2}{4} = \frac{\text{الـAl}_2\text{O}_3}{\text{عدد مولات المادة المعلومة } \text{Al}}$$

وبذا، فإن:

$$\text{عدد مولات } \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{المطلوبة}) = \frac{2}{4} \times \text{مول } \text{Al} (\text{المعلومة})$$

$$\text{عدد مولات } \text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{2}{4} \times 10 = 5 \text{ مول}$$

٢ - بدايةً، نحسب عدد مولات Al كالتالي:

$$\frac{\text{كتلة Al (غ)}}{\text{الكتلة المولية Al (غ/مول)}} = \text{عدد مولات Al}$$

$$\frac{\cancel{\text{Al}}^{\text{غ ٥٤٠}}}{\cancel{\text{Al}}^{\text{غ/مول}}} =$$

$$\text{Al}^{\cancel{\text{غ ٥٤٠}}} = \frac{1 \text{ مول}}{\cancel{\text{Al}}^{\text{غ ٢٧}}} \times \cancel{\text{Al}}^{\text{غ ٥٤٠}} =$$

من النسبة بين المولات في المعادلة الموزونة نحسب عدد مولات Al_2O_3 على النحو الآتي:

$$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ مول ٢}}{\text{Al} \text{ مول ٤}} \times \text{عدد مولات Al}_2\text{O}_3 = \text{عدد مولات Al}_2\text{O}_3$$

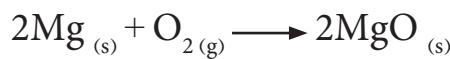
$$\text{عدد مولات Al}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ مول ٢}}{\cancel{\text{Al}}^{\text{مول ٤}}} \times \cancel{\text{Al}}^{\text{مول ٢٠}} = \text{Al}_2\text{O}_3$$

والآن، نحسب كتلة Al_2O_3 الناتجة = عدد مولات $\text{Al}_2\text{O}_3 \times$ الكتلة المولية Al_2O_3

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ غ ١٠٢} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ مول ١٠}}{\cancel{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ مول}}} \times \cancel{\text{Al}_2\text{O}_3} = 10 \text{ مول}$$

سؤال

يترج أكسيد المغنيسيوم MgO من تفاعل المغنيسيوم Mg والأكسجين O_2 وفقاً للمعادلة الآتية:



◀ ما عدد مولات Mg اللازمة لإنتاج ١٠٠ مول من MgO عند تفاعلهما تفاعلاً تاماً مع كمية

كافية من O_2 ؟

◀ احسب كتلة Mg اللازمة لتفاعل تماماً مع ٣٢٠ غ O_2 .

◀ احسب كتلة MgO الناتجة من تفاعل ٤,٨ كغ Mg عند تفاعلهما تفاعلاً تاماً مع كمية كافية

من O_2 ، علماً بأن الكتلة المولية لـ $\text{Mg} = 24$ ، و $\text{O}_2 = 32$ غ/مول.

المردود المئوي للتفاعل

تعَرَّفت سابقاً كيف تُجْري نظريّاً حسابات كيميائية لحساب كتل المواد الناتجة من التفاعل، وأن الكتلة المحسوبة تمثل أكبر كتلة يمكن الحصول عليها من استهلاك كتلة معلومة من إحدى المواد المتفاعلة في ما يُعرَف بالنتائج النظري (Theoretical Yield) للمادة، فهل هذه الكتلة تساوي ما تحصل عليه عملياً في المختبر أو الصناعة (الناتج الفعلي) (Actual Yield)؟ لإنجابة عن هذا السؤال، نفذ النشاط الآتي.



نشاط (٤-٦): حساب كتلة CO_2 الناتجة من التفاعل:



المواد والأدوات المطلوبة

تحذير

حمض الهيدروكلوريك
المركز يُحْدِث ضرراً
بالجلد؛ لذا ارتدي قفازين في
أثناء تنفيذ التجربة.

كربونات الكالسيوم CaCO_3 ، دورق مخروطي، مخار مدرّج،
حمض الهيدروكلوريك المركز، ملعة، ميزان كتلة رقمي.

الخطوات

- ١ - قِسْ ٢٠ مل من حمض الهيدروكلوريك المركز باستخدام المخار المدرّج.
 - ٢ - زِنْ ٣ غ من كربونات الكالسيوم CaCO_3 ، ثم ضعها في الدورق الفارغ.
 - ٣ - ضع الدورق على الميزان، ثم أضف إليه الحمض، ودَوْنْ قراءة الميزان $(ك_١ =)$.
 - ٤ - دَوْنْ قراءة الميزان $(ك_٢ =)$ بعد انتهاء التفاعل.
- احسب كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عملياً باستخدام العلاقة الآتية:
كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون $= ك_١ - ك_٢ =$
 - احسب باستخدام كتلة كربونات الكالسيوم (٣ غ) كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة نظريّاً من التفاعل كما تعلّمت في الدرس السابق.
 - هل القيمة التي حصلت عليها فعلياً تساوي ما حسبته نظريّاً؟ ما السبب برأيك؟

يحرص الكيميائيون على حساب النسبة المئوية للناتج الفعلي للتفاعل، ويُعرَف ذلك بالمردود المئوي للتفاعل (Percentage Yield of Reaction)، ويمكن تمثيله في المعادلة الآتية:

$$\text{المردود المئوي} = \frac{\text{كتلة الناتج الفعلي}}{\text{كتلة الناتج النظري}} \times 100\%$$

يحاول الكيميائيون دائمًا تحسين ظروف التفاعل، وصولاً إلى ناتج فعلي قريب من الناتج النظري، بيَّنَ أنه توجد عوامل عدَّة تجعل الناتج الفعلي أقل من الناتج النظري، فيصبح المردود المئوي للتفاعلات الكيميائية أقل من ١٠٠٪، ومن أهم هذه العوامل: عدم اكتمال التفاعل، أو استعمال مواد متفاعلة غير نقية، أو فقدان جزء من كمية الناتج عن طريق ترشيحه أو نقله من إِناء إلى آخر، فضلاً عن الخطأ التراكمي في القياس.

سؤال :

◀ احسب المردود المئوي للتفاعل في النشاط (٤-٦)، مُحدِّداً العوامل المتوقعة التي جعلت الناتج الفعلي أقل من الناتج النظري.

مثال (٢) :

سُخِّنَ ١٢٠ غ من ثاني أكسيد السليكون SiO_2 مع كمية كافية من الكربون C حسب المعادلة الآتية:



فإذا نتج عملياً في المختبر ٥٠ غ من كربيد السليكون SiC، فاحسب المردود المئوي للتفاعل.

الحل

نحسب أولَ الناتج النظري من SiC على النحو الآتي:

$$\text{عدد مولات SiC} = \frac{\text{كتلة SiC}}{\text{كتلة المولية}} = \frac{\text{كتلة SiO}_2}{\text{كتلة المولية}} \times \frac{1 \text{ مول}}{2 \text{ مول}} = \frac{120 \text{ غ}}{60 \text{ غ}} \times \frac{1 \text{ مول}}{2 \text{ مول}} = 10 \text{ مول}$$

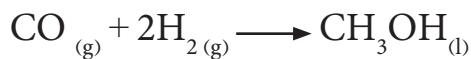
بالرجوع إلى المعادلة الكيميائية الموزونة، يتبيَّن أن عدد مولات SiC = عدد مولات SiO_2

$$\text{كتلة SiC النظرية} = \text{عدد مولات} \times \text{الكتلة المولية}$$

$$\text{كتلة SiC} = \frac{40 \text{ غ}}{1 \text{ مول}} \times 2 \text{ مول} = 80 \text{ غ}$$

$$\text{المردود المئوي} = \frac{\text{كتلة الناتج الفعلي}}{\text{كتلة الناتج النظري}} \times 100\% = \frac{50}{80} \times 100\% = 62,5\%$$

يُحضر الميثanol CH_3OH في الصناعة حسب المعادلة الآتية:

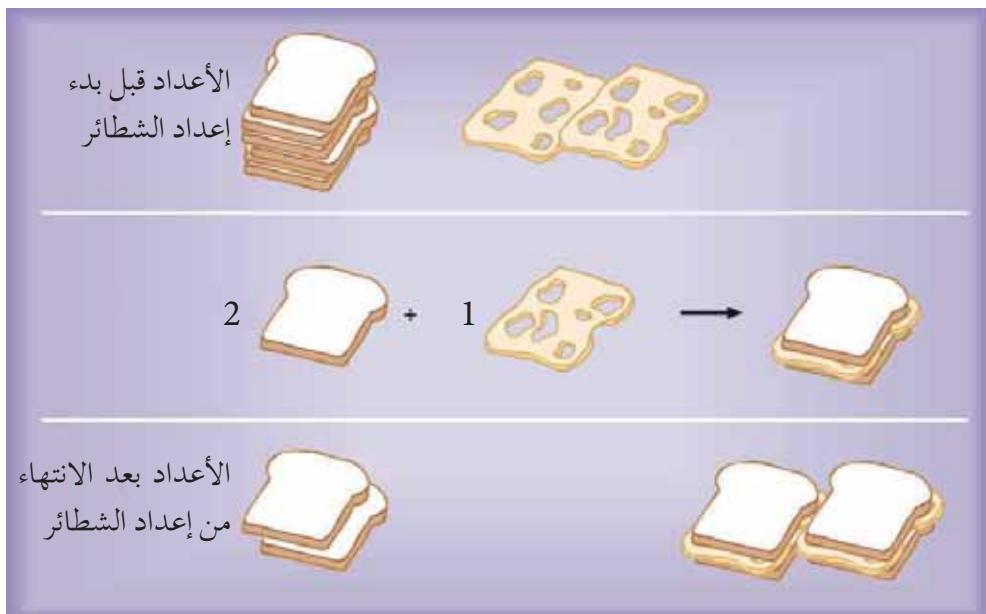


إذا تفاعل ١٠٠ غ من H_2 مع كمية كافية من CO، ونتج ٧٠٠ غ من الميثanol CH_3OH في المصنع، فاحسب المردود المئوي لتفاعل (الكتلة المولية $\text{C} = 12$ ، $\text{H} = 1$ ، $\text{O} = 16$ غ/مول).

ثالث

الحسابات الكيميائية المبنية على أساس المادة المحددة

إذ كان لديك ٦ قطع من الخبز وقطعتان من الجبن، كما في الشكل (٤-٧)، وأردت إعداد شطائر من الجبن بحيث تحتاج كل قطعتين من الخبز إلى قطعة جبن واحدة، فكم شطيرة ستعُد؟ وما الذي يحدد عدد الشطائر؟



الشكل (٤-٧): المادة المحددة.

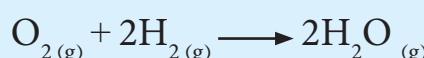
يتبيّن من الشكل أنه يمكنك إعداد شطيرتين فقط. ولما كانت كل قطعة من الجبن تحتاج إلى قطعتين من الخبز لإعداد الشطيرة، فإنك ستستهلك قطع الجبن جميعها، ولكن سيزيد لديك قطعتان من الخبز. تمثّل قطع الجبن في هذا المثال المادة التي حدّدت كمية الناتج (المادة المحددة)، في حين تمثّل قطع الخبز المادة الزائدة (الفائضة).

تُعرَّف المادة المُحدَّدة للتفاعل (Limiting Reactant) **بأنها المادة التي تُستهلك كلها في التفاعل، وتحدّد كمية الناتج المُنكوٌ.**

وقد اعتمدت الحسابات التي درستها سابقاً على وجود كتلة معلومة من إحدى المواد المتفاعلة، مع افتراض وجود كتلة وافرة من المواد المتفاعلة الأخرى تكفي لاستهلاك تلك الكتلة المعلومة تماماً. ولكن في بعض التفاعلات قد تخلط كتل من المواد المتفاعلة بنسب تختلف عن تلك التي تحدّدها المعادلة الموزونة، فكيف يمكن إجراء حسابات كيميائية لمعرفة المادة المُحدَّدة للتفاعل، ثم حساب كمية الناتج وكمية المادة الفائضة من التفاعل؟
لتتعرّف بذلك، ادرس المثال الآتي.

مثال (٣)

يتفاعل غاز الأكسجين O_2 مع غاز الهيدروجين H_2 ، فينتج بخار الماء H_2O حسب المعادلة الآتية:

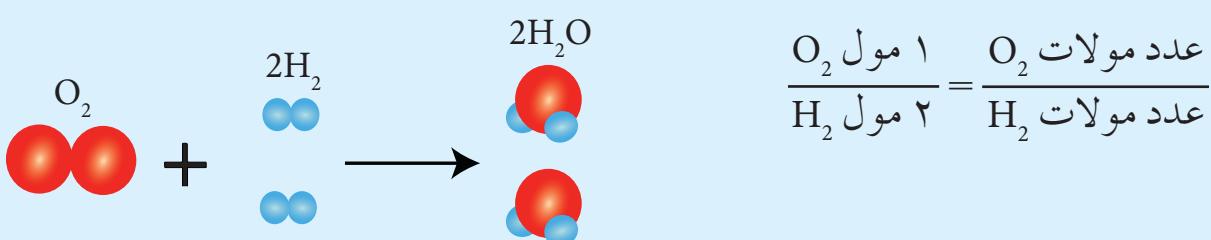


إذا خلِط ٥ مول من O_2 مع ٦ مول من H_2 ، فأجب عن الأسئلة الآتية:

- ١ - ما المادة المُحدَّدة للتفاعل؟
- ٢ - ما عدد مولات بخار الماء الناتجة؟
- ٣ - ما عدد مولات المادة الفائضة؟

الحل

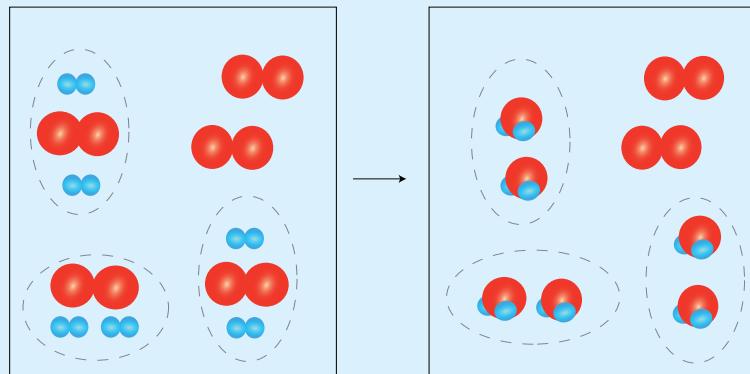
من المعادلة الموزونة نجد أن النسبة بين مولات O_2 و H_2 هي:



أي إن عدد مولات O_2 اللازمة للتفاعل = $\frac{1}{2}$ عدد مولات H_2

$$\text{عدد مولات } O_2 \text{ اللازمة للتفاعل} = \frac{1 \text{ مول}}{2 \text{ مول}} \times 6 \text{ مول} = 3 \text{ مول}$$

ولمّا كانت كمية O_2 الموجودة هي ٥ مول، وهي أكبر مما يلزم لتفاعل، فإن المادة المتفاعلة الفائضة هي O_2 ، والمادة المحددة لتفاعل التي سُستهلك كلها هي H_2 كما في الشكل الآتي:



تُمثل H_2 المادة المحددة لتفاعل التي ستُحدّد كمية الناتج؛ لذا نستخدمها في حسابه على النحو الآتي:

$$1 = \frac{\text{عدد مولات } H_2}{\text{عدد مولات } H_2O}$$

من المعادلة الموزونة نجد أن:

$$\text{أي إن عدد مولات } H_2 \text{ المتفاعلة} = \text{عدد مولات } H_2O \text{ الناتجة} = 6 \text{ مول}$$

$$\begin{aligned} \text{عدد مولات } O_2 \text{ الفائضة} &= \text{عدد مولات } O_2 \text{ الموجودة} - \text{عدد مولات } O_2 \text{ المتفاعلة} \\ &= 3 - 2 = 1 \text{ مول}. \end{aligned}$$

سؤال

◀ ينتح غاز الإستيلين C_2H_2 بإضافة الماء إلى كربيد الكالسيوم CaC_2 وفقاً للمعادلة الآتية:



إذا خلط ١٠٠ غ من CaC_2 مع ٥٠ غ من الماء، فاحسب كتلة C_2H_2 الناتجة من التفاعل، ثم احسب كتلة المادة الفائضة، علماً بأن الكتلة المولية لـ $Ca = 40$ ، $C = 12$ ، $H = 1$ ، $O = 16$ غ / مول.

رابعاً

الحسابات المتعلقة بالتفاعلات في المحاليل المائية

عند إذابة بعض المركبات الأيونية في الماء مثل NaCl , فإنها تفكك إلى أيونات موجبة (Na^+) وأخرى سالبة (Cl^-) تنتشر في محلول, فما العلاقة بين تركيز الملح الأصلي في محلول وتركيز الأيونات الناتجة؟ وكيف يساعدنا ذلك على إجراء الحسابات المتعلقة بالتفاعلات في المحاليل المائية؟ للإجابة، ادرس المثال الآتي.

مثال (٤)

احسب عدد مولات الأيونات الموجودة في محلول MgCl_2 حجمه ٣٠٠ مل، وتركيزه ١,٠٠ مول/لتر.

الحل

١- نكتب أولاً معادلة تفكك الملح MgCl_2 على النحو الآتي:



٢- نحسب عدد مولات MgCl_2 :

$$\text{عدد مولات } \text{MgCl}_2 = \text{التركيز (مول/لتر)} \times \text{الحجم (لتر)}$$

$$\text{مول } \text{MgCl}_2 = ١,٠٠ \times \frac{\text{مول } \text{MgCl}_2}{\text{لتر}} = ٠,٣ \text{ مول}$$

يتضح من المعادلة أن عدد مولات Mg^{2+} = عدد مولات MgCl_2 , وأن عدد مولات Cl^-

هو ضعفاً عدد مولات MgCl_2 .

$$\therefore \text{عدد مولات } \text{Mg}^{2+} = ٠,٣ \text{ مول،}$$

$$\text{وعدد مولات } \text{Cl}^- = ٢ \times ٠,٣ = ٠,٦ \text{ مول.}$$

سؤال

احسب عدد مولات الأيونات الناتجة من تفكك ملح نترات الألمنيوم $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ الموجودة في محلول حجمه ٥٠٠ مل، وتركيزه ٠,٠٥ مول/لتر.

يُمثل حساب عدد مولات الأيونات الموجودة في محلول خطوة ضرورية لإجراء الحسابات الكيميائية للتفاعلات في المحاليل المائية التي تعتمد على المعادلة الأيونية الصافية، والمثالان الآتيان يوضحان ذلك.

مثال (٥)



يتفاعل محلول نترات الفضة AgNO_3 مع محلول كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 لإنتاج كرومات الفضة الصلبة Ag_2CrO_4 كما في الشكل (٤-٨).

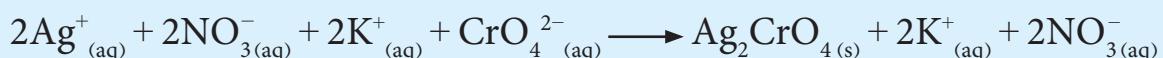


الشكل (٤-٨): تفاعل محلول نترات الفضة مع محلول كرومات البوتاسيوم.

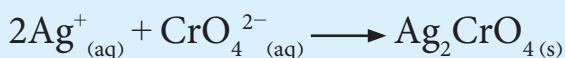
احسب حجم محلول AgNO_3 الذي تركيزه ١٠٠ مول/لتر، والذي يجب إضافته إلى ١٠٠ مل من محلول K_2CrO_4 الذي تركيزه ٢٠٠ مول/لتر، لترسيب أيونات الكرومات جميعها على شكل كرومات الفضة Ag_2CrO_4 ، ثم احسب كتلة كرومات الفضة الناتجة.

الحل

١ - من المعادلة الكلية للتفاعل نحدد المعادلة الأيونية الصافية على النحو الآتي:



وبذلك تكون المعادلة الأيونية الصافية:



٢ - نحسب حجم محلول K_2CrO_4 باللتر: $\frac{١}{١٠٠} \times ١٠٠ = ١$ لتر.

٣ - نحسب عدد مولات كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 على النحو الآتي:

عدد مولات $\text{K}_2\text{CrO}_4 = \text{التركيز (مول/لتر)} \times \text{الحجم (لتر)}$.

$$\text{K}_2\text{CrO}_{4(aq)} \longrightarrow 2\text{K}^{+}_{(aq)} + \text{CrO}^{2-}_{4(aq)}$$

$$\text{كثافة} = \frac{\text{مول} \times \text{كتلة}}{\text{لتر}} = \frac{٢ \times ١٠٠}{١,٠٠} = ٢٠٠ \text{ مول/لتر}$$

٤ - نحسب عدد مولات CrO^{2-} :

$$\text{كميات} = \text{كثافة} \times \text{كتلة} = ٢٠٠ \times ١ = ٢٠٠ \text{ مول}$$

نلاحظ أن عدد مولات CrO_4^{2-} = عدد مولات K_2CrO_4 = عدد مولات CrO_4^{2-} مول

٥ - نحسب عدد مولات Ag^+ :

من المعادلة الصافية نلاحظ أن عدد مولات Ag^+ = ٢ × عدد مولات CrO_4^{2-}

$\text{Ag}^+ \text{ مول} = ٠,٠٤ \times ٢ =$

٦ - نحسب عدد مولات AgNO_3 :

من معادلة تفكك $\text{AgNO}_3 \longrightarrow \text{Ag}^+_{(aq)} + \text{NO}_3^-_{(aq)}$

نلاحظ أن عدد مولات AgNO_3 = عدد مولات Ag^+ مول

٧ - نحسب حجم AgNO_3 :

$$\frac{\text{الحجم (لتر)}}{\text{التركيز (مول / لتر)}} = \frac{\text{عدد المولات (مول)}}{\text{لتر}}$$

$$\text{حجم } \text{AgNO}_3 = \frac{٤ \text{ لتر}}{٤ \text{ مل}} \times ٠,٠٤ \text{ مل} = ٠,١ \text{ لتر.}$$

٨ - نحسب كتلة Ag_2CrO_4 المترسبة من عدد مولات CrO_4^{2-} , أو من عدد مولات Ag^+ :

من المعادلة الأيونية الصافية نلاحظ أن:

$$\text{عدد مولات } \text{Ag}^+ = \frac{١}{٢} \text{ عدد مولات } \text{CrO}_4^{2-}$$

$$\text{Ag}_2\text{CrO}_4 \text{ مول} = \frac{٤}{٢} \text{ مول} = ٠,٠٢ \text{ مول}$$

∴ كتلة Ag_2CrO_4 المترسبة = عدد المولات (مول) × الكتلة المولية (غ / مول)

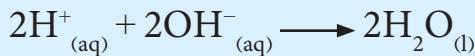
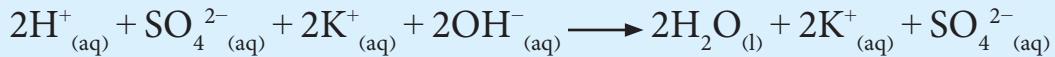
$$\text{Ag}_2\text{CrO}_4 \text{ غ} = \frac{\text{Ag}_2\text{CrO}_4 \text{ غ}}{\text{Ag}_2\text{CrO}_4 \text{ مول}} \times \text{Ag}_2\text{CrO}_4 \text{ مول} = \frac{٦٦٤ \text{ غ}}{١ \text{ مول}} \times ٠,٠٢ \text{ مول} =$$

مثال (٦)

ما تركيز محلول من KOH حجمه ٤٠ مل، يلزم لتفاعل تماماً مع ٢٠ مل من محلول H_2SO_4 الذي تركيزه ١٥ مول / لتر؟

الحل

١ - نكتب المعادلة الأيونية الصافية للتفاعل:



تُسمى هذه المعادلة معادلة التعادل:

٢ - نحسب عدد مولات H_2SO_4 :

$$\text{عدد مولات } \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{التركيز (مول / لتر)} \times \text{الحجم (لتر)}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{نـ}}{\text{كـ}} \times \frac{\text{كـ}}{\text{مـ}} \times \frac{\text{مـ}}{\text{لـ}} = \frac{\text{لـ}}{\text{كـ}} \times \frac{\text{كـ}}{\text{مـ}} \times \frac{\text{مـ}}{\text{لـ}}$$

٣ - من معادلة تفكك H_2SO_4 :



نلاحظ أن عدد مولات H^+ هو ضعفًا عدد مولات H_2SO_4

نستنتج من المعادلة الصافية أن:

$$\text{عدد مولات } \text{H}^+ = \text{عدد مولات } \text{OH}^- = \text{عدد مولات KOH}$$

$$4 - \text{تركيز KOH} = \frac{\text{عدد المولات (مول)}}{\text{الحجم (لتر)}}$$

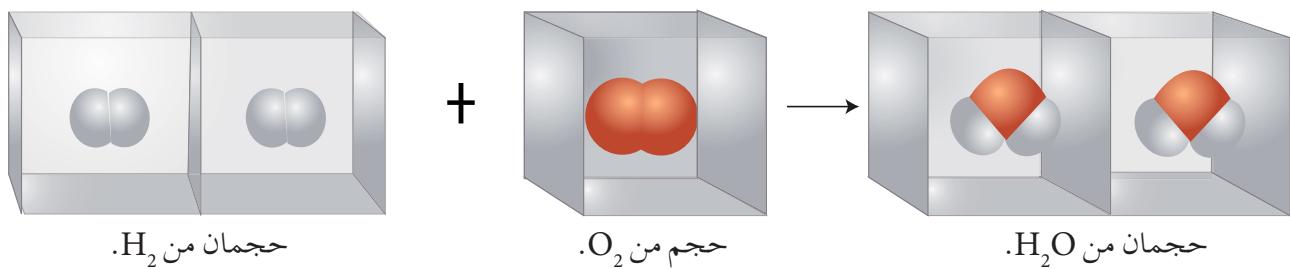
$$\text{KOH} = \frac{\text{مول KOH}}{\text{لتر}} = \frac{0.006}{0.04} = 0.15 \text{ مول / لتر}$$

سؤال

◀ احسب كتلة كلوريد الفضة AgCl المترسبة الناتجة من إضافة ١٠٠ مل من محلول ترات الفضة AgNO_3 ، بتركيز ٣،٠ مول / لتر، إلى ٥٠ مل من محلول كلوريد المغنيسيوم MgCl_2 بتركيز ٢،٠ مول / لتر، علماً بأن الكتلة المولية لـ $\text{Ag} = ١٠٨$ ، و $\text{Cl} = ٣٥,٥$ غ / مول.

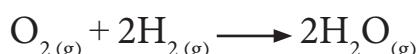
تعرّفت في ما مضى كيفية إجراء حسابات كيميائية تتعلق بالمواد الصلبة والمحاليل المائية في التفاعلات الكيميائية. فكيف يمكن إجراء حسابات كيميائية لحساب حجم الغازات؟ وما العلاقة بين حجم الغازات وعدد المولات في المعادلة الكيميائية؟

توصل العلماء إلى أن حجمين من غاز الهيدروجين يتفاعلان تماماً مع حجم واحد من غاز الأكسجين في الظروف نفسها من الضغط والحرارة، وينتج من ذلك حجمان من بخار الماء، انظر الشكل (٤-٩).



الشكل (٤-٩): النسبة الحجمية لتفاعل الأكسجين والهيدروجين في الظروف نفسها لإنتاج الماء.

لاحظ معادلة التفاعل الحاصل، واستنتج العلاقة بين حجم الغازات وعدد المولات المتفاعلة.



من الواضح أن النسبة بين عدد المولات في المعادلة الموزونة تساوي النسبة بين الحجم، ولما كان المول الواحد من أيّ غاز يحتوي على العدد نفسه من الجزيئات أو الذرات (عدد أفوغادرو)، فإن المول الواحد من أيّ غاز سيكون له الحجم نفسه (في الظروف نفسها من الضغط والحرارة)، وهذا ما ينص عليه قانون أفوغادرو الذي درسته في الفصل الأول من هذا الكتاب: «الحجم المتساوية من الغازات المختلفة تحوي العدد نفسه من الدقائق في الظروف نفسها من الحرارة والضغط».

وقد وُجد عملياً أن حجم المول الواحد من أيّ غاز = ٢٢,٤ لترًا تقريباً في الظروف المعيارية (درجة الحرارة صفر سلسليوس، والضغط الجوي واحد)، ويُعرف هذا الحجم بالحجم المولي للغاز.

ف عند قياس الحجم في الظروف المعيارية نجد أن:

حجم مول واحد ($22 \times 10 \times 6,022$ جزيء) من غاز الهيدروجين H_2 (2 غ) = 22 لترًا تقريبًا، وأن حجم مول واحد من غاز النيتروجين N_2 = 22 لترًا تقريبًا. وأن حجم 2 مول من غاز الأمونيا NH_3 = $2 \times 22,4 = 44,8$ لترًا تقريبًا. ولأن حجم مول واحد من أيّ غاز في الظروف المعيارية ثابت؛ فإنه يمكن استنتاج علاقة حجوم الغازات بعدد المولات على النحو الآتي:

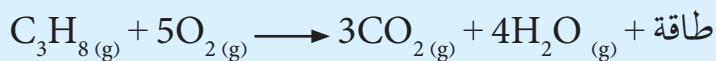
1 مول من أيّ غاز \longleftrightarrow الحجم المولي (422 لترًا)
 عدد المولات \longleftrightarrow حجم الغاز
 $1 \times \text{حجم الغاز} = \text{عدد المولات} \times \text{الحجم المولي}$
 $\text{حجم الغاز} = \text{عدد المولات} \times \text{الحجم المولي}$

سؤال

◀ احسب حجم 5 مول من غاز الأكسجين O_2 في الظروف المعيارية.

مثال (٧)

يُستخدم غاز البروبان C_3H_8 وقودًا؛ إذ يحترق بوجود الأكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون (الذي يؤدي ارتفاع نسبته في الجو إلى حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري)، وبخار الماء، والطاقة كما في المعادلة الآتية:



احسب حجم غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من تفاعل 880 غ من غاز البروبان في الظروف المعيارية.

الحل

$$1 - \text{نحسب أولاً عدد مولات } C_3H_8 = \frac{\text{الكتلة (غ)}}{\text{الكتلة المولية (غ / مول)}}$$

$$C_3H_8 \text{ مول} = \frac{1 \text{ مول}}{4 \text{ غ}} \times C_3H_8 \text{ غ} = 880 =$$

٢ - من المعادلة الموزونة نجد أن عدد مولات CO_2 الناتجة هو ٣ أضعاف عدد مولات البروبان.

$$\therefore \text{عدد مولات } \text{CO}_2 = 20 \times 3 = 60 \text{ مول}$$

٣ - نحسب حجم CO_2 الناتج = عدد المولات (مول) \times الحجم المولي (لتر / مول).

$$\text{CO}_2 ٤٤ = \frac{\text{CO}_2 ٢٢,٤}{\text{مول} ١٣٤} \times \cancel{\text{CO}_2 ٦٠} =$$

٧ أسئلة الفصل

١ - عرّف ما يأتي:

المادة المُحدّدة لتفاعل، المادة الفائضة عن التفاعل، المردود المئوي لتفاعل، الحجم المولى.

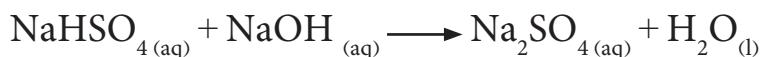
٢ - تفكّك كربونات الكالسيوم بالحرارة ليتّج غاز ثاني أكسيد الكربون وأكسيد الكالسيوم حسب المعادلة الآتية:



احسب كتلة كربونات الكالسيوم اللازمة لإنتاج $11,2$ لتر CO_2 في الظروف المعيارية.

٣ - احسب حجم محلول H_2SO_4 الذي تركيزه $1,0$ مول / لتر، والذي يلزم لتفاعل تمامًا مع 300 مل من محلول NaOH الذي تركيزه $0,5$ مول / لتر.

٤ - تفاعل كبريتات الصوديوم الهيدروجينية NaHSO_4 مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH لإنتاج كبريتات الصوديوم الذائبة Na_2SO_4 والماء حسب المعادلة الآتية:



ثم ينتحر الماء للحصول على كبريتات الصوديوم الصلبة. فإذا علمت أن المردود المئوي لمادة

$= 0,80$ ، فاحسب تركيز محلول NaOH إذا تفاعل 500 مل منه مع ما يلزم من

كبريتات الصوديوم الهيدروجينية NaHSO_4 لإنتاج 72 غ من Na_2SO_4 فعليًا من التفاعل.

٥ - تستخدم مرّكات الرصاص في صناعة الألوان. فإذا علمت أن يوديد الرصاص الصلب PbI_2 ذا اللون الأصفر يمكن أن يتكون بتفاعل محلول يوديد الصوديوم NaI مع محلول نترات الرصاص $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ، ثم يفصل الراسب عن محلول، ويستفاد منه:

أ) اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل التفاعل.

ب) اكتب معادلة التفاعل الصافية.

ج) إذا مزج 100 مل من محلول نترات الرصاص الذي تركيزه $0,5$ مول / لتر مع 200 مل

من محلول يوديد الصوديوم الذي تركيزه $1,0$ مول / لتر، فاحسب كتلة PbI_2 الناتجة.

د) إذا علمت أن كتلة يوديد الرصاص الناتجة فعليًا $4,3$ غ، فاحسب المردود المئوي لتفاعل.

٦- يمكن تحضير فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 في المختبر من تفاعل حمض الهيدروكلوريك مع فوق أكسيد الباريوم BaO_2 حسب المعادلة الآتية:



ما كتلة H_2O_2 الناتجة من إضافة ١,٥ غ من فوق أكسيد الباريوم إلى كمية كافية من محلول HCl ؟

٧- تتفاعل كربونات الكالسيوم مع حمض الهيدروكلوريك حسب المعادلة الآتية:



إذا خُلِطَ ٥٠ غ $CaCO_3$ مع ١٠٠ مل HCl الذي تركيزه ٢ مول / لتر، فاحسب حجم غاز CO_2 الناتج (افترض أن الحجم في الظروف المعيارية).

الفصل الثالث

٣

الاتزان Equilibrium

درست في الفصل الثاني من هذه الوحدة موضوع الحسابات الكيميائية، وتعلمت كيف تحدد المادة المحددة للتفاعل بوصفه يسير في اتجاه واحد، حيث يتوقف عند استهلاك إحدى المواد المتفاعلة. ولكن ثبت بالتجربة أن بعض التفاعلات الكيميائية لا تسير في اتجاه واحد فقط، وإنما تسير في اتجاهين متعاكسين حتى تصل حالة الاتزان، وعندئذٍ، فإن المواد المتفاعلة والمواد الناتجة توجد معاً في خليط التفاعل. فما معنى الاتزان؟ وما العوامل المؤثرة فيه؟

ستتمكن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك لهذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- تُوضّح مفهوم الاتزان.
- تحسب قيمة ثابت الاتزان، وكميات المواد المتفاعلة والناتجة عند الوصول إلى حالة الاتزان.
- تُطبق قاعدة لوتشاتلييه للتنبؤ بأثر تغير الظروف التجريبية في نظام متزن.

الاتزان الديناميكي

الاتزان الكيميائي هو اتزان ديناميكي (Dynamic Equilibrium). فما المقصود بالاتزان؟ وما معنى أن يكون ديناميكياً؟ وكيف يصل التفاعل إلى حالة الاتزان؟ للإجابة عن هذه الأسئلة، نفذ النشاط (٤-٧).

نشاط (٤-٧): الاتزان الديناميكي



تحذير

أبخرة اليود تؤثّر في الجهاز التنفسي؛ لذا نفذ التجربة في خزانة الأبخرة.

المواد والأدوات المطلوبة

كمية من اليود I_2 ، كأس زجاجية سعتها ٥٠ مل، قطع من الثلج، ماء ساخن، زجاجة ساعة، ملعقة.

الخطوات

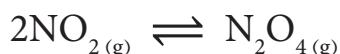
- ١ - ضع ملعقة صغيرة من اليود الصلب في الكأس الزجاجية، ثم ضع عليها زجاجة ساعة مدوّناً ملاحظاتك.
- ٢ - ضع الكأس الزجاجية في حمام مائي ساخن.
- ٣ - ضع في زجاجة الساعة قطعاً من الثلج.
- ٤ - اترك الكأس مدة عشر دقائق، ثم دون ما تلاحظه من تغيرات.
- اكتب معادلة تمثل التغيير الحاصل.

يُمثل التغيير السابق حالة الاتزان بين اليود الصلب واليود في الحالة الغازية؛ إذ تتزايد شدة اللون البنفسجي مع مرور الزمن، ثم يثبت اللون، وهذا يدل على ثبات تركيز اليود في الحالة الغازية في الدورق. ولكن، هل يتوقف اليود عن التسامي (تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرةً من دون المرور بالحالة السائلة) عند الاتزان؟ لقد ثبت بالتجربة أن تسامي اليود لا يتوقف، وأنه يستمر مع وجود عملية أخرى معاكسة لتسامي اليود هي ترسّب جزيئات اليود في الحالة الغازية على بلوراته الصلبة. وحين يثبت تركيز اليود في الحالة الغازية (الموجود في حيز مغلق) فوق بلوراته الصلبة (بسبب تساوي سرعة الترسّب وسرعة التسامي)، فإن النظام الكيميائي يكون في

موضع الاتزان، وهو ما يفسّر ثبات اللون في الكأس. تُسمى هذه الحالة الاتزان الديناميكي، ويمكن التعبير عن حالة الاتزان بين اليود الصلب واليود في الحالة الغازية بالمعادلة الآتية:



تشير التجارب إلى أن غالبية التفاعلات التي تصل حالة الاتزان تكون فيها المواد المتفاعلة والناتجة في حالة الاتزان الديناميكي، ويمكن تمثيل ذلك بالتفاعل المعاكس الآتي:



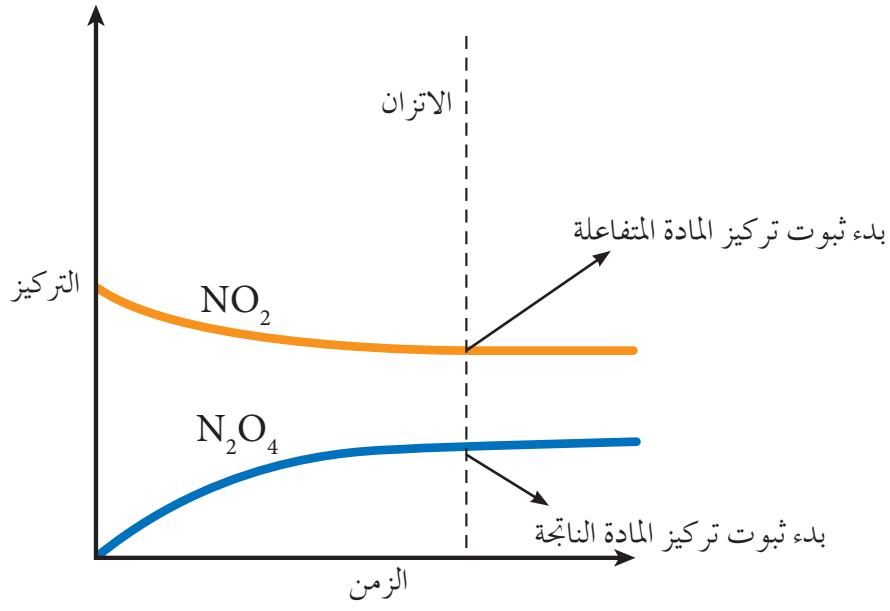
يدل السهمان المتعاكسان \rightleftharpoons على أن التفاعل ممعكّس؛ إذ يشير السهم الأول \rightarrow إلى التفاعل الأمامي، ويشير السهم الثاني \leftarrow إلى التفاعل العكسي، فكيف يحدث الاتزان؟ عند وضع كمية من NO_2 في وعاء تبدأ جزيئات الغاز بالتفاعل، مُكوّنةً جزيئات N_2O_4 كما في المعادلة الآتية:



في بداية التفاعل تكون سرعة التفاعل الأمامي عاليةً نسبياً؛ لأن تركيز NO_2 يكون أكبر مما يمكن، ولكن سرعة التفاعل الأمامي تقل تدريجياً؛ لأن تركيز NO_2 يقل تدريجياً بسبب تفاعله. وفي المقابل، تكون سرعة التفاعل العكسي صفرًا في بداية التفاعل؛ لأن تركيز N_2O_4 يساوي صفرًا، وتزداد سرعته تدريجياً؛ لأن تركيز N_2O_4 يزداد تدريجياً مع مرور الزمن حتى يصبح مساوياً لسرعة التفاعل الأمامي كما في المعادلة الآتية:



وعندما تصبح سرعة التفاعل الأمامي مساويةً لسرعة التفاعل العكسي يصل التفاعل إلى حالة الاتزان، فتشتبّت تراكيز المواد الناتجة والمتفاعلة. ويمكن تمثيل العلاقة بين تركيز المواد المتفاعلة وتركيز المواد الناتجة مع مرور الزمن بيانياً كما في الشكل (٤-١).



الشكل (٤-١٠): الوصول إلى حالة الاتزان.

سؤال

اكتب بلغتك الخاصة تعريفاً للاتزان الديناميكي.

ثانياً

ثابت الاتزان

ما العلاقة بين تراكيز المواد الناتجة والمواد المتفاعلة عند نشوء الاتزان؟ وكيف يُعبر عنها؟ لقد تبيّن بالتجربة أن ناتج قسمة حاصل ضرب تراكيز المواد الناتجة على حاصل ضرب تراكيز المواد المتفاعلة (كُلُّ منها مرفوع إلى قوة تساوي معاملاتها في المعادلة الموزونة) يساوي قيمة ثابتة عند درجة حرارة معينة تُسمى ثابت الاتزان K_e (Equilibrium Constant).

وبوجه عام، يمكن التعبير عن التفاعل المتزن بالمعادلة الآتية:



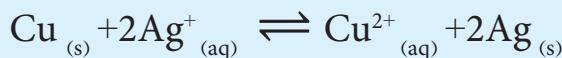
ويمكن التعبير عن ثابت الاتزان بالقانون الآتي:

$$\frac{[D]^d \cdot [C]^c}{[A]^a \cdot [B]^b} = K_e$$

تجدر الإشارة إلى أنه عند كتابة تعبير ثابت الاتزان لا تدخل تراكيز المواد الصلبة في تعبير ثابت الاتزان لأنها نقية، ولأن تركيزها ثابت مهما اختلفت كتلتها، ونظرًا إلى ثبات تراكيزها؛ فإنها تدخل ضمن قيمة ثابت الاتزان، وينطبق الشيء نفسه على الماء، فتركيزه ثابت لا يتغير في أثناء التفاعل؛ لذا فإنه يدخل ضمن قيمة ثابت الاتزان، ويُبيّن المثال الآتي كيفية كتابة ثابت الاتزان في حال وجود مادة صلبة.

مثال (١)

اكتب قانون ثابت الاتزان للتفاعل الآتي:



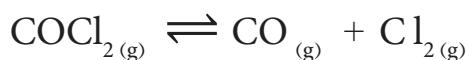
الحل

$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{K_c}{[\text{Ag}^+]^2}$$

لاحظ أن تركيز كل من $\text{Cu}_{(s)}$ و $\text{Ag}_{(s)}$ لم يظهر في قانون ثابت الاتزان؛ لأنهما مادتان صلبتان.

سؤال

◀ اكتب قانون ثابت الاتزان للتفاعلات الآتية:

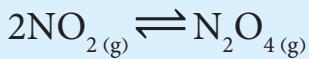


ثالث بعض الحسابات المبنية على قيمة ثابت الاتزان

عرفت أن ثابت الاتزان يمثل النسبة بين تراكيز المواد الناتجة وتراكيز المواد المتفاعلة، فكيف يمكن حساب قيمة ثابت الاتزان؟ للإجابة، ادرس المثال الآتي:

مثال (٢)

في التفاعل المتزن الآتي:



تبين عند الاتزان أن تركيز NO_2 يساوي ١٠٠ مول/لتر، وأن تركيز N_2O_4 يساوي ٧٥ مول/لتر. احسب قيمة ثابت الاتزان لهذا التفاعل.

الحل

$$\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = K_c$$

$$= \frac{٧٥ \text{ مول/لتر}}{(١٠٠ \text{ مول/لتر})^2} =$$

ولكن، هل يمكن استخدام ثابت الاتزان في حساب تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة عند الاتزان؟ للإجابة، ادرس المثال الآتي.

مثال (٣)

إذا علمت أن قيمة ثابت الاتزان للتفاعل الآتي: $\text{H}_{2(g)} + \text{I}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(g)}$ هي ٤٩ في درجة حرارة ٤٠°C، وأن تركيز كل من: H_2 ، و I_2 هو ٠٠٢ مول/لتر في بداية التفاعل، فاحسب تركيز كل من: I_2 ، و H_2 ، و HI عند الاتزان.

الحل



تراكيز المواد في بداية التفاعل	صفر	٠٠٠٢ مول/لتر	٠٠٠٢ مول/لتر
التغير في تراكيز المواد	٢+	٢-	-٢
تراكيز المواد عند نشوء الاتزان	٢س	٢س -٢	-٢س

$$\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = K_c$$

$$\frac{^2(س٢)}{^2(س٠٠٢)} = ٤٩$$

بأخذ الجذر التربيعي للطرفين:

$$\sqrt{\frac{^2(س٢)}{^2(س٠٠٢)}} \sqrt{= ٤٩}$$

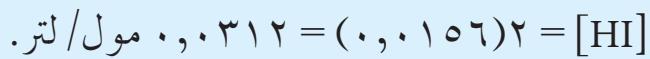
$$\frac{س٢}{س٠٠٢} = ٧$$

$$س١٤ = س٧ - س٠٠١$$

$$س١٤ = س٩$$

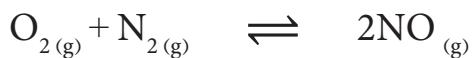
$$س٠٠١٥٦ = س١٥٦$$

∴ تكون التراكيز كما يأتي:



سؤال

◀ يتفاعل O_2 مع N_2 لإنتاج NO حسب المعادلة الآتية:



فإذا أدخل ٥ مول من N_2 و ٥ مول من O_2 في وعاء مغلق حجمه ١٠ لترات عند درجة حرارة معينة، وكانت K_c للتفاعل عند هذه الدرجة ١٦×١٠^{-٢} ، فاحسب تراكيز كلّ من المواد المتفاعلة والناجحة عند الاتزان.

قضية للبحث

ابحث مع زملائك في الشبكة المعلوماتية عن طريقة التعبير عن ثابت الاتزان للتفاعل الغازي باستخدام قيم الضغط للغازات، ثم اكتب تقريراً عن ذلك.

العوامل المؤثرة في موضع الاتزان

ماذا يحدث للاتزان لو تغيرت تركيز إحدى المواد المتفاعلة أو إحدى المواد الناتجة؟ وماذا يحدث لو تغير الضغط أو درجة الحرارة اللذان يحدث فيهما التفاعل؟

موضع الاتزان

يعني ميل الاتزان
باتجاه النواتج، أو
المواد المتفاعلة.

النظام

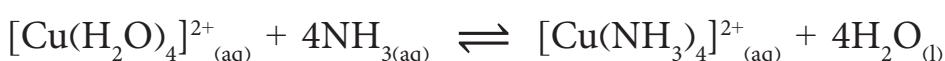
مجموعة من الأشياء
أو الأحداث التي
تبدو في سلوكها أشبه
بالوحدة الواحدة.

درس العالم الفرنسي لوتشاتلييه للتغيرات التي يمكن أن تؤثر في موضع الاتزان، وتوصل إلى المبدأ الذي سمي باسمه، والذي ينص على أنه إذا حدث تغير في أحد العوامل المؤثرة في نظام كيميائي في حالة اتزان، فإن النظام الكيميائي سيعدل من موضعه بحيث يقلل من تأثير التغير إلى أقصى درجة ممكنة. فما العوامل المؤثرة في الاتزان؟

يتأثر الاتزان الكيميائي بعوامل عدّة، هي: التركيز، والضغط، ودرجة الحرارة، وفي ما يأتي توضيح لهذه العوامل حسب مبدأ لوتشاتلييه:

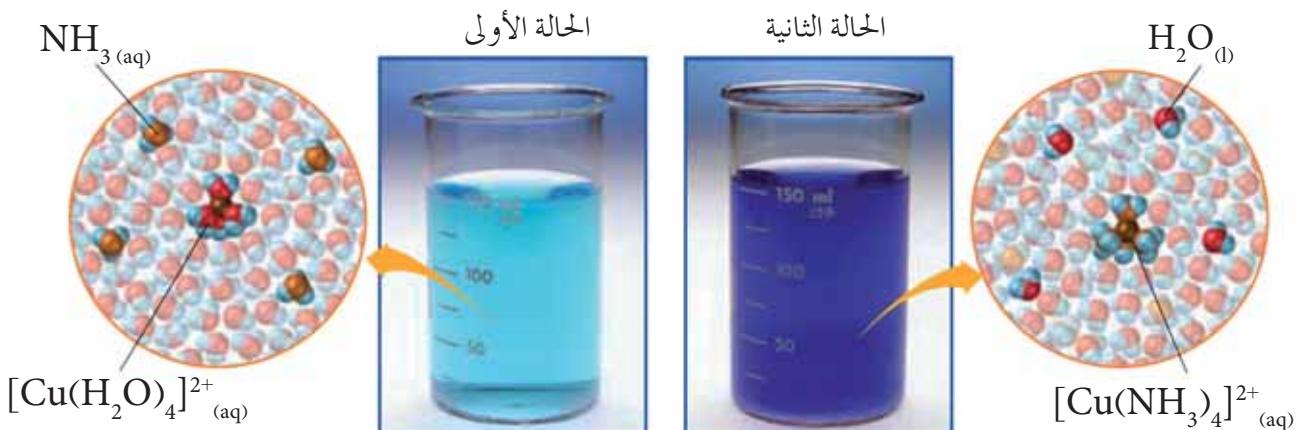
١ - التركيز

ماذا يحدث عند زيادة تركيز إحدى المواد المتفاعلة بإضافة كمية منها إلى وسط التفاعل المتزن؟
لإجابة، ادرس الشكل (٤-١) الذي يبيّن أثر زيادة تركيز الأمونيا كما في التفاعل الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



أزرق فاتح

أزرق غامق



الشكل (٤-١): أثر زيادة تركيز الأمونيا.

- ما لون محلول في الكأس في الحالة الأولى؟
- ما أثر إضافة كمية من الأمونيا في لون محلول؟
- فسّر سبب ظهور اللون الأزرق الغامق عند إضافة الأمونيا.

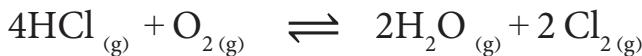
يُمثّل ثبات اللون الأزرق الفاتح في الكأس في الحالة الأولى حالة اتزان معينة. وعند إضافة الأمونيا يزداد تركيزها في محلول، وهو ما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل الأمامي، فيزداد تركيز النواج، ويظهر اللون الأزرق الغامق في الكأس، الذي يدل على حالة اتزان جديدة، وقد نشأت هذه الحالة نتيجة استهلاك جزء من الأمونيا المضافة، ولكن قيمة ثابت الاتزان تبقى ثابتة لا تتغير في درجة حرارة معينة.

سؤال

في التفاعل السابق، ما اللون الذي سيظهر في كل حالة مما يأتي:

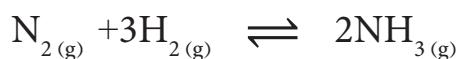
- إضافة H_2O إلى وعاء التفاعل.
- سحب H_2O من وعاء التفاعل.

وضّح ما يحدث لتركيز غاز الكلور Cl_2 إذا زاد تركيز غاز الأكسجين O_2 في المعادلة الآتية:



٢ - الضغط

يؤثّر عامل الضغط فقط في التفاعلات المترنة التي تحوي غازات؛ إذ يتأثر الضغط بكمية الغاز في الوعاء، ويتناسب معها طردياً. ويُمثّل التفاعل الآتي حالة اتزان لمواد في الحالة الغازية:

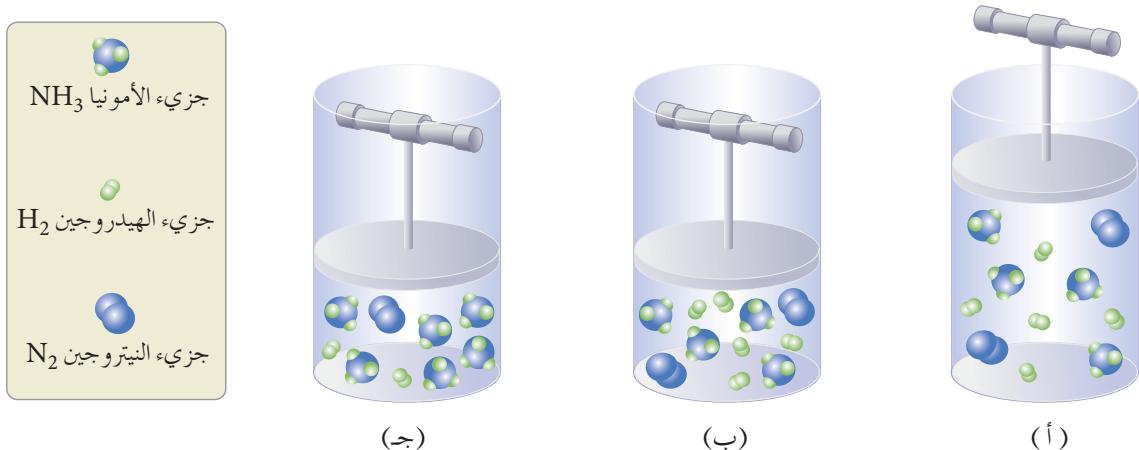


ماذا سيحدث للنظام المترن في المعادلة السابقة إذا تعرض لضغط خارجي؟

يُبيّن الشكل (٤-١٢/أ) النظام الموصوف في المعادلة السابقة وهو في حالة اتزان. لاحظ أن النظام يحوي نسبة أكبر من غاز النيتروجين وغاز الهيدروجين، ولكن عند زيادة الضغط على النظام نتيجة تحريك المكبس إلى الأسفل، فإن الحيز الذي يشغله الخليط يقل، انظر الشكل

(٤-١٢ / بـ)، فتبدأ نسبة الأمونيا بالزيادة، وتقل نسبة غاز النيتروجين والهيدروجين. ومع مرور الوقت تثبت نسب المواد المتفاعلة والناتجة، وهذا يدل على وصول التفاعل إلى حالة الاتزان من جديد، انظر الشكل (٤-١٢ / جـ).

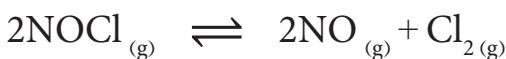
لتفسير ما حدث وفق مبدأ لوتشاتلييه، فإن الضغط الكلي على التفاعل تسبب في اندفاع التفاعل في الاتجاه الذي يقلل من أثر الزيادة في الضغط الواقع عليه، وهو الاتجاه الذي يقلل من عدد جزيئات الغاز. وفي هذه الحالة، فإن سرعة التفاعل الأمامي تزداد؛ لأن عدد جزيئات المواد الناتجة أقل من عدد جزيئات المواد المتفاعلة، ويحدث ذلك عن طريق اتحاد جزيئات N_2 و H_2 لتكوين NH_3 ، فيقل تركيز غاز H_2 و N_2 ، فماذا يحدث لو خفض الضغط الكلي؟



الشكل (٤-١٢): أثر زيادة الضغط في التفاعل الغازي.

سؤال

◀ بيّن أثر انخفاض الضغط في موضع الاتزان في التفاعل الآتي:



٣ - درجة الحرارة

يرتبط تأثير درجة الحرارة بطبيعة التفاعل إذا كان ماصاً للحرارة أو طارداً لها، مما تأثير اختلاف درجة الحرارة في هذين النوعين من التفاعلات؟ لنتعرّف بذلك، ادرس الجدول (٤-١)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

المجدول (٤-١) : قيم ثابت الاتزان لتفاعلين، أحدهما ماص للحرارة، والآخر طارد لها في درجات حرارة مختلفة.

التفاعل الطارد للحرارة		التفاعل الماص للحرارة	
$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$	حرارة	$N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$	حرارة
ثابت الاتزان	درجة الحرارة (°س)	ثابت الاتزان	درجة الحرارة (°س)
٧٠,٨	٣٤٠	$4 - 10 \times 2,5$	١٦٠٠
٦١,٩	٣٨٠	$4 - 10 \times 7,3$	١٨٠٠
٥٣,٧	٤٢٠	$4 - 10 \times 19$	٢٠٠٠

• ما قيمة ثابت الاتزان في درجتي الحرارة 1600°س ، و 1800°س في التفاعل الماص للحرارة؟

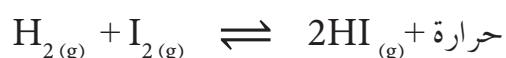
• ماذا تتوقع أن يحدث لقيمة ثابت الاتزان في التفاعل الماص للحرارة في درجة حرارة 2200°س ؟

• ما علاقة ارتفاع درجة الحرارة بقيمة ثابت الاتزان لتفاعل الماص للحرارة؟
لاحظ أن قيمة ثابت الاتزان تزداد بزيادة درجة الحرارة لتفاعل الماص للحرارة، فكيف تفسّر ذلك وفقاً لمبدأ لوتشاتلييه؟

بتطبيق مبدأ لوتشاتلييه على التفاعل الماص للحرارة، فإن النظام يحاول (عند رفع درجة حرارة التفاعل المتزن) التخلص من الحرارة الرائدة عن طريق استهلاكها، وتكوين المواد الناتجة، وذلك بامتصاص جزء من الطاقة الحرارية واستخدامها لتفكيك جزيئات N_2 و O_2 ، وتكوين NO ، وهذا يؤدي إلى تقليل تراكيز المواد المتفاعلة، وزيادة تراكيز المواد الناتجة في حالة الاتزان الجديدة مقارنة بتراكيز ما قبل زيادة درجة الحرارة، فيزداد ثابت الاتزان.

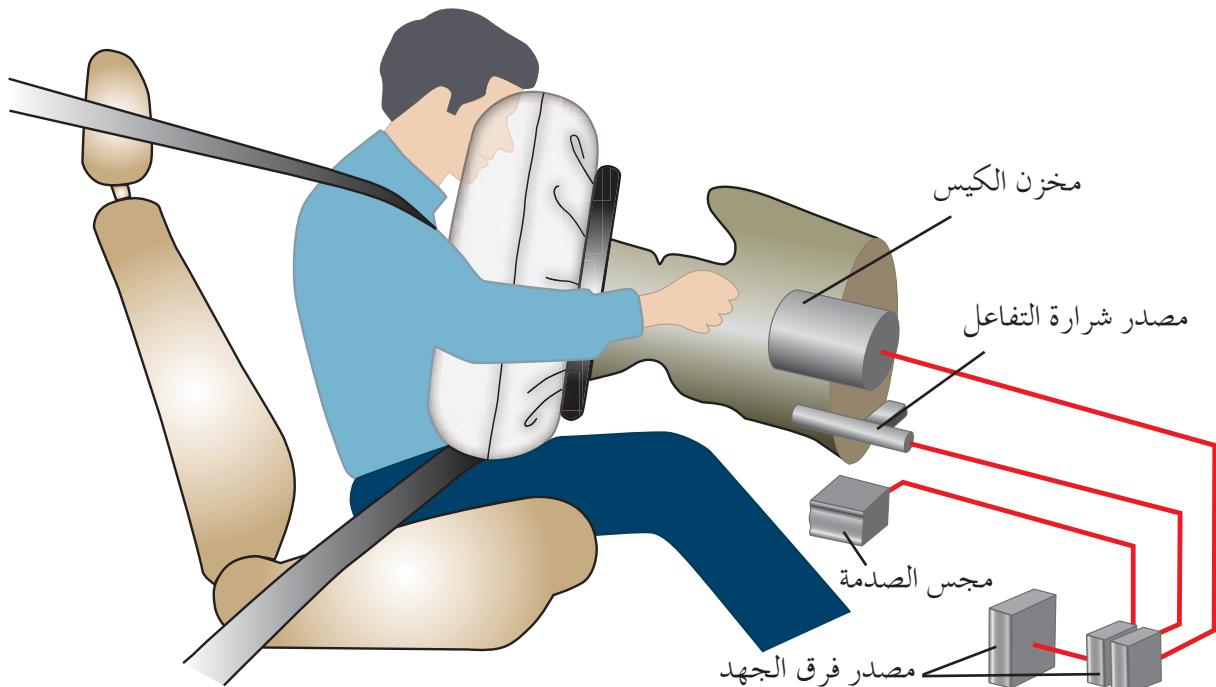
حاول تفسير نقصان قيمة ثابت الاتزان بزيادة درجة الحرارة لتفاعل الطارد للحرارة

الآتي:



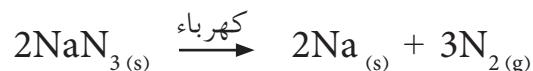
أكياس الهواء (Air Bags)

تستخدم في السيارات الحديثة الصنع أكياس هواء لمنع ارتطام السائق بمقود السيارة لحظة اصطدامها بسيارة أخرى أو بجسم آخر؛ إذ ينفتح الكيس خلال عشر ثانية بعد التصادم. ويُوضّح الشكل (٤-١٣) الأجزاء الرئيسية التي تتحكم في عمل نظام أكياس الهواء. حاول استنتاج طريقة فتح كيس الهواء بعد التصادم مباشرةً.



الشكل (٤-١٣): الأجزاء الرئيسية لنظام أكياس الهواء.

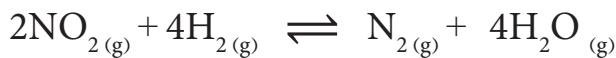
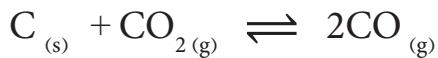
تستخدم مواد كيميائية متعددة في أكياس الهواء، منها: الخليط الصلب من أزيد الصوديوم NaN_3 ، وعامل مؤكسد. فعند حصول التصادم يحدث التفاعل، وينطلق غاز النيتروجين N_2 الذي يعمل على انتفاخ كيس الهواء ليعطي السائق من الارتطام بالمقود وفق المعادلة الآتية:



٦ أسئلة الفصل

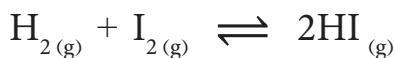
١ - وضح المقصود بالاتزان الديناميكي.

٢ - اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل من التفاعلين الآتيين:



٣ - فسر ما يأتي:

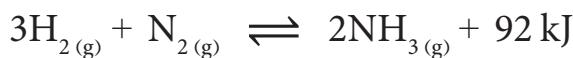
أ) لا يؤثر تغيير الضغط في موضع الاتزان في التفاعل المتزن الآتي:



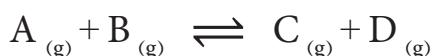
ب) يقل تركيز غاز الكلور Cl_2 في التفاعل المتزن الآتي عند زيادة الضغط الواقع على النظام:



ج) تزداد قيمة ثابت الاتزان (K_c) عند خفض درجة الحرارة لتفاعل المتزن الآتي:



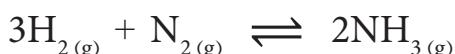
٤ - في معادلة الاتزان العامة الآتية:



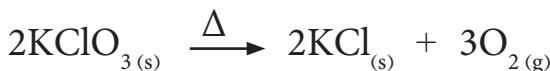
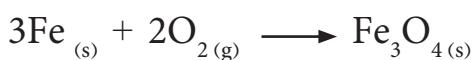
إذا أدخل في وعاء التفاعل الذي سعته لتر ٦٠ مول من A، و ٦٠ مول من B، فاحسب تركيز كلٌ من المواد: D، و C، و B، و A عند الاتزان، علماً بأن ثابت الاتزان $K_c = ٤٠٠$.

أسئلة الوحدة

١ - اكتب تعبير ثابت الاتزان لكلى من التفاعلين الآتيين:



٢ - صنف التفاعلات الآتية بـ لأنواعها الرئيسية:



٣ - احسب ما يأتي اعتماداً على التفاعل:

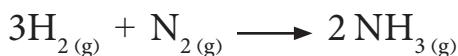


أ) حجم غاز الهيدروجين الناتج من تفاعل ٢ مول من هيدريد الكالسيوم CaH_2 مع ما يلزم من الماء في الظروف المعيارية.

ب) عدد مولات هيدروكسيد الكالسيوم الناتجة حين ينتج ١٠ غ من غاز الهيدروجين في التفاعل السابق.

٤ - ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي :

(١) إذا تفاعل ٦ مول من غاز الهيدروجين مع كمية مناسبة له من غاز النيتروجين وفقاً للالمعادلة:



فإن عدد مولات الأمونيا الناتجة يساوي:

- أ) ٢ مول ب) ١ مول ج) ٥,٠ مول د) ٤ مول

(٢) كتلة كلورات البوتاسيوم KClO_3 (كتلتها المولية ١٢٢,٥ غ / مول) اللازمة للحصول على ١٩,٢ غ من غاز الأكسجين عند تفكيكها حراريًّا حسب المعادلة الموزونة هي:



أ) ٢٤,٥ ب) ٤٩ ج) ١٢,٢٥ د) ٩٨

(٣) إذا كان الناتج الفعلي للميثanol في التفاعل: $\text{CO} + 2\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ هو ٣٠٠ غ فإن المردود المئوي للميثanol عند تفاعل ٥٠ غ من الهيدروجين مع كمية وافرة من CO هو:

أ) %.٧٥ ب) %.١٣٣ ج) %.٣٨ د) %.١٩

(٤) في التفاعل الآتي: $4\text{Al} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$ إذا خُلط مول من Al ومول من O_2 ، وحدث تفاعل فإن عدد مولات Al_2O_3 الناتجة هو:

أ) ٥,٠ مول ب) ٠,٦٧ مول ج) ١ مول د) ١٧,٠ مول

(٥) في التفاعل الآتي: حرارة + $\text{A}_{(g)} + \text{B}_{(g)} \rightleftharpoons \text{C}_{(g)}$ يزداد تركيز C عند:

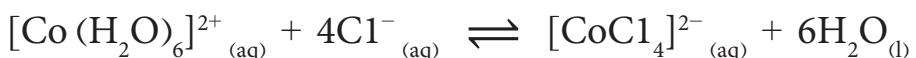
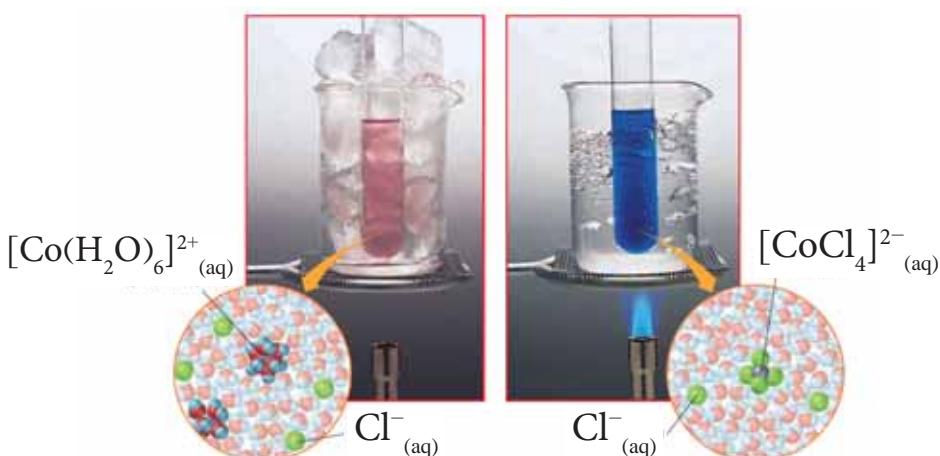
أ) سحب B من وعاء التفاعل.

ب) زيادة درجة الحرارة.

ج) زيادة حجم وعاء التفاعل.

د) زيادة تركيز A.

٥ - ادرس التفاعل الممثل في الصورة الآتية، مُبيِّنًا إذا كان طاردًا للحرارة أم ماصًّا لها. فسّر إجابتك.



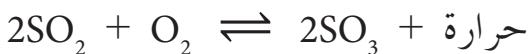
٦ - في التفاعل الآتي: $4\text{Ag} + 2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Ag}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ إذا خُلِطَ ٨٠٠ غ، O_2 ، و ٤١، ٩٥ غ، H_2S ، و ١٠٨ غ = Ag_2S الناتجة (الكتلة المولية لـ Ag_2S = ١٦٢، و H_2O = ١٦، و S = ٣٢ غ / مول).

٧ - في التفاعل الآتي: $\text{KCl}_{(aq)} + \text{AgF}_{(aq)} \rightarrow \text{AgCl}_{(s)} + \text{KF}_{(g)}$ إذا تكون ١٠ غ من كلوريد الفضة من تفاعل ٥٥ مل من AgF مع ٧٥ مل من KCl ، فاحسب تركيز كلٌّ من: AgF ، KCl ، والازمة للتفاعل.

٨ - في التفاعل الآتي: $\text{A}_{(g)} + \text{B}_{(g)} + \text{C}_{(g)} \rightleftharpoons 3\text{D}_{(g)}$ إذا أدخل ٢ مول من A ، و ٢ مول من B ، و ٢ مول من C في وعاء سعته ٢٠٠ مل، وكان ثابت الاتزان = ٨ عند درجة حرارة معينة، فاحسب التراكيز عند الاتزان.

٩ - حُضِر محلول بإذابة ١١، ٢ غ من $\text{Ba}(\text{OH})_2$ في الماء بحيث تكون محلول حجمه ٣ لترات. احسب تركيز H_2SO_4 الذي حجمه ٢٠٠ مل، والذي يلزم لمعادلته (الكتلة المولية لـ KOH = ٥٦، و $\text{Ba}(\text{OH})_2$ = ١٧١ غ / مول).

١٠ - في التفاعل المتزن الآتي:



إذا علمت أن تراكيز المواد عند الاتزان (مول / لتر) كانت على النحو الآتي:

$$[\text{O}_2] = ٠,٨ \quad [\text{SO}_2] = ٠,٢ \quad [\text{SO}_3] = ٠,٨$$

فاحسب ثابت الاتزان K_c لهذا التفاعل.

الكيمياء العضوية

- الهيدروكربونات
- المركبات العضوية الأخرى



- ما هي المركبات العضوية؟ وما خصائصها؟



الفصل الأول

١

الهيدروكربونات

Hydrocarbons

الكيمياء العضوية هي أحد فروع علم الكيمياء التي تُعني بدراسة مركبات الكربون، وقد ساد اعتقاد بأنه يمكن الحصول عليها فقط من مصادر حية (نباتات، وحيوانات)، إلى أن تمكّن العالم الألماني فريدرick فوهرر في بداية القرن التاسع عشر من تحضير مركب عضوي هو اليوريا، من مركب غير عضوي هو سيانات الأمونيوم.

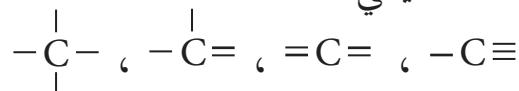
يعزى التنوع الكبير في المركبات العضوية إلى تفرد ذرة الكربون في تركيبها وترابطها؛ فهي تمتاز بأنها تدخل في تركيب أنواع عدّة من المركبات العضوية، وهو ما حفز العلماء إلى إنشاء فرع خاص بها يُسمّى المركبات العضوية، وتُعدّ الهيدروكربونات أحد أصناف المركبات العضوية، فما هذه المركبات؟ وكيف تُسمّى؟ وما خصائصها؟

ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل، ويُتوقع منك بعد ذلك أن:

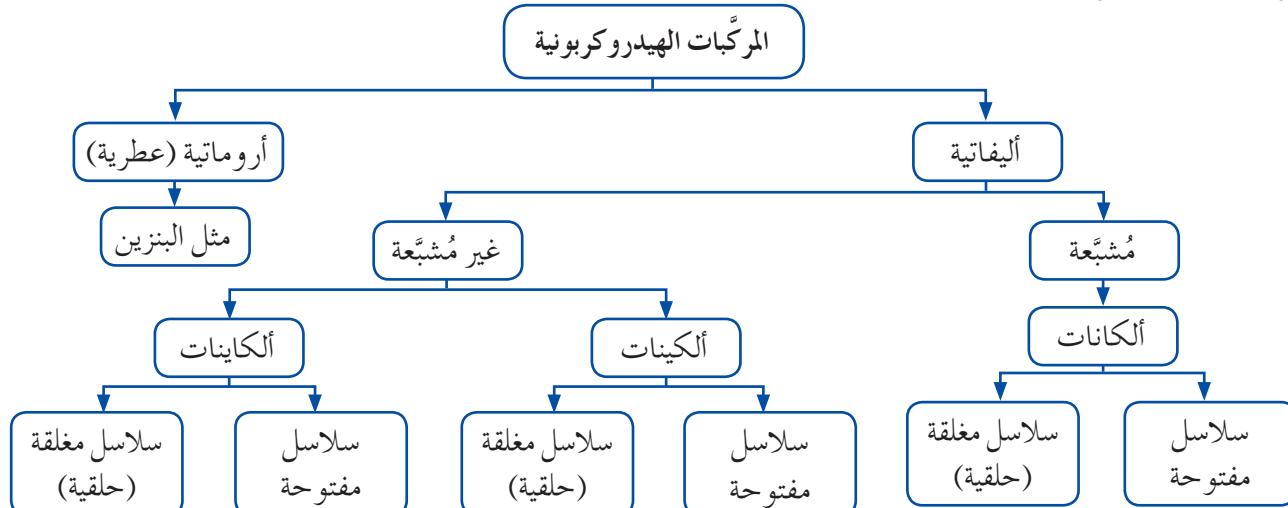
- تَتَعرَّفُ على الهيدروكربونات، وتحددُ تركيبها وخصائصها.
- تُميّز الهيدروكربونات المشبعة من الهيدروكربونات غير المشبعة.
- تُسمّي المركبات الهيدروكربونية وفقاً لنظام تسمية الاتحاد العالمي للكيمياء البحثة والتطبيقية (نظام تسمية الأيوباك IUPAC).
- تكتب الصيغ البنائية للجزئيات. معرفة أسمائها.
- تُعرّف التصاوغ، وتعطي أمثلة عليه.
- تُميّز المركبات الأليفاتية من المركبات الأروماتية، وتعطي أمثلة على كل منها.
- تفسّر أهم الخصائص الفيزيائية للهيدروكربونات.

تصنيف الهيدروكربونات

عرفت أن العنصر الرئيس في المركبات العضوية هو الكربون، وأن ذرة الكربون تحوي في مستوى الطاقة الأخير لها أربعة إلكترونات، وأنها تكون روابط تساهمية (أحادية، أو ثنائية، أو ثلاثية) عندما تتفاعل مع غيرها، كما يأتي:



وقد تعرّفت في الصف العاشر صنفًا من المركبات العضوية هو الهيدروكربونات، وهي مركبات مكونة من الكربون والهيدروجين فقط، ويمكن تصنيف الهيدروكربونات تبعًا لنوعية الروابط التي تكونها ذرات الكربون الموجودة فيها كما في الشكل (١-٥) الذي يمثل أحد تصنيفات الهيدروكربونات، وتعُرف أيضًا ثلاثة أنواع من الهيدروكربونات هي: الألkanات، والألkenيات، والألkinيات.



ادرس الجدول (١-٥) الذي يمثل عدداً من الهيدروكربونات، ثم صنف هذه المركبات إلى ألكان، وألكين، وألكاين.

المجدول (١-٥): أمثلة على الهيدروكربونات.

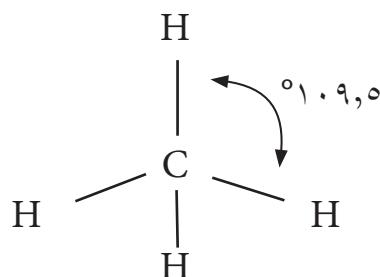
$\text{HC} \equiv \text{C}-\text{CH}_3$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
$\text{HC} \equiv \text{CH}$	CH_3CH_3	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}_3$

لاحظ أن كلاً من الألkanات، والألkenيات، والألkinيات في المجدول (١-٥) تصنف ضمن نوع واحد من المركبات الهيدروكربونية، هو الهيدروكربونات الأليفاتية ذات السلسلة المفتوحة.

وبالعودة إلى الشكل (١-٥) فإننا نجد أنواعاً أخرى من الهيدروكربونات، مثل: الهيدروكربونات الأليفاتية ذات السلسل المغلقة (الحلقية)، والهيدروكربونات الأروماتية، فما هذه المركبات؟ وممّ تتكوّن؟ وبماذا تختلف عن الهيدروكربونات ذات السلسل المفتوحة؟

١- الألكانات والألكانات الحلقة Alkanes and CycloAlkanes

تُعرَّف الألكانات بأنها هيدروكربونات مشبعة تتكون من عنصري الكربون والهيدروجين فقط، وجميع الروابط التي تكوّنها مشتركة أحادية من نوع σ . ويُعدّ الميثان CH_4 أبسط الألكانات، ويُتخذ شكلاً رباعي الأوجه منتظمًا، ويكون تهجين ذرة الكربون فيه من نوع sp^3 ; إذ ترتبط فيه ذرة الكربون بأربع ذرات هيدروجين كما في الشكل (٢-٥).



الشكل (٢-٥): شكل جزيء الميثان.

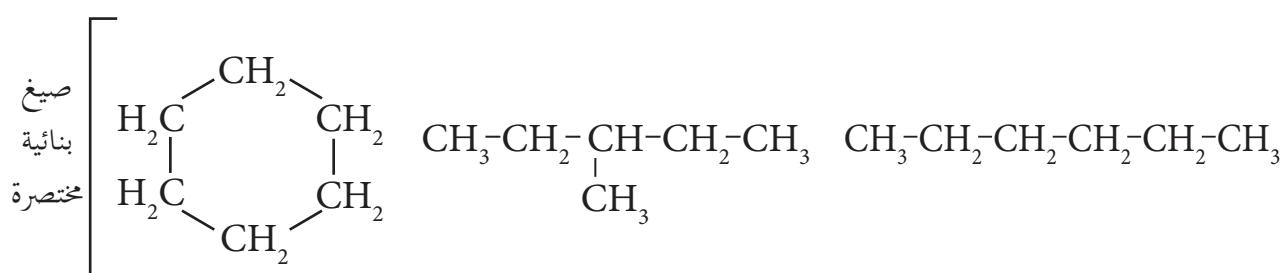
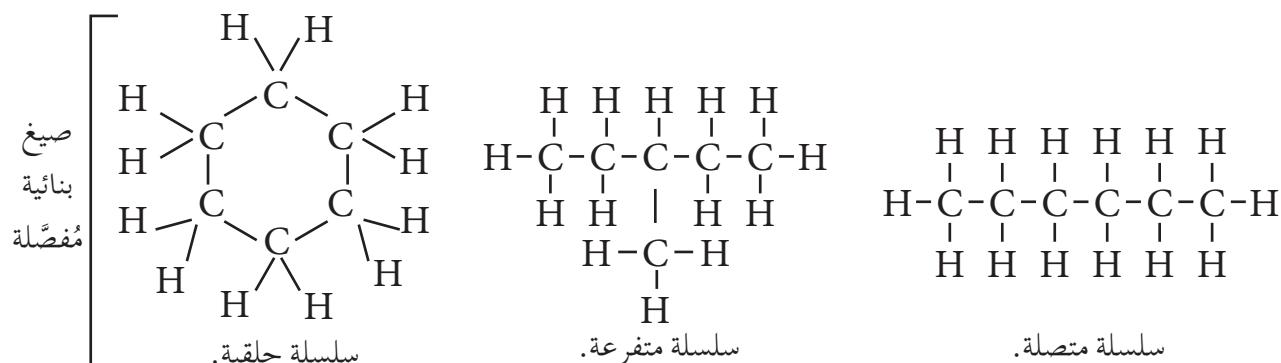
يُمثل الجدول (٢-٥) أسماء الألكانات العشرة الأولى، وصيغها الجزيئية والبنائية المختصرة.

الجدول (٢-٥): الألكانات العشرة الأولى، وصيغها الجزيئية والبنائية المختصرة.

الصيغة البنائية المختصرة	الصيغة الجزيئية	اسم الألكان
CH_4	CH_4	ميثان
CH_3CH_3	C_2H_6	إيثان
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	C_3H_8	بروبان
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	C_4H_{10}	بيوتان
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	C_5H_{12}	بنتان
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	C_6H_{14}	هكسان
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$	C_7H_{16}	هبتان
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$	C_8H_{18}	أوكتان
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$	C_9H_{20}	نونان
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	ديكان

يَبيَّنُ من الجدول (٢-٥) أَن الصيغة الجزيئية العامة للأَلْكَانَات هِي C_nH_{2n+2} حيث تُمثِّل n عدد ذرات الكربون، وَأَن كُلَّ أَلْكَانٍ تزيد صيغته الجزيئية عَلَى الأَلْكَانِ الَّذِي قَبْلَه بِالْمُقْطَع $-CH_2$.

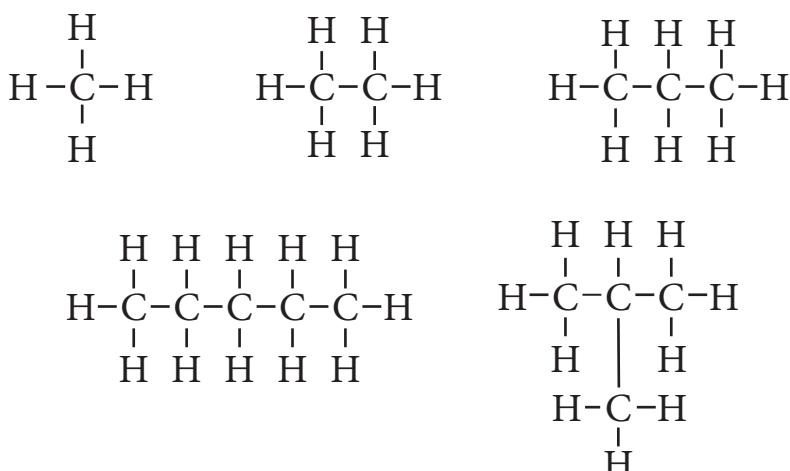
تُوجَدُ الأَلْكَانَات عَلَى شُكْلِ سلاسلٍ مُسْتَمِرَةً (متصلة)، أَوْ مُتَفَرِّعةً، أَوْ حَلْقِيَّةً. ولِتَعْرِفَ المُزِيدَ مِن الصيغِ الْبَنَائِيَّة لِعَدْدِ مِن الأَلْكَانَاتِ، ادْرُسِ الشُكْلَ (٣-٥) الَّذِي يُمثِّلُ صيغَةً بَنَائِيَّةً لِجُزِيَّاتِ بَعْضِ الأَلْكَانَاتِ.



الشكل (٣-٥): صيغ بنائية لجزيئات بعض الأَلْكَانَاتِ.

سؤال

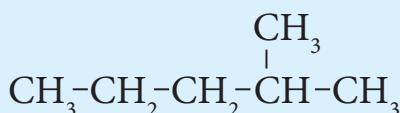
◀ ارسم صيغة بنائية مختصرة لكل أَلْكَانٍ مَمَّا يَأْتِي:



ونظراً إلى تطور علم الكيمياء وازدياد عدد المركبات العضوية المكتشفة أو المُحضرَة مخبرياً؛ فقد عمل الكيميائيون على وضع نظام خاص بتسمية هذه المركبات يُعرف بالأيوبارك (IUPAC) نسبةً إلى الاتحاد الدولي للكيمياء البحثة والتطبيقية، فما هذا النظام؟ وكيف تُسمى الهيدروكربونات بناءً عليه؟

للإجابة، ادرس الأمثلة الآتية.

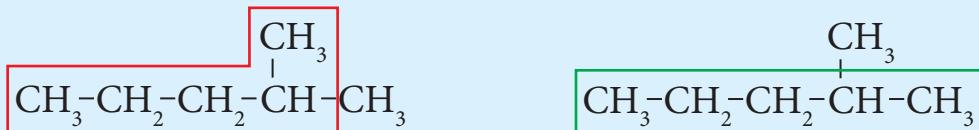
مثال (١)



سِمْ المركب الآتي:

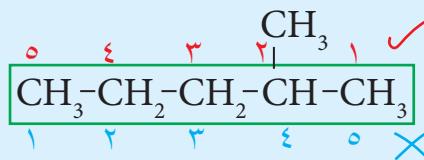
الحل

١ - نُحدّد أولاً أطول سلسلة مستمرة تحوي أكبر عدد من ذرات الكربون في المركب.



لاحظ أنه يمكن اعتماد السلسلة المُحدّدة باللون الأخضر أو المُحدّدة باللون الأحمر؛ فكلاهما سلسلة مستمرة تتكون من ٥ ذرات كربون.

٢ - نُرقم ذرات الكربون في السلسلة بدءاً بالطرف الأقرب إلى أول تفرع.



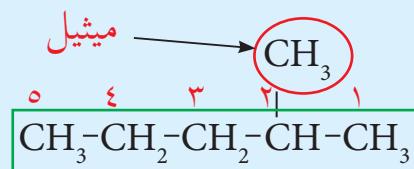
٣ - نُسمّي الفروع التي تتصل بأطول سلسلة وفق الأسس الآتية:

أ - تسمية الفروع بمجموعة الألكيل، وهي جزء من المركب العضوي يوجد بصورة غير مستقلة، ويمكن النظر إليه بوصفه مشتقاً من الألكان الأصلي بحذف ذرة هيدروجين ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$)، وتسمية مجموعة الألكيل بكتابة حرف (يل) بدلاً من (ان) في اسم الألكان، ومن الأمثلة عليها مجموعة ($-\text{CH}_3$) ميثيل، و($-\text{CH}_2$) إثيل، و($-\text{CH}_3$) بروپيل.

الجدول (٣-٥) بعض الأمثلة على مجموعات الألكيل.

الجدول (٣-٥): بعض مجموعات الألكيل.

الصيغة الجزئية	الصيغة البنائية	اسم المجموعة
$-\text{CH}_3$	$-\text{CH}_3$	ميثيل
$-\text{C}_2\text{H}_5$	$-\text{CH}_2\text{CH}_3$	إيثيل
$-\text{C}_3\text{H}_7$	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	بروبيل

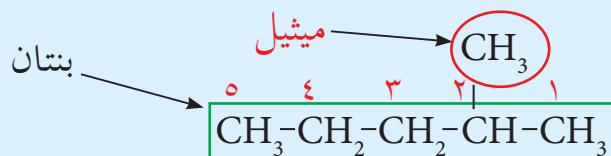


ب - كتابة رقم ذرة الكربون التي تحمل المجموعة قبل اسم تلك المجموعة، والفصل بين الرقم والاسم بشرطه (-)، وفي حال وجود أكثر من مجموعة تُعطى كل مجموعة رقمًا.

ج - في حال وجود مجموعات مختلفة فإنها تُكتب في الاسم حسب ترتيبها الهجائي.
د - في حال وجود مجموعات متشابهة تُكتب أرقام ذرات الكربون الحاملة لهذه المجموعات، ويوضع بينها فواصل، وتستخدم البادئات (ثنائي، ثلاثي، رباعي...)، للدلالة على عدد المجموعات المتشابهة.

وفي المثال المطلوب، توجد مجموعة ميثيل واحدة على ذرة الكربون رقم (٢) في السلسلة؛ لذا فهي تُسمى ٢ - ميثيل.

٤ - نُسمّي أطول سلسلة من ذرات الكربون في الألكان بإضافة المقطع (ان) إلى الاسم الإغريقي الذي يدل على عدد ذرات الكربون في السلسلة، ويكون هذا الاسم هو آخر جزء في اسم الألكان.



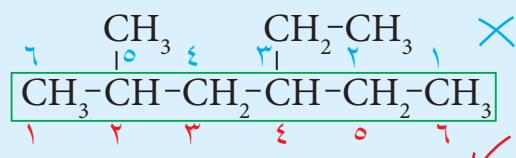
وبهذا يصبح اسم الألكان: ٢ - ميثيل بنتان.

مثال (٢)

سم المركب الآتي: $\begin{array}{c} \text{CH}_3 & \text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ | & | \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$ وفقاً لقواعد التسمية التي درستها في نظام تسمية الأيوبارك.

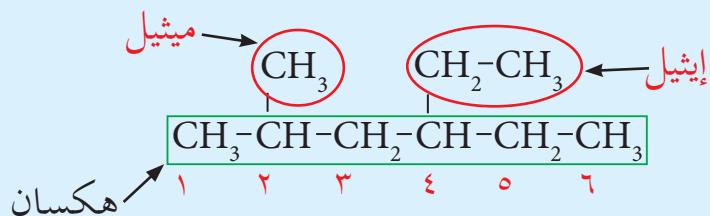
الحل

- نحدد أولاً أطول سلسلة من ذرات الكربون، ثم نرقم ذرات الكربون فيها من الطرف الأقرب إلى التفرع، بحيث تأخذ التفرعات أقل مجموع أرقام كما في الشكل الآتي:



حاول أن تجد سلاسل أخرى تحوي العدد نفسه من ذرات الكربون.

- نعطي كل مجموعة ألكيل اسمًا ورقمًا حسب رقم ذرة الكربون المتصلة بها في أطول سلسلة.

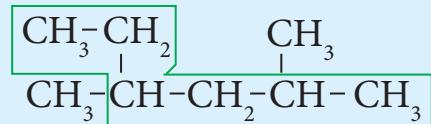


- نكتب اسم المركب بحيث توضع أسماء المجموعات وأرقامها حسب ترتيبها الهجائي، ثم يوضع اسم الألكان المشتق من أطول سلسلة في المركب، التي تتكون من ست ذرات كربون، وبذلك يصبح اسم المركب: ٤- إيثيل - ٢- ميثيل هكسان.

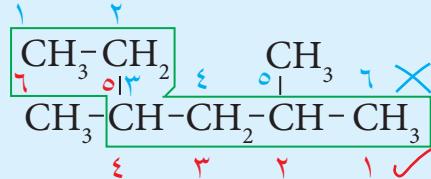
مثال (٣)

سم المركب الآتي: $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2 & \text{CH}_3 \\ | & | \\ \text{CH}_3-\text{CH} & -\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$ وفقاً لنظام تسمية الأيوبارك.

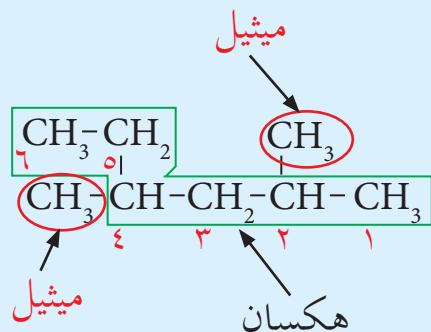
١ - نُحدّد أولاً أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون كما في الشكل الآتي:



٢ - نُرقم ذرات الكربون في السلسلة من الطرف الأقرب إلى أول تفرع.



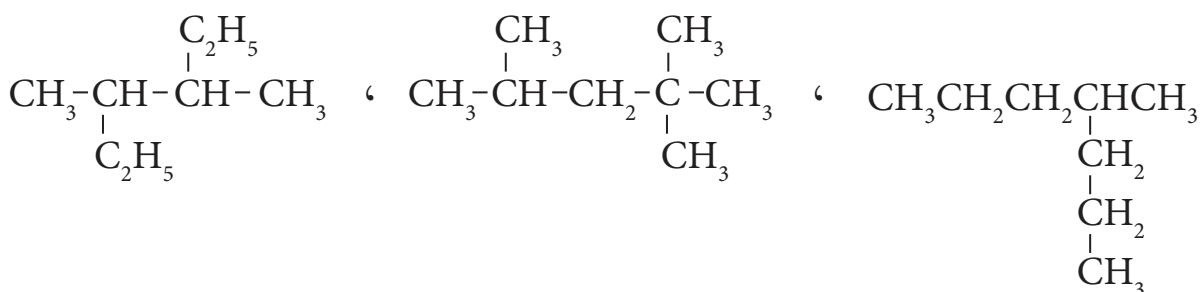
٣ - نُرقم كل مجموعة ألكيل حسب رقم ذرة الكربون التي ترتبط بها. لاحظ أن التفرعين هما ميثيل؛ لذا نستخدم الكلمة (ثنائي) ليصبح الاسم:



٤، ٢ - ثانوي ميثيل هكسان.

سؤال

◀ سِمَّ المركبات العضوية الآتية وفقاً لنظام تسمية الأيوبارك:



بناءً على معرفتك باسم الألكان، هل يمكنك كتابة صيغته البنائية؟ لستمك من ذلك، ادرس المثال الآتي.

مثال (٤)

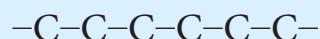
اكتب الصيغة البنائية للمركبين الآتيين:

(١) ٤،٢،٢ - ثلاثي ميثيل هكسان.

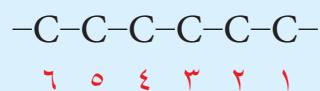
(٢) ٣،٥،٤ - ثنائي إيثيل - ٤ - ميثيل هبتان.

الحل

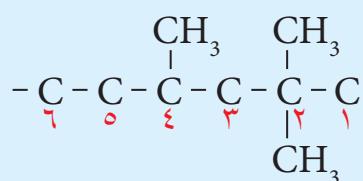
(١) أ - انتهي اسم الألكان بكلمة (هكسان)؛ لذا نكتب سلسلة مكونة من ٦ ذرات كربون:



ب - نُرقم ذرات الكربون في السلسلة:

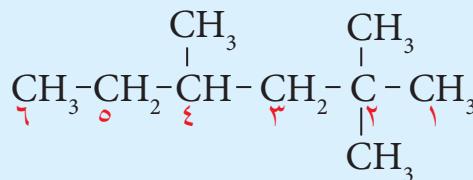


ج - نضع مجموعات الألكيل على السلسلة كما يأتي: نضع مجموعة ميثيل على ذرة الكربون رقم ٢، ومجموعة ميثيل واحدة على ذرة الكربون رقم ٤:



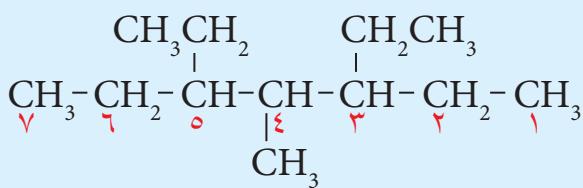
د - تكون ذرة الكربون في الألكان ٤ روابط أحادية من نوع ٥؛ لذا يمكن إكمال ما تبقى من الروابط بذرات الهيدروجين على النحو الآتي:

(٢،٤،٢) - ثلاثي ميثيل هكسان.



(٢) نُكِّر المخطوات السابقة لكتابه الصيغة البنائية في المركب الثاني:

٣، ٥ – ثانوي إيشيل – ٤ – ميثيل بنتان.



سؤال

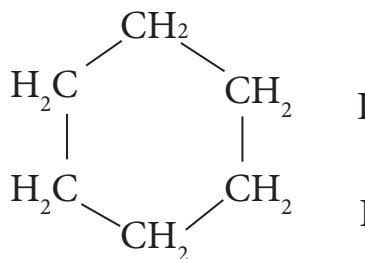
◀ اكتب الصيغة البنائية للمركيبين الآتيين:

أ) ٣ – إيشيل – ٢ – ميثيل بنتان.

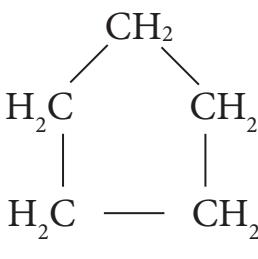
ب) ٢ ، ٣ – ثانوي ميثيل هكسان.

◀ حدد الخطأ في اسم الألكان ٢ ، ٢ – ثانوي إيشيل بنتان، ثم اذكر اسمه الصحيح.

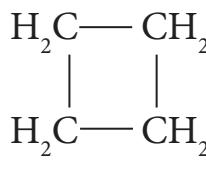
بعد أن تعرّفت طريقة تسمية الألkanات في سلاسل متفرعة وغير متفرعة، كيف تُسمّي الألkanات الحلقيّة؟ لتتعرّف ذلك، ادرس الشكل (٤-٥) الذي يُمثل عدداً من الألkanات الحلقيّة، واسم كل منها.



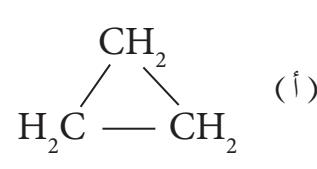
هكسان حلقي.



بنتان حلقي.



بيوتان حلقي.



(أ) بروبان حلقي.

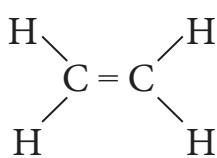


الشكل (٤-٥): الألkanات الحلقيّة.

يمكن كتابة الألkanات الحلقيّة بصورة مبسطة كما في الشكل (٤-٥/ ب)؛ إذ تمثّل كل زاوية في الشكل ذرة كربون، ولهذا فإن الحلقة التي تضم ٣ زوايا تُسمى البروبان الحلقي، وتلك التي تضم ٤ زوايا تُسمى البيوتان الحلقي، وهكذا.

◀ ما الصيغة الجزيئية العامة للألكانات الحلقيّة؟

٢ - الألكينات Alkenes



الشكل (٥-٥): صيغة الإيثين البنائية.

تتميز الألكينات باحتواء جزيئاتها على رابطة ثنائية بين ذرتين كربون متجاورتين، إحداهما من نوع سيغما (σ)، والأخرى من نوع باي (π)، أمّا صيغتها الجزيئية العامة فهي C_nH_{2n} ، ويعُد الإيثين أصغر الألكينات، ويكون تهجين ذرتي الكربون فيه من نوع sp^2 ، ويوضّح الشكل (٥-٥) صيغته البنائية.

الكيمياء في حياتنا



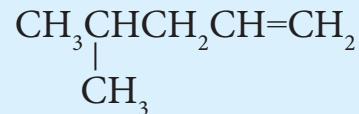
معظم النباتات لديها هرمون يُسمى هرمون الإيثين (C_2H_4) مثل البندورة التي تطلق الإيثين عندما تنضج.

لتتعرّف كيفية تسمية الألكينات، اتبع الخطوات الآتية:

- ١- حدد أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون تتضمّن الرابطة الثنائية بوصفها شرطاً أساسياً.
- ٢- رقم السلسلة من الطرف الأقرب إلى الرابطة الثنائية، بحيث تُعطى ذرة الكربون التي تبدأ بها الرابطة الثنائية أقل الأرقام بغض النظر عن التفرعات.
- ٣- رقم مجموعات الألكيل وسّمها كما تعلّمت في تسمية الألكانات.
- ٤- أضف مقطع (ين) إلى الاسم المقابل لعدد ذرات الكربون في أطول سلسلة، مراعياً أن يسبق الرقم الأصغر من بين رقمي ذرتي الكربون الرابطة الثنائية في المركب.

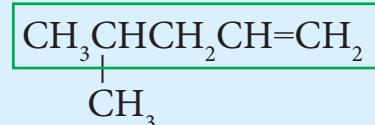
مثال (٥)

سَمِّيَ المَرْكَبُ الْآتَى وَفَقَأَ لِنَظَامِ تَسْمِيَةِ الأَيُوبَاكِ:

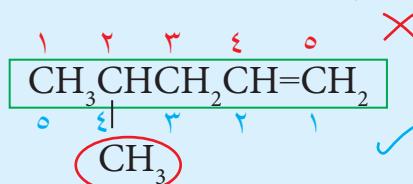


الحل

١- نُحَدِّدُ أَوَّلًا أَطْوَلَ سَلْسَلَةً مُسْتَمِرَةً مِنْ ذَرَاتِ الْكَرْبُونِ تَضَمَّنَ الرَّابِطَةَ الثَّانِيَةَ:

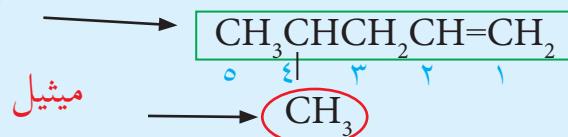


٢- نُرْقِمُ السَّلْسَلَةَ مِنَ الطَّرْفِ الْأَقْرَبِ إِلَى الرَّابِطَةِ الثَّانِيَةِ:



٣- نُسَمِّي مَجْمُوعَةَ الْأَلْكِيلِ الْمُتَصَلِّيَةَ بِالسَّلْسَلَةِ:

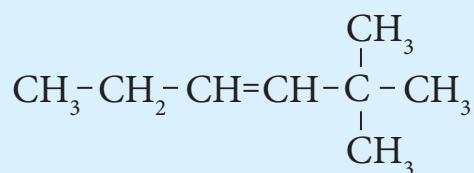
١- بَنَتَيْنِ



وَبِذَلِكَ يَصْبُحُ الاسمُ: ٤- مِيَشِيل - ١- بَنَتَيْنِ.

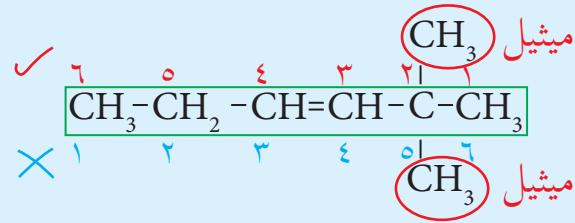
مثال (٦)

سَمِّيَ المَرْكَبُ الْآتَى وَفَقَأَ لِنَظَامِ تَسْمِيَةِ الأَيُوبَاكِ:



الحل

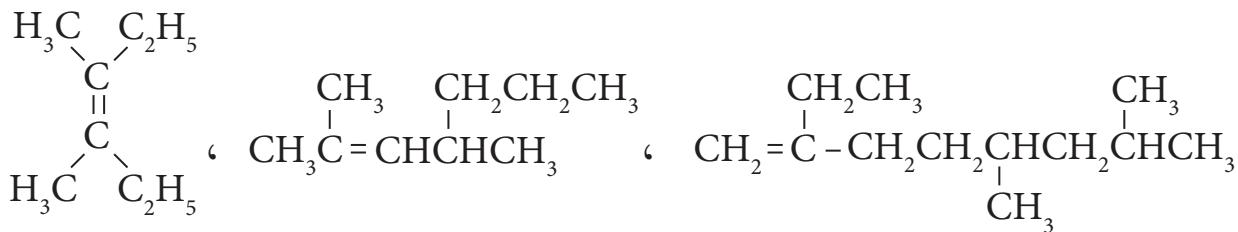
عِنْدِ تَرْقِيمِ أَطْوَلِ سَلْسَلَةٍ فِي الْمَرْكَبِ السَّابِقِ، لَا يَحْظَى أَنْ لَذْرَتِي كَرْبُونِ الرَّابِطَةِ الثَّانِيَةِ الرَّقْمَيْنِ نَفْسِيهِمَا مِنَ الاتِّجاهِيْنِ، وَهُمَا ٣ ، وَ ٤ ، وَ فِي هَذِهِ الْحَالَةِ يَجُبُ تَرْقِيمُ السَّلْسَلَةِ مِنَ الطَّرْفِ الْأَقْرَبِ إِلَى أَوَّلِ تَفْرِعٍ:



وبذلك يكون اسم المركب: ٢،٢ - ثنائي ميثيل - ٣ - هكسين.

سؤال

◀ سُمّ الألكيات الآتية وفق نظام تسمية الأيوبارك:



◀ اكتب الصيغة البنائية للمركيبين الآتيين:

■ ٤،٣،٣ - ثلاثي ميثيل - ١ - هكسين.

■ ٣ - إيشيل - ٦،٥ - ثنائي ميثيل - ٢ - أوكتين.

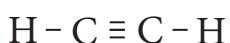
◀ حدد الخطأ في اسم المركب ٣ - ميثيل - ٢ - بيوتين؟ ما اسمه الصحيح؟

قضية للبحث

ابحث في الشبكة المعلوماتية، أو في مكتبة مدرستك عن أسماء الألكيات الحلقي، مستعيناً بالكلمات المفتاحية الآتية: ألكين حلقي، نظام تسمية الأيوبارك، الهيدروكربونات غير المشبعة.

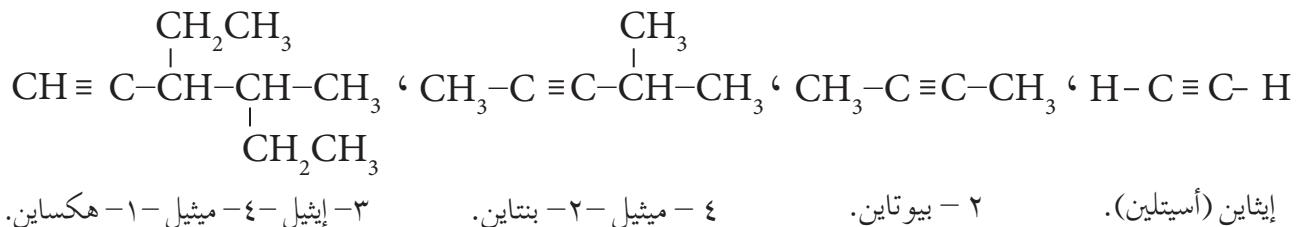
٣ - الألكيات Alkynes

تصنف الألكيات من الهيدروكربونات غير المشبعة؛ لأنها تحتوي على رابطة ثلاثة ذرتي كربون متقارن (رابطة من نوع π ، ورابطة من نوع σ)، ويعد الإيثان أصغر الألكيات، ويكون تهجين ذرتي الكربون فيه من نوع sp، ويبين الشكل (٦-٥) صيغته البنائية.



الشكل (٦-٥): صيغة الإيثان البنائية.

لتتعرفُ المُزيد عن هذا النوع من المركبات، ادرس الشكل (٧-٥)، ثم حاول استنتاج خطوات تسمية الألكاينات.



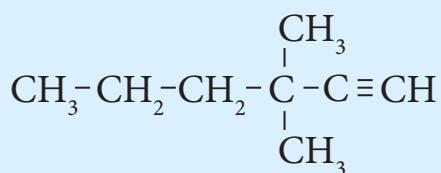
الشكل (٧-٥): أسماء بعض الألكاينات.

لاحظ أن تسمية الألكاينات تشبه طريقة تسمية الألكينات، باستثناء مقطع (أين) الذي يضاف إلى الاسم المقابل لعدد ذرات الكربون في أطول سلسلة التي تحتوي على الرابطة الثلاثية.

ولتوضيح طريقة تسمية الألكاينات، ادرس المثال الآتي.

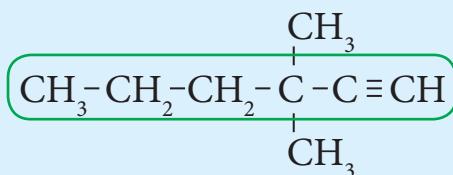
مثال (٧)

سَمِّيْ المَرْكَبُ الْآتَى وَفِقْ نَظَامِ تَسْمِيَةِ الْأَيُوبَاكِ:

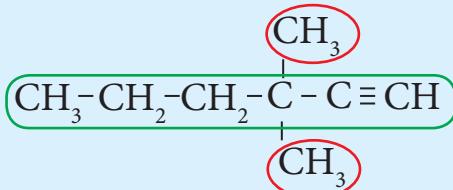


الحل

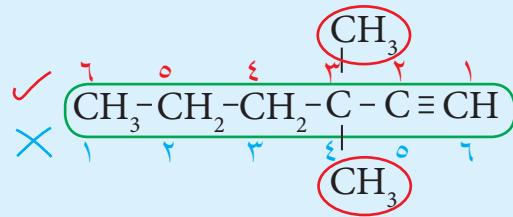
١ - نُحدِّد أولاً أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون تتضمَّن الرابطة الثلاثية:



٢ - نُحدِّد مجموعات الألكيل المرتبطة بهذه السلسلة:



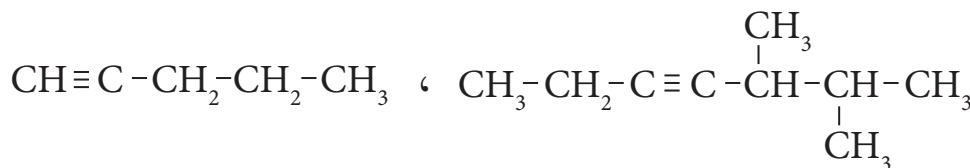
٣ - نُرْقِمُ السلسلة من الطرف الأقرب إلى الرابطة الثلاثية:



وبذلك يكون اسم المركب: ٣،٣ -ثنائي ميثيل -١ - هكساين.

سؤال

◀ سِمَّ المَرْكَبَيْنِ الْآتَيْنِ:



◀ حُدِّدَ الخطأ في اسم المركب ٢ - إيشيل -٥ - هكساين.



التصاوغ

ثانياً

تعَرَّفتَ في الصف العاشر مفهوم التصاوغ (Isomerism)، ورسمت متصاوغات لعدد من الألkanات. ولتتذَكَّر ذلك، نَفْذِ النشاط (١-٥).



نشاط (١-٥): التصاوغ

المواد والأدوات المطلوبة

صناديق نماذج الذرات.

الخطوات

- ١- مثل بالرسم الصيغة البنائية للجزيء C_3H_8 .
- ٢- أنشئ نموذجاً للجزيء الذي رسمته باستخدام نماذج الذرات والروابط.
- ٣- استخدم نماذج الذرات والروابط في بناء مجسمات للجزيئات التي تشتراك في الصيغة C_4H_{10} .
- ٤- ارسم أشكال نماذج الجزيئات السابقة مُستخدِماً رموز العناصر، والروابط الأحادية بينها.
- سِمَّ الجزيئات السابقة وفقاً لنظام تسمية الأيوبارك.

لاحظ أنه توجد صيغة بنائية واحدة فقط للصيغة الجزيئية C_3H_8 ، وصيغتان بنائيتان للصيغة الجزيئية C_4H_{10} . إن وجود أكثر من صيغة بنائية يعني وجود مركبات تختلف عن بعضها بعضاً في اسمائها وخصائصها الفيزيائية والكيميائية، ولكنها تشارك في صيغة جزيئية واحدة في ما يُعرف بالتصاوغ. لتكشف ذلك، ادرس الجدول (٤-٥).

الجدول (٤-٥): الخصائص الفيزيائية لمتصاوغات C_4H_{10} .

الصيغة البنائية	درجة الانصهار (°س)	درجة الغليان (°س)
$ \begin{array}{c} H & H & H & H \\ | & | & | & | \\ H-C-C-C-H \\ | & | & | & | \\ H & H & H & H \end{array} $	١٣٨-	٠,٥-
$ \begin{array}{c} H & H & H \\ | & | & | \\ H-C-C-C-H \\ | & | & | \\ H-C-H \\ | \\ H \end{array} $	١٦٠-	١١,٧-

- سَمْ المركَّبين في الجدول؟
- أيّهما له أعلى درجة غليان؟
- أيّهما له أعلى درجة انصهار؟

يعتمد عدد المتصاوغات لصيغة جزيئية ما على عدد ذرات الكربون المكوّنة للصيغة الجزيئية؛ فكلما زاد عدد ذرات الكربون زاد عدد المتصاوغات.

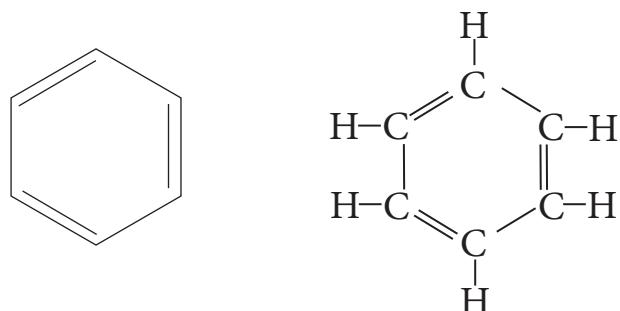
سؤال

- ◀ اكتب الصيغ البنائية المحتملة لجميع متصاوغات الصيغة الجزيئية C_5H_{12} ، وسَمْ كلاً منها.
- ◀ قارن بين عدد متصاوغات C_4H_{10} وعدد متصاوغات C_5H_{12} .

المركبات الأروماتية

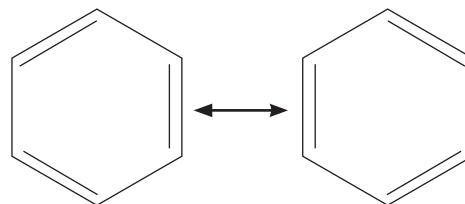
كلمة (أروماتية) تعني العطرية، وهي مشتقة من الكلمة أروما (Aroma) باللغة اللاتينية، فقد وُجدَ أن بعض هذه المركبات (عند اكتشافها) رائحة عطرية مميزة، ولكن أساس تصنيف المركبات العضوية هو السمات التركيبية للمركبات، وليس الرائحة، أو بعض الصفات الظاهرية الأخرى. أمّا كيميائياً فتُعرَّف المركبات الأروماتية (Aromatic Compounds) بأنها مركبات حلقية تحوي روابط ثنائية متعددة تحكمها علاقة خاصة.

يُعدُّ البنزين C_6H_6 أشهر هذه المركبات، ويُبيّن الشكل (٨-٥) الصيغة البنائية التي يمكن كتابتها له.



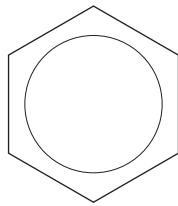
الشكل (٨-٥): صيغة البنزين البنائية.

يتبيّن من الشكل أن ذرات الكربون الست يرتبط بعضها ببعض على صورة حلقة سداسية، بحيث تترابط ذرات الكربون بثلاث روابط أحادية متعددة مع ثلاثة روابط ثنائية. ومع أن هذه الصيغة قد تبدو مقبولة، غير أنها لا تفسّر خصائص البنزين الفعلية؛ فأطوال الروابط في البنزين جميعها متساوية، وتفاعلات البنزين تختلف عن تفاعلات الألكين الحلقي الذي تُمثله أيّ من الصيغتين الظاهرتين في الشكل (٩-٥) اللتين تُعرفان باسم الصيغة الكيكولية.



الشكل (٩-٥): صيغ كيكولية للبنزين.

يُمثّل البنزين بالصيغة البنائية الظاهرة في الشكل (١٠-٥)؛ إذ تشير الدائرة إلى توزيع إلكترونات رابطة π على الروابط الست بين ذرات الكربون بالتساوي، وينظر إلى الصيغة في هذا الشكل بوصفها شكلاً وسطياً من الصيغتين الواردتين في الشكل (٩-٥).



الشكل (١٠-٥) : صيغة البنزين البنائية.

رابعاً

الخصائص الفيزيائية للهيدروكربونات

تتميز الهيدروكربونات بأنها مركبات غير قطبية، وبارتباط جزيئاتها بقوى لندن؛ لذا فهي لا تذوب في الماء، في حين أنها تذوب في المركبات غير القطبية. تتميز الهيدروكربونات أيضاً بانخفاض درجة غليانها مقارنةً بالمركبات العضوية الأخرى المشابهة لها في الكتلة المولية. ادرس الجدول (٥-٥)، ملاحظاً الخصائص الفيزيائية لبعض المركبات الهيدروكربونية.

الجدول (٥-٥) : درجة غليان بعض الألkanات، وحالتها الفيزيائية.

المركب	الصيغة المجزئية	درجة الغليان (°س)	الحالة الفيزيائية في الظروف الطبيعية
ميثان	CH_4	١٦١-	غاز
إيثان	C_2H_6	٨٨-	غاز
بروبان	C_3H_8	٤٢-	غاز
بيوتان	C_4H_{10}	٠,٥-	غاز
بنتان	C_5H_{12}	٣٦	سائل
هكسان	C_6H_{14}	٦٩	سائل

لاحظ أن درجة غليان الألkanات تزداد بازدياد عدد ذرات الكربون (زيادة الكتلة المولية)، وأن الألkanات الأربع الأولى تميز بأن حالتها الفيزيائية غازية، خلافاً للألkanات التي يتراوح عدد ذرات الكربون فيها بين (٥-١٦) ذرة؛ فحالتها سائلة. أمّا الألkanات التي عدد ذرات الكربون فيها أكثر من ذلك فهي صلبة.

سؤال

رتب الجزيئات الآتية تبعاً لتزايد درجة غليانها:
بيوتان، إيثان، نونان، هكسان.

٧ أسئلة الفصل

١ - ارسم متصاوغات الصيغة C_6H_{14} ، ثم سَمِّ كُلًا منها.

٢ - أكتب الصيغة البنائية للمرَّكبات الآتية:

أ) ٣ - إيشيل هكسان.

ب) ٤ - هبتاين.

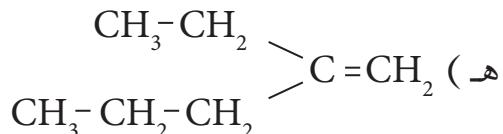
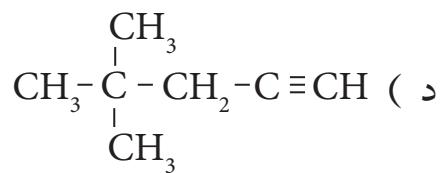
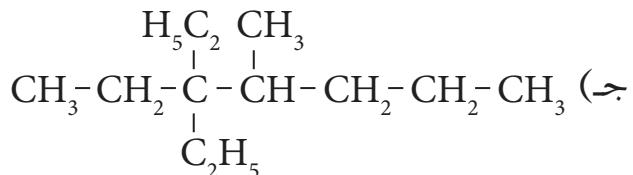
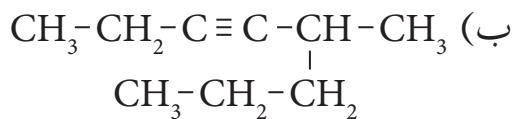
ج) ٥ - إيشيل - ٣ - ميثيل - ١ - أوكتين

د) ٦ - رباعي ميثيل نونان.

ه) هبتان حلقي.

٣ - أيهما درجة غليانه أعلى: الديكان أم الهبتان؟ فسّر إجابتك.

٤ - سَمِّ المرَّكبات الآتية وفق نظام تسمية الأُيوبارك:



(و)

الفصل الثاني

٢

المركبات العضوية الأخرى

Other Organic Compounds

درست في الفصل السابق من هذه الوحدة المركبات الهيدروكربونية التي تتكون من كربون وهيدروجين فقط. ولكن، هل توجد مركبات عضوية تحتوي على عناصر أخرى غير الكربون والهيدروجين؟ وكيف يؤثر وجود هذه العناصر في الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المركبات؟ يمثل وجود الكربون والهيدروجين وارتباطهما بروابط أحادية أساساً مشتركةً للمركبات العضوية جميعها، ويعد أي تعديل في الروابط (مثل وجود رابطة ثنائية، أو ثلاثة، أو وجود ذرات لعناصر أخرى، مثل الأكسجين، أو إحدى ذرات الهالوجينات) تغييراً مهماً في كيمياء المركبات الناشئة الجديدة؛ لذا يسمى هذا الجزء المميز (مثل الرابطة الثنائية، أو الذرات الأخرى غير الكربون والهيدروجين) المجموعة الوظيفية (Functional group).

المجموعة الوظيفية هي ذلك الجزء المميز الفاعل في المركب العضوي الذي يحدد خصائصه الكيميائية والفيزيائية، ونظراً إلى أهمية المجموعات الوظيفية في تحديد كيمياء المركبات العضوية؛ فقد صنفت المركبات العضوية التي تحوي مجموعات وظيفية أصنافاً عددة. فما تلك المركبات العضوية؟ وما المجموعة الوظيفية المميزة لكل منها؟ وكيف تسمى هذه المركبات وفق قواعد تسمية الأيونات؟ وما خصائصها الفيزيائية؟

ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

■ تحدد المجموعة الوظيفية المميزة لكل مركب عضوي.

■ تكتب صياغاً بنائياًً لمركبات عضوية تحتوي على مجموعة وظيفية.

■ تطبق قواعد التسمية عند تسمية هذه المركبات.

■ توضح بعض الخصائص الفيزيائية المميزة لهذه المركبات.

تصنيف المركبات العضوية

تصنّف المركّبات العضوية تبعًا للمجموعة الوظيفية الموجودة في المركّب العضوي إلى عائلات، أهمها مُمثّل في الجدول (٤-٥).

الجدول (٤-٥): أهم عائلات المركّبات العضوية بناءً على المجموعة الوظيفية فيها.

اسم العائلة	المثال	اسم المجموعة الوظيفية	الصيغة العامة للمركب العضوي
ألكينات	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$	رابطة ثنائية	$>\text{C}=\text{C}<$
ألكاينات	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	رابطة ثلاثية	$-\text{C}\equiv\text{C}-$
كحولات	CH_3-OH	هيدروكسيل	$\text{R}-\text{O}-\text{H}$
إيثرات	$\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$	إثير	$\text{R}-\text{O}-\text{R}'$
ألكيهيدات	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{H}$	كربونيل	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{H}$
كيتونات	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}_3$	كربونيل	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{R}'$
حموض كربوكسيلي	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OH}$	كربوكسيل	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OH}$
إسترات	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_3$	إستر	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{O}-\text{R}'$
أمينات	CH_3-NH_2	أمين	$\text{R}-\text{NH}_2$
هاليدات الألكيل	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$	هالوجين	$\text{R}-\text{X}$

اعتمادًا على الجدول (٤-٥)، أجب عن الأسئلة الآتية:

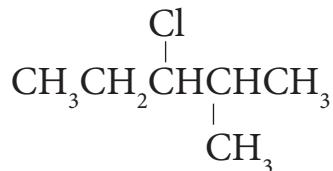
- ما المجموعة الوظيفية للمركبات التي تحتوي فقط على كربون وهيدروجين؟
- ما العائلات التي تحتوي على أكسجين؟
- كيف يمكنك تمييز الحمض الكربوكسيلي من الإستر؟

ستتعرّف في ما يأتي أصناف المركّبات العضوية حسب مجموعاتها الوظيفية:

١ - هاليدات الألكيل R-X (الهالوألكانات) Alkyl Halides

هي المركبات العضوية التي تحتوي، (إضافة إلى الكربون والهيدروجين)، على ذرة أو أكثر من ذرات الهالوجينات، وهي عناصر المجموعة السابعة (F, Cl, Br, I) في الجدول الدوري.

أما الصيغة العامة لـهاليدات الألكيل فهي $R-X$ ، حيث تمثل R مجموعة ألكيل، وتشير X إلى أحد الهالوجينات، وهي المجموعة الوظيفية المميزة لـهاليدات الألكيل كما في الأمثلة الآتية:



٣ - كلورو - ٢ - ميثيل بيتان.

٢ - فلورو بيutan.

برومو ميثان.

لتتعرف طريقة تسمية هاليدات الألكيل وفق نظام تسمية الأيوبارك، ادرس المثال الآتي.

مثال (١)

سَمِّيَ المَرْكُبُ الآتِيَ :



الحل

١ - نُرْقُمُ أولاً ذرات الكربون في أطول سلسلة من الطرف الأقرب إلى التفرع:

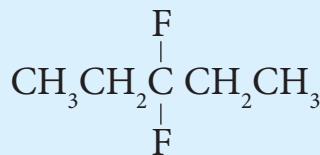


٢ - نكتب رقم ذرة الكربون التي تحمل ذرة الهالوجين، تليه شرطة (٢-)، ثم اسم الهالوجين على وزن هالو (٢ - بروم)، ثم اسم الألكان (هكسان)، فيصبح الاسم: ٢ - بروموهكسان.

في حال وجود أكثر من ذرة هالوجين متتماثلة، نعطي كلاً منها رقمًا يمثل ذرة الكربون التي ترتبط بها ذرات الهالوجينات، ونضع فاصلة بين كل رقم وآخر، ونستخدم كلمة (ثنائي) أو (ثلاثي) للدلالة على عدد ذرات الهالوجين المتتماثلة في المركب كما في المثال (٢).

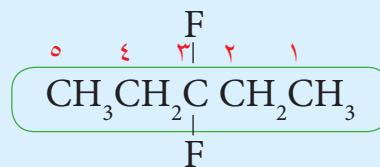
مثال (٢)

سَمْ المَرْكَبِ الْآتَى:



الحل

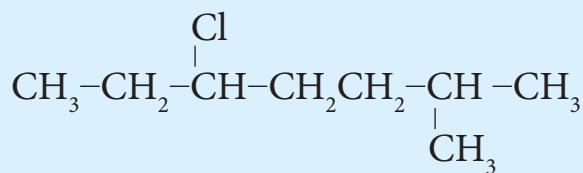
١ - نُرْقِمُ أَوْلَى سَلْسَلَةِ الْكَرْبُونِ مِنَ الطَّرْفِ الْأَقْرَبِ إِلَى ذَرَةِ الْهَالُوجِينِ:



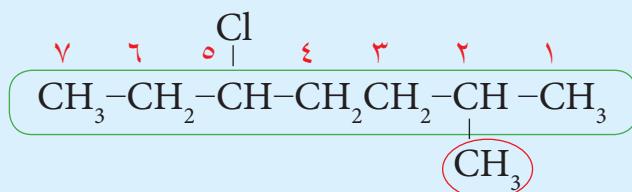
٢ - نَكْتُبُ الرَّقْمَ (٣، ٣) لِلَّدَلَالَةِ عَلَى رَقْمِ ذَرَةِ الْكَرْبُونِ الَّتِي تَرْتَبُطُ بِهَا ذَرَتَانِ الْهَالُوجِينِ، يَلِيهِ شَرْطَةُ (٣، ٣)، ثُمَّ كَلْمَةَ (ثَنَائِيٌّ)؛ نَظَرًا إِلَى وُجُودِ ذَرَتَيِ الْهَالُوجِينِ مِنَ النَّوْعِ نَفْسِهِ (ثَنَائِيٌّ فَلُورُو)، ثُمَّ اسْمِ الْأَلْكَانِ (بِنَتَانٍ)، فَيَصِبُّ الْاسْمَ: ٣، ٣ - ثَنَائِيٌّ فَلُورُو بِنَتَانٍ.

مثال (٣)

سَمْ هَالِيدِ الْأَلْكَيلِ الْآتَى:



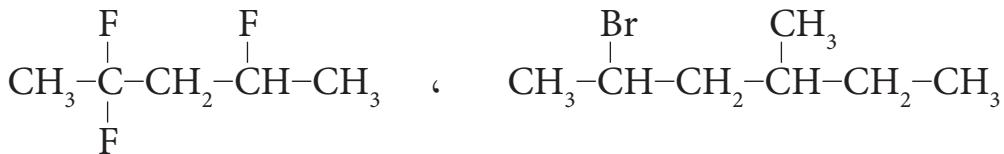
الحل



يُسَمِّي هَالِيدِ الْأَلْكَيلَ: ٥ - كَلُورُو - ٢ - مِيُشِيلِ هَبِتَانٍ (لَا حِظَّ أَنْ حِرَوفَ الْكَلِمَاتِ مُرْتَبَةٌ تَرْتِيبًا هَجَائِيًّا).

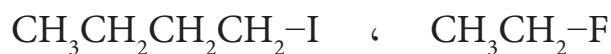
وَمِنَ الْجَدِيرِ بِالذِّكْرِ أَنَّ هَالِيدِ الْأَلْكَيلِ يَتَمَيَّزُ بِتَرْقِيمِ أَطْوَلِ سَلْسَلَةِ لَذَرَاتِ الْكَرْبُونِ، بِدَءَاءً بِالْأَقْرَبِ إِلَى التَّفَرْعِ؛ سَوَاءً كَانَ التَّفَرْعُ لَذَرَةِ هَالُوجِينِ، أَوْ لِجَمِيعِ مَوْعِدَةِ الْأَلْكَيلِ.

سَمِّ كل مركب عضوي مما يأتي وفق نظام تسمية الألويات:

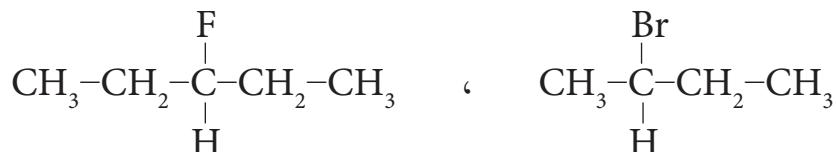


تصنف هاليدات الألكيل (باستثناء هاليدات الميثيل) حسب ارتباط ذرة الهالوجين بذرة الكربون إلى:

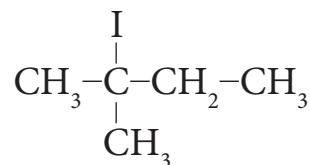
أ - هاليدات أولية: وفيها ترتبط ذرة الكربون التي تحمل ذرة الهالوجين بذرة كربون واحدة كما في المثالين الآتيين:



ب - هاليدات ثانية: وفيها ترتبط ذرة الكربون التي تحمل ذرة الهالوجين بذرتين كربون كما في المثالين الآتيين:



ج - هاليدات ثالثية: وفيها ترتبط ذرة الكربون التي تحمل ذرة الهالوجين بثلاث ذرات كربون كما في المثال الآتي:



يُذكر أن هاليدات الميثيل (CH_3X) تُعد صنفًا مستقلًا يختلف عن تصنيف هاليدات الألكيل.

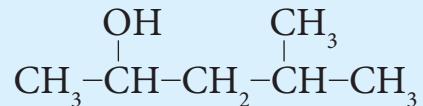
٢ - الكحولات R-OH

تتميز الكحولات باحتواها على المجموعة الوظيفية (OH) التي تُسمى مجموعة الهيدروكسيل، وترتبط بالجزء الهيدروكربوني من الألكان (R) (مجموعة الكيل)، ويشتق الكحول من الألكان نتيجة استبدال مجموعة الهيدروكسيل بذرة هيدروجين. ولتعرف طريقة تسمية الكحولات، ادرس المثال الآتي.

مثال (٤)

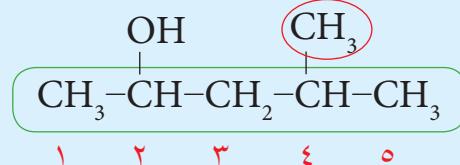


سَمْ الْكَحُول الْآتِي حَسْبَ نَظَامِ تَسْمِيَةِ الْأَيُوبَاكِ:



الحل

١ - نُحدّد أولاً أطْوَل سَلْسَلَةِ كَرْبُونِ تَضُم مَجْمُوعَةَ الْهَيْدِرُوكَسِيلِ:



٢ - نُرْقِمُ هَذِهِ السَّلْسَلَةِ مِنَ الطَّرْفِ الْأَقْرَبِ إِلَى مَجْمُوعَةِ الْهَيْدِرُوكَسِيلِ (OH) كَمَا هُوَ مُبَيَّنُ فِي الْبَندِ الْأَوَّلِ.

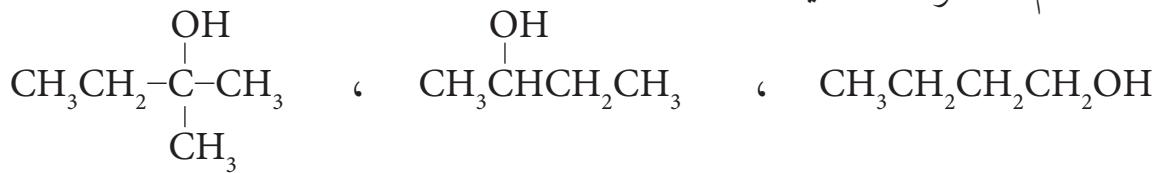
٣ - نَكْتُبُ رَقْمَ ذَرَةِ الْكَرْبُونِ الَّتِي تَرْتَبِطُ بِمَجْمُوعَةِ الْهَيْدِرُوكَسِيلِ (٢).

٤ - نَكْتُبُ رَقْمَ ذَرَةِ الْكَرْبُونِ الَّتِي تَرْتَبِطُ بِمَجْمُوعَةِ الْمِيَشِيلِ (٤).

٥ - نُسَمِّي مَجْمُوعَةَ الْمِيَشِيلِ فِي مَقْدِمَةِ الاسمِ، ثُمَّ نُرْقِمُ ذَرَةِ الْكَرْبُونِ الَّتِي تَرْتَبِطُ بِمَجْمُوعَةِ الْهَيْدِرُوكَسِيلِ، ثُمَّ اسْمَ الْأَلْكَانِ مَضَافًا إِلَيْهِ الْمُقْطَعِ (ول) لِيَصْبُحَ الْكَانُولُ، وَبِذَلِكَ يَكُونُ اسْمُ الْمَرْكَبِ: ٤ - مِيَشِيلِ - ٢ - بَنْتَانُول.

سؤال

سَمْ الْكَحُولَاتِ الْآتِيَةِ:

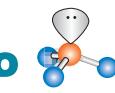


اكتب الصيغة البنائية للمركب: ٢ - ميشيل - ٣،٣ - ثنائي إيثيل - ١ - هبتانول.

ما الخطأ في اسم المركب الآتي: ٢ - ميشيل - ٥ - هكسانول؟ اكتب اسمه الصحيح.

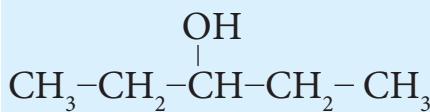
تصنيف الكحولات حسب تركيب مجموعة الألكيل التي تتصل بمجموعة الهيدروكسيل إلى أولية وثانوية وثالثية (مثل طريقة تصنيف هاليدات الألكيل نفسها). ولتوسيع ذلك، ادرس المثال الآتي.

مثال (٥)

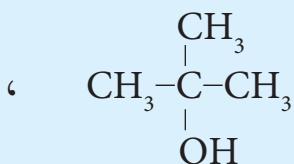


سَمَّ الْكَحُولَاتِ الْآتِيَةِ، مُصَنَّفًا إِيَاهَا إِلَى أُولَى وَثَانِيَةِ وَثَالِثَيَةِ:

(٣)



(٢)



(١)



الحل

١) إيثanol، كحول أولي.

٢) ٢- ميثيل - ٢- بروبانول، كحول ثالثي.

٣) بنتانول، كحول ثانوي.

الكيمياء في حياتنا



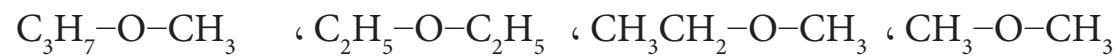
تُعدُّ الْكَحُولَاتِ أَحَدَ أَكْثَرِ الْمَرَكَبَاتِ الْعَضُوَيَّةِ اسْتِخْدَامًا فِي الْحَيَاةِ، وَمِنْ أَشْهَرِهَا مُعْقِمُ الجروح الذي يستخدم في البيت والمستشفيات، ويُعرَفُ بِاسْمِ الْكَحُولِ الطَّبِيِّ (السيبرتو).

قضية للبحث

تُصَنَّفُ الْكَحُولَاتِ وَفِقْعَدِ عَدْدِ مَجْمُوعَاتِ الْهَيْدِرُوكَسِيلِ فِيهَا إِلَى أَنْوَاعِ عَدَّةٍ. مُسْتَعِينًا بِالْكَلْمَتَيْنِ الْمُفَاتِحِيْتَيْنِ: كحول، كحول متعدد الهيدروكسيل، ابحث في الشبكة المعلوماتية عن هذه الأنواع، ثم اكتب تقريرًا عنها، واعرضه على زملائك.

٣ - الإيثرات Ethers R - O - R'

تُعدُّ الإيثرات من المذيبات العضوية الشائعة الاستخدام نظرًا إلى قطبيتها المنخفضة، وهو ما يجعلها قادرة على إذابة العديد من المواد. لتتعرف الإيثرات، وصيغها البنائية، وأسماءها الشائعة، انظر إلى المركبات الآتية وأسمائها:



ثنائي ميثيل إيثر إيثيل ميثيل إيثر بروبيل ميثيل إيثر

● ما وجوه الشبه بين هذه الصيغ؟

● كيف تسمى الإيثرات؟

لاحظ أن الإيثرات تحتوي على ذرة أكسجين مرتبطة بمجموعتي الألکيل، وأن الإيثرات البسيطة تسمى بأسماء مجموعات الألکيل المرتبطة بذرة الأكسجين، متبوعةً بكلمة إيثر.

سؤال

ما اسم الإيثر الآتي: $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$

ما الصيغة البنائية لمركب: إيثيل بروبيل إيثر؟

تعد الإيثرات والكحولات متضاوغات وظيفية؛ أي إنها تشتراك في الصيغةجزئية، وتختلف في المجموعة الوظيفية والصيغة البنائية لكل منها؛ فمثلاً الصيغةجزئية $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ قد تمثل صيغة جزئية لکحول أو إيثر كما يأتي:



ثنائي ميثيل إيثر الإيثانول

جدير بالذكر أن التصاوغ الوظيفي شائع بين المركبات العضوية، وتعد الكحولات والإيثرات مثلاً نموذجيًّا عليه.

سؤال

رسم أشكالاً بنائيةً محتملةً لمتصاوغات $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ، ثم سُمِّيَّ كُلُّ منها حسب نظام تسمية الأيوبارك.

٤ – الألديهيدات $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{R}'$ والكيتونات $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{H}$

تمتاز هذه المركبات بوجود مجموعة وظيفية تسمى الكربونيل ($-\text{C=O}$)، وهي من

المرَّكبات التي تتشابه في صيغها الجزيئية، ولكنّها تختلف عن بعضها في صيغها البنائية في ما يُعرف بالتصاوغ الوظيفي الذي درسته في موضوع الإيثرات والكحولات. لنتعرّف هذه المرَّكبات، انظر إلى الشكل (١١-٥) الذي يحتوي على عدد من الألديهايدات والكيتونات وأسماؤها النظامية والشائعة.

$\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	الاسم النظامي:
إيثانال	ميثانال	
أسيتالديهايد	فورمالديهايد	الاسم الشائع:
$\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{CH}_3\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	الاسم النظامي:
٢ - بيوتانون	بروبانون	
إيشيل ميثيل كيتون	أسيتون	الاسم الشائع:

الشكل (١١-٥): بعض الألديهايدات والكيتونات، وأسماؤها النظامية والشائعة.

لاحظ أن الألديهايدات تمتاز بوجود ذرة هيدروجين طرفية مرتبطة بمجموعة الكربونيل

$\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{C} \end{array}$ ؛ أي إنها في بداية الجزيء، وتُسمى الألديهايدات بإضافة مقطع (ال) إلى اسم الألkan الذي يحوي العدد نفسه من ذرات الكربون. أمّا الكيتونات فترتبط فيها مجموعة الكربونيل بمجموعتي ألكيل (R) على جانبي مجموعة الكربونيل؛ أي إن مجموعة الكربونيل غير طرفية، وتُسمى الكيتونات بإضافة مقطع (ون) إلى اسم الألkan المقابل. لتوضيح ذلك، ادرس المثالين الآتيين.

مثال (٦)

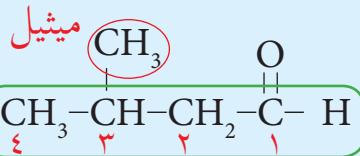
سُم الألديهايد الآتي:

$\text{CH}_3-\overset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{C}}}-\text{CH}-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{C} \end{array}-\text{H}$.

الحل

١- نُرقم أولًا أطول سلسلة كربونية تحتوي على مجموعة كربونيل، ونعطي هذه المجموعة

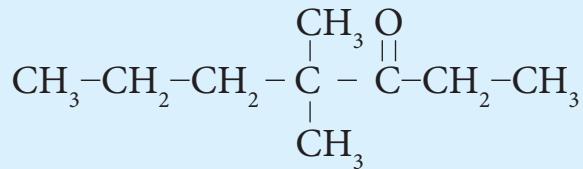
دائماً الرقم (١):



٢- نُعطي الفروع أرقاماً وأسماءً - كما تعلمت سابقاً، فيكون الاسم: ٣- ميثيل بيوتانال.
لاحظ أن رقم المجموعة الوظيفية لم يوضع في الألديهاید؛ لأنها دائمًا تأخذ الرقم (١).

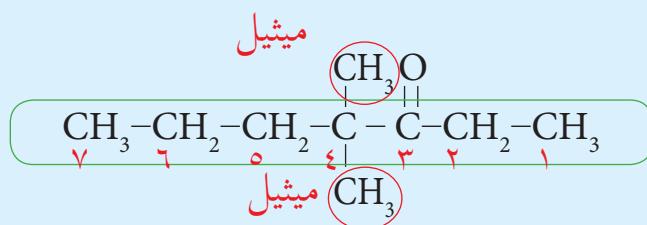
مثال (٧)

سِم الكيتون الآتي:



الحل

١- نُرقم أولاً أطول سلسلة كربونية تحتوي على مجموعة الكربونيل، بدءاً بالطرف الأقرب إلى مجموعة الكربونيل:



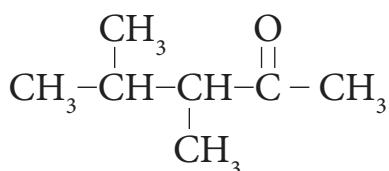
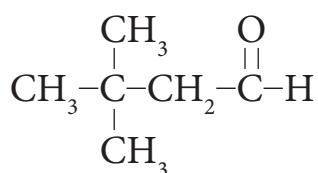
٢- نضع رقم مجموعة الكربونيل قبل اسم الكيتون، فيكون الاسم:
٤، ٤- ثانائي ميثيل - ٣- هبتانون.

سؤال

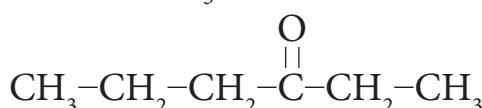
◀ سِم كلاً من المركبات الآتية:



‘



‘



◀ اكتب الصيغة البنائية لكلٌ من المركَّبين الآتيين:

٤،٣ – ثنائي ميثيل هكسانال.

٢ – ميثيل – ٣ – هبتانون.

◀ حدد الخطأ في اسم كلٌ من المركَّبين الآتيين، ثم صحيحة:

٢ – ميثيل – ١ – بيوتانال.

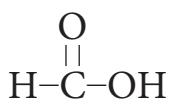
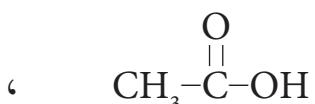
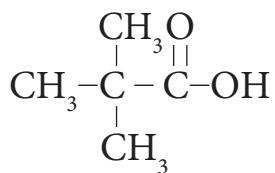
٢ – إيثيل – ٤ – هكسانون.

◀ اكتب الصيغ البنائية لمتصاوغات الصيغة الجزيئية C_3H_6O .

٥- الحموض الكربوكسيلية $R-C(=O)-OH$ Carboxylic Acids

يُمثل هذا الصنف من المركَّبات العضوية أهمية كبيرة في حياتنا اليومية؛ فنحن نستخدم الخل في كثير من المجالات، وهو حمض كربوكسيلي يُسمى حمض الأسيتيك (الإيثانويك)، ونتعرَّض أيضًا للسع النمل الذي يفرز حمض الفورميك (الميثانويك) في أثناء عملية اللسع، ونستمتع بطعم الحمضيات المميز لوجود حمض السيتريلك فيها.

لتتعرَّف المزيد عن الحموض الكربوكسيلية، وطريقة تسميتها، ادرس المركَّبات الآتية، ثم أجب عما يليها من أسئلة:



حمض ٢،٢ – ثنائي ميثيل بروبانويك.

حمض الإيثانويك.

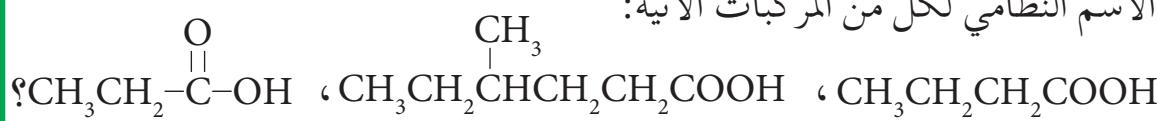
حمض الميثانويك.

● ما المجموعة المشتركة في هذه المركَّبات؟

● ما المقطع الذي ينتهي به اسم هذه المركَّبات؟

لاحظ أن الحموض الكربوكسيلية جميعها تشترك في المجموعة الوظيفية التي تُسمى الكربوكسيل $COOH$ ، وأن هذه الحموض ينتهي اسمها بمقطع (ويك). لتسمية الحموض الكربوكسيلية، يمكن اتباع خطوات تسمية الألديهيدات نفسها، مع كتابة المقطع (ويك) في الحمض بدلاً من المقطع (ال) بالألديهيد، وذكر الكلمة (حمض) في بداية الاسم.

◀ ما الاسم النظامي لكلٌ من المركبات الآتية:



◀ اكتب الصيغة البنائية للحمض الكربوكسيلي: حمض ٢،٣ - ثنائي ميثيل بنتانويك.

◀ ما الخطأ في اسم المركب الآتي: حمض ٢ - ميثيل - ١ - بروبانويك؟ اكتب اسمه الصحيح.

الكيمياء في حياتنا

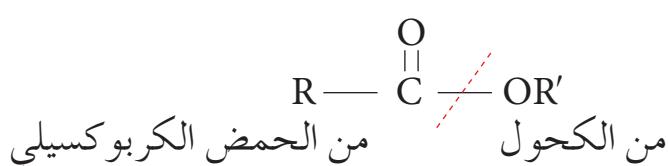


يُعدُّ فيتامين C أو حمض الأسكوربيك من الفيتامينات المهمة جدًا لجسم الإنسان بالرغم من أن كميات قليلة منه تكفي حاجة الجسم، ويوجد هذا الفيتامين في أنواع معينة من الطعام.

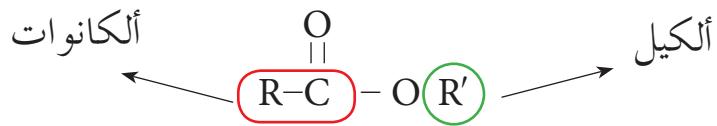
يساعد فيتامين C على منع انتشار المرض والوقاية منه، وهو متوافر في الحمضيات والخضراوات الملونة.

٦ - الإسترات Esters R-C(=O)-OR'

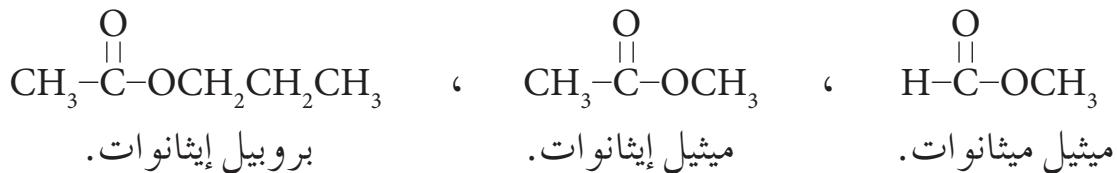
تمتاز الإسترات بروائح عطرية تشبه رائحة بعض الفواكه؛ فإستر بنتيل إيثانوات رائحته تشبه رائحة الموز، وميثيل بيوتانوات تُماثِل رائحته رائحة التفاح. لتعتَّرفُ المزيد عن الإسترات، ادرس الشكل الآتي.



لاحظ أن صيغة الإستر تتكون من جزأين؛ أحدهما من الحمض الكربوكسيلي، والآخر من الكحول، ويُسمى الإستر بكتابة مجموعة الألكيل المستمدَة من الكحول أولاً، ثم كتابة الشق المستمد من الحمض، مع استبدال المقطع (وات) بالمقطع (ويك)، فيكون الاسم العام للإستر هو ألكيل ألكانوات كما يأتي:



وتوُضِّح الأمثلة الآتية تسمية بعض الإسترات:



سؤال

◀ سَمْ الإِسْتَرِينَ الْآتَيْنِ:

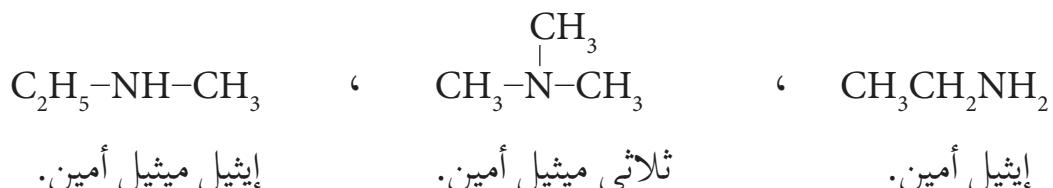


◀ اكتب الصيغة البنائية لـإستر بروبيل بروبانوات.

◀ ارسم أشكالاً بنائيةً لمتصاوغات $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ التي تمثل حموضاً كربوكسيليةً وإسترات.

-7 -الأمينات Amines

يمكن النظر إلى الأمينات بوصفها مركبات مشتقة من الأمونيا NH_3 ، وذلك بعد استبدال بمجموعة الألكيل أو أكثر بذرة هيدروجين أو أكثر في الأمونيا. وتُعد ذرة النيتروجين مجموعة وظيفية في الأمينات، انظر الأمثلة الآتية لعدد من الأمينات وأسمائها الشائعة:



تصنف الأمينات حسب عدد مجموعات الألكيل التي ترتبط بذرة النيتروجين إلى أولية وثانوية وثالثية كما يأتي:



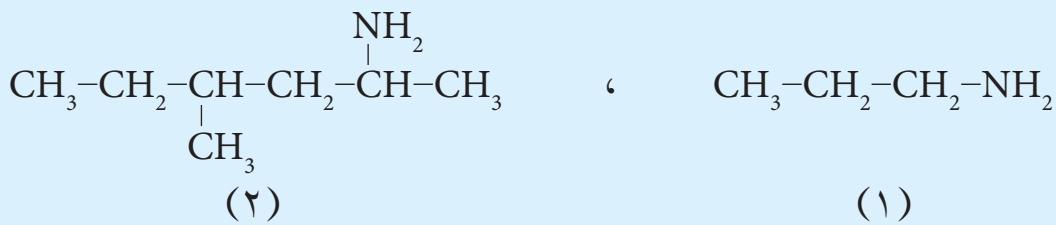
سؤال

◀ صَنْفَ الأمينات السابقة (إيثيل أمين، وثلاثي ميثيل أمين، وإيثيل ميثيل أمين) إلى أولية وثانوية وثالثية.

لمعرفة الطريقة النظامية لتسمية الأمينات، ادرس المثال الآتي.

مثال (٨)

سَمْ كَلَّا من المركَّبين الآتَيْنِ وفق التسمية النظَامِيَّة:



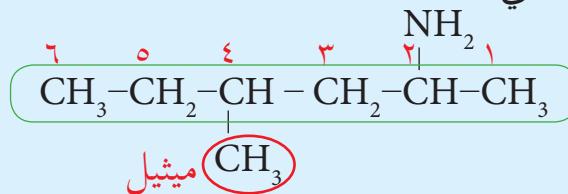
الحل

- نُرْقِمُ ذرات الكربون في أطول سلسلة في المركب من الطرف الأقرب إلى مجموعة الأمين (NH_2)، ونُعْطِي ذرة الكربون التي ترتبط بها مجموعة الأمين رقمًا ثم الكلمة (أمينو) للدلالة على مجموعة الأمين، ثم نكتب اسم الألكان المقابل كما يأتى:



فيكون الاسم: ١ - أمينو بروبان.

- نُرْقِمُ ذرات الكربون في أطول سلسلة في المركب الثاني من الطرف الأقرب إلى مجموعة الأمين، ونُعْطِي ذرة الكربون التي ترتبط بها مجموعة الأمين رقمًا، وبمجموعة الأل킬 رقمًا، ونُسَمِّي مجموعة الألkil أولًا، ثم مجموعة الأمين باسم (أمينو)، ثم نكتب اسم الألكان المقابل كما يأتى:



فيكون الاسم : ٤ - ميثيل-٢ - أمينو هكسان.

سؤال

سَمْ المركَّبين الآتَيْنِ حسب نظام تسمية الأيو باك:



◀ اكتب الصيغة البنائية لكلٌ من المركبات الآتية:

١ - أمينو بنتان. ■

٢ - ميثيل - ٣ - أمينو هبتان. ■

أمينو إيثان. ■

ثانياً الخصائص الفيزيائية لبعض المركبات العضوية

تعتمد الخصائص الفيزيائية للمركبات العضوية التي تحوي مجموعات وظيفية على عاملين رئيسين، هما:

نوع قوى التجاذب بين جزيئاتها، وكتلتها المولية، وفي يأتي استعراض للخصائص الفيزيائية لبعض هذه المركبات:

١ - الخصائص الفيزيائية لهاليدات الألكيل

تمييز هاليدات الألكيل بأن قوى التجاذب بين جزيئاتها ثنائيات الأقطاب -كما درست سابقاً- بسبب اختلاف الكهرسلبية بين ذرة الكربون وذرة الهالوجين المرتبطة بها؛ لذا تُعد هذه المركبات مركبات قطبية، انظر الشكل (٤-٥) الذي يوضح ترابط بعض جزيئات أيدرو ميثان:



الشكل (٤-٥): قوى الترابط بين جزيئات أيدرو ميثان.

يظهر أثر نوع قوى التجاذب بين الجزيئات في درجة غليان هاليدات الألكيل، انظر الجدول (٤-٥) الذي يمثل مقارنةً بين درجة غليان هاليدات الألكيل والألكانات المناظرة لها في عدد ذرات الكربون.

الجدول (٤-٥): مقارنة درجات غليان بعض هاليدات الألكيل والألكانات.

درجة الغليان (°س)	هاليد الألكيل	درجة الغليان (°س)	الألكان
٢٤-	كلورو ميثان	١٦٢-	الميثان
١٢,٥	كلورو إيثان	٨٨,٥-	الإيثان

لاحظ أن لهاليد الألكيل درجة غليان أعلى من درجة غليان الألكان الذي يمتلك العدد نفسه من ذرات الكربون، ويعزى سبب ذلك إلى قوى التجاذب بين الجزيئات ثنائيات الأقطاب التي تكون أكبر من قوى التجاذب الموجودة في الألكانات، وهي من نوع قوى لندن، فضلاً عن الزيادة في الكتلة المولية لهاليد الألكيل مقارنة بالألكان المساوي له في عدد ذرات الكربون.

قد يتadar إلى ذهنك السؤال الآتي: هل تختلف درجة غليان هاليدات الألكيل التي تحوي العدد نفسه من ذرات الكربون؟
لإجابة، ادرس الجدول (٥-٥).

الجدول (٥-٥): مقارنة درجات غليان بعض هاليدات الألكيل.

هاليد الألكيل	الكتلة المولية للهالوجين غ/مول	درجة الغليان (°س)
كلورو ميثان	٣٥,٥	٢٤
برومو ميثان	٧٩,٩	٥
أيودو ميثان	١٢٦,٩	٢٣

من الواضح أن درجة غليان هذه الهاليدات تزداد بازدياد الكتلة المولية للهالوجين.

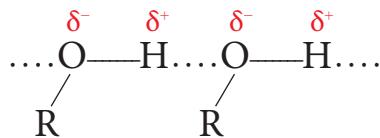
سؤال

◀ رتب هاليدات الألكيل الآتية وفقاً لتزايد درجة غليانها:



٢ - الخصائص الفيزيائية للكحولات

عرفت سابقاً أن ارتباط ذرة الأكسجين بذرة الهيدروجين في الجزيء يؤدي إلى تجاذبه مع جزيء آخر في ما يُعرف بالرابطة الهيدروجينية؛ إذ تنجذب ذرة الهيدروجين في الجزيء إلى ذرة الأكسجين في الجزيء الآخر. ولما كانت الكحولات تحتوي على المجموعة الوظيفية الهيدروكسيل (OH)، فإن جزيئات الكحول تتجاذب مع بعضها بعضاً بروابط هيدروجينية يوضحها الشكل (١٣-٥).



الشكل (١٣-٥) : الترابط الهيدروجيني الذي يمثله الخط المنقط بين جزيئين من الكحول.

ولكن، ما تأثير الترابط الهيدروجيني في الكحولات في درجة غليانها مقارنةً بالألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية؟ للاجابة، ادرس الجدول (٦-٥).

الجدول (٦-٥) : بعض الخصائص الفيزيائية للكحولات والألكانات ذات الكتلة المولية المتقاربة.

الحالة الفيزيائية عند درجة حرارة (٢٥) °س	درجة الغليان (°س)	الكتلة المولية	الصيغة	الاسم
سائل	٦٥	٣٢	CH ₃ OH	ميثanol
غاز	٨٩-	٣٠	CH ₃ CH ₃	إيثان
سائل	٧٨	٤٦	CH ₃ CH ₂ OH	إيثانول
غاز	٤٢-	٤٤	CH ₃ CH ₂ CH ₃	بروبان

يتبيّن من الجدول أن درجة غليان الكحولات أعلى بكثير من درجة غليان الألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية، والسبب - كما عرفت - هو وجود الترابط الهيدروجيني القوي بين جزيئات الكحول.

يُذكَر أن درجة غليان الكحول تزداد بازدياد كتلتها المولية، شأنها في ذلك شأن هاليدات الألكيل. ولكن، هل تذوب الكحولات كلياً في الماء؟ لمعرفة ذلك، ادرس الجدول (٧-٥).

الجدول (٧-٥) : درجة غليان بعض الكحولات وذائبتها في الماء.

الذائية (غ/١٠٠ غ ماء)	درجة الغليان (°س)	الصيغة	الاسم
يدوب في أي نسبة	٩٧	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	١- بروبانول
٨	١١٨	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	١- بيوتانول

● ما التغيير الذي تلاحظه على درجة غليان الكحولات عند زيادة كتلتها المولية؟

● ما التغيير الذي تلاحظه على ذائية الكحولات في الماء عند زيادة كتلتها المولية؟

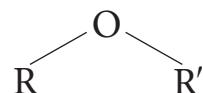
يَتَبَيَّنُ مِنِ الْجَدُولِ أَنَّ زِيادةَ الْكَتْلَةَ الْمُوْلِيَّةَ لِلْكَحُولِ تَؤْدِي إِلَى زِيادةَ درجةِ غليانِهِ، وَلَكِنَّهَا تُقلِّلُ ذَائِبِيَّتَهُ فِي الماءِ؛ ذَلِكُ أَنَّ زِيادةَ السِّلْسَلَةِ الْهِيْدِرُوكَرْبُوْنِيَّةَ فِي الكَحُولِ تَؤْدِي إِلَى تَقْلِيلِ قَطْبِيَّتِهِ، فَيَصْبُحُ أَكْثَرُ شَبَهًا بِالْأَلْكَانِ الَّذِي لَا يَذُوبُ فِي الماءِ.

سؤال

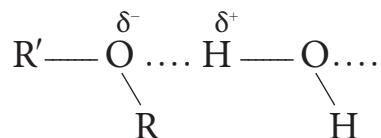
◀ أَيُّ الْكَحُولِيْنَ الْآتَيْنِ درجة غليانه أعلى: ١ - هِيْتاَنُولٌ أم ٢ - دِيكَانُولٌ؟ وَأَيُّهُمَا يَذُوبُ أَكْثَرُ فِي الماءِ؟

٣ - الخصائص الفيزيائية للإيثرات

تَمَتَّازُ الإِيْثَرَاتِ بِأَنَّ قَوْيَ التَّجَاذِبِ بَيْنَ جَزِيئَاتِهِ ثَنَائِيَّاتُ الأَقْطَابِ؛ نَظَرًا إِلَى ارْتِبَاطِ ذَرَّةِ الْأَكْسِجِينِ بِذَرْتِيِّ كَرْبُونِ (C-O-C)، وَوُجُودِ فَرْقٍ فِي الْكَهْرِسُلْبِيَّةِ بَيْنَ الْأَكْسِجِينِ وَالْكَرْبُونِ، عَلَمًا بِأَنَّ مَحْصَلَةَ العَزُومِ الْقَطْبِيَّةِ لَا تَسَاوِي صَفَرًا؛ لِأَنَّ الزَّاوِيَّةَ فِي (C-O-C) لَا تَسَاوِي 180° ؛ فَالشَّكْلُ مَنْحِنِ.



وَلَمَّا كَانَ الإِيْثَرُ يَحْتَوِي عَلَى ذَرَّةِ أَكْسِجِينٍ فَإِنَّهُ يَذُوبُ فِي الماءِ بِسَبَبِ تَكُونِ رَوَابِطِ هِيْدِرُوجِينِيَّةِ بَيْنَهُمَا، وَلَكِنَّ ذَائِبِيَّتَهُ أَقْلَى مِنْ الْكَحُولَاتِ الْمُقَارَبَةِ لَهُ فِي الْكَتْلَةِ الْمُوْلِيَّةِ؛ نَتِيْجَةً إِحْاطَةِ ذَرَّةِ الْأَكْسِجِينِ فِيهِ بِذَرَّاتِ الْكَرْبُونِ الْمُرْتَبَطَةِ بِهَا، وَهُوَ مَا يُقْلِلُ قَطْبِيَّتَهُ مَقَارَنَةً بِالْكَحُولَاتِ.



٤ - الخصائص الفيزيائية للألديهيدات والكيتونات

ماَذَا تَتَوَقَّعُ أَنْ تَكُونَ درجة غليانِ الْأَلْدِيْهَايِدَاتِ وَالْكِيْتُوْنَاتِ بِنَاءً عَلَى مَعْرِفَتِكَ بِصِيغِهَا الجُزِيَّيَّةِ وَنَوْعِ قَوْيِ التَّجَاذِبِ بَيْنَ جَزِيئَاتِهَا؟ لِلإِجَابَةِ، ادْرُسِ الْجَدُولَ (٨-٥) الَّذِي يُبَيِّنُ درجاتِ غليانِ بعضِ الْأَلْدِيْهَايِدَاتِ وَالْكِيْتُوْنَاتِ مَقَارَنَةً بِالْكَحُولَاتِ الْمُقَارَبَةِ لَهُمَا فِي الْكَتْلَةِ الْمُوْلِيَّةِ.

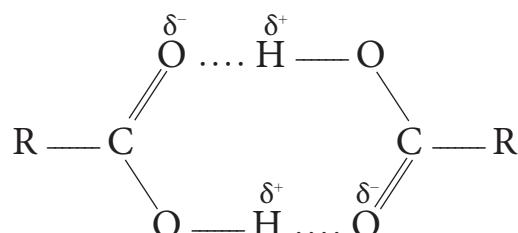
الجدول (٤-٥): مقارنة درجات غليان بعض الألديهيدات والكيتونات والكحولات.

المركب	الصيغة البنائية	الكتلة المولية (غ/مول)	درجة الغليان (°س)
ميثanol	CH_3OH	٣٢	٦٥
ميثانال	$\begin{matrix} \text{O} \\ || \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{matrix}$	٣٠	٢١-
٢-بروبانول	$\begin{matrix} \text{OH} \\ | \\ \text{CH}_3\text{CHCH}_3 \end{matrix}$	٦٠	٨٢
بروبانون	$\begin{matrix} \text{O} \\ || \\ \text{CH}_3\text{CCH}_3 \end{matrix}$	٥٨	٥٦

يتبيّن من الجدول أن درجة غليان الكحولات هي أعلى من درجة غليان الألديهيدات والكيتونات؛ ويعزى ذلك إلى عدم وجود روابط هيدروجينية بين جزيئات الألديهيدات والكيتونات كما هو الحال في الكحولات.

٥ - الخصائص الفيزيائية للحموض الكربوكسيلي

تمتاز الحموض الكربوكسيلية باحتوائها على مجموعة الكربوكسيل (COOH) التي تتكون من مجموعة الكربونيل القطبية، ومجموعة الهيدروكسيل التي تكون روابط هيدروجينية، انظر الشكل (٤-١) الذي يوضح الروابط الهيدروجينية بين جزيئين من حمض كربوكسيلي.



الشكل (٤-١): الروابط الهيدروجينية بين جزيئين من حمض كربوكسيلي.

وهذا يفسّر الارتفاع الكبير في درجات غليان الحموض الكربوكسيلية مقارنةً بالمركبات العضوية الأخرى المساوية لها في عدد ذرات الكربون كما يوضّحه الجدول (٩-٥).

الجدول (٥-٩): درجة غليان بعض الحموض الكربوكسيلية وذائبيتها في الماء.

اسم الحمض	درجة الغليان (°س)	الذائية (غ/١٠٠ غ ماء)
بيوتانويك	١٦٤	يدوب بأية نسبة
أوكتانويك	٢٩٣	٠٠٧

يَتَبَيَّنُ مِنَ الْجَدُولِ أَنَّ درجات غليان الحموض الكربوكسيلية تزداد بازدياد كتلها المولية، وأن ذائبيتها في الماء تقل، فَسَرُّ ذَلِكَ.

سؤال

قارن بين درجة الغليان والذائية لكلٍّ من: حمض الديكانويك، وحمض الأوكتانويك.

رقم الأوكتان (٩٥ و ٩٠) في محطة الوقود

في أثناء مرورك بمحطة وقود، هل خطر ببالك ما تعنيه الأرقام المدونة على خزانات الوقود؟ إن هذه الأرقام ترتبط بالصوت الذي يصدره محرك السيارة (الضوحان) عندما يشتعل الوقود (الغازولين) بسرعة قبل تشغيل السيارة، وذلك نتيجة استخدام وقود منخفض الأوكتان، أو عدم ضبط كمية الأكسجين المختلطة بالغازولين؛ ففي محركات السيارات التقليدية يُخلط الهواء بخار الغازولين، ثم يُضغط داخل مكبس أسطوانة الاحتراق، لينتاج غاز مضغوٌط يشتعل بوساطة الشرارة الكهربائية، وينتج من هذا الاحتراق تمدد قوي وسلس للفاز الذي يدفع مكبس الأسطوانة إلى الخارج بقوة، فتنقل إلى ناقل الحركة للmotor. فإذا كان احتراق الغاز سريعاً جداً فإن الغاز المحترق سيدفع المكبس دفعة واحدة عنيفة بدلاً من دفعه دفعة قوية سلسة، فيُصدر المحرك صوت قرقعة (ضوحان) وهو ما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المحرك، وهدر الطاقة، وانخفاض كفاءة المحرك، ثم تلفه.

إن رقم الأوكتان للغازولين هو مؤشر لمدى قدرة المحرك على مقاومة (الضوحان)؛ فالغازولين ذو رقم الأوكتان العالي يحترق بسلامة أكثر، فيقل استهلاك الوقود. يُذكر أن الألكانات المتفرعة والهييدروكربونات الأروماتية لها رقم أوكتان أعلى من الألكانات غير المتفرعة.



الشكل (١٤-٥): محطة وقود تحوي أوكتان

(٩٥)، وأوكتان (٩٠).

يمكن الحصول على رقم الأوكتان الخاص بالغازولين بمقارنة خصيصة (ضوحان) المحرك في الآيزو أوكتان (٢،٢،٤ ثلثي ميثيل بنتان) والهبتان، فيعطي الآيزو أوكتان رقم (١٠٠)، في حين يعطي الهبتان رقم (٠)، أمّا الغازولين ذو خصيصة (الضوحان) المتساوية فيكون مزيجاً من الآيزو أوكتان بنسبة ٩٠٪، والهبتان بنسبة ١٠٪، ويعطي رقم الأوكتان (٩٠).

وكلما زاد رقم الأوكتان جرت عملية احتراق الوقود بسلامة، وكان الوقود أكثر كفاءة، انظر الشكل (١٤-٥).

أسئلة الفصل ٧

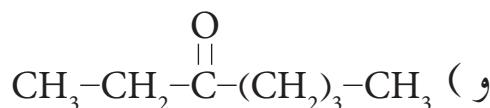
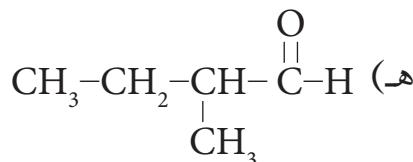
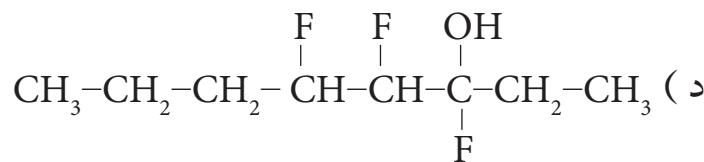
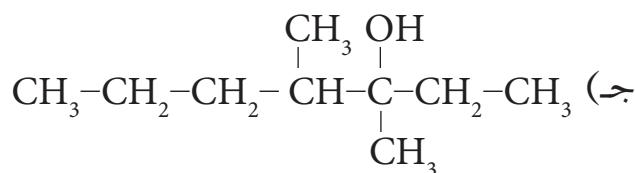
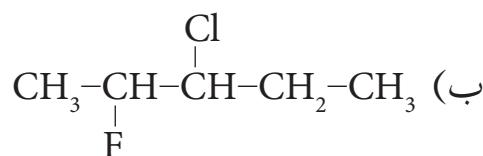
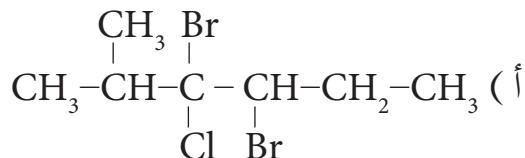
١ - عرّف ما يأتي:

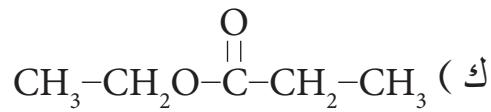
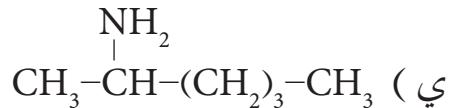
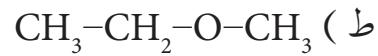
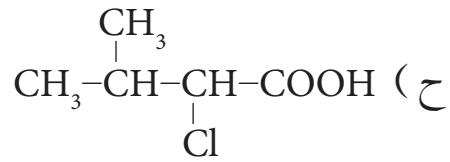
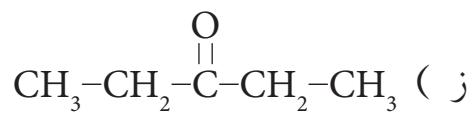
المجموعة الوظيفية، التصاوغ الوظيفي، هاليدات الألكيل، الأمينات، الإسترات.

٢ - حدد المجموعة الوظيفية لكل صنف من المركبات العضوية الآتية:

- أ) هاليدات الألكيل.
 - ب) الكحولات.
 - ج) الإثيرات.
 - د) الألديهيدات.
 - ه) الإسترات.
 - ز) الأمينات.
 - و) الكيتونات.

٣ - سَمِّيَ المركَبات العضوية الآتية حسب نظام تسمية الأيو باك:





٤ - اكتب الصيغة البنائية للمركبات الآتية:
أ) ٣-كلورو-٢-ميثيل-هكسان.

ب) ٣-ميثيل - ٢ - بنتانول.

ج) ٢ ، ٣ - ثنائي ميثيل بنتانال.

د) ٣ - بروم - ٢ - هكسانون.

ه) حمض ٢ ، ٣ ، ٤ - ثلاثي ميثيل هبتانويك.

و) ثلاثي إيثيل أمين.

ز) ٤ - ميثيل - ٢ - أمينو بنتان.

ح) ٤ - ميثيل - ٣ - هبتانول.

ط) بروبيل هكسانوات.

٥ - ارسم متصاوغات المركبين الآتيين:

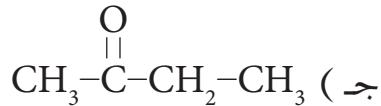


٦ - رتب المركبات العضوية الآتية وفقاً لدرجة غليانها تصاعدياً:

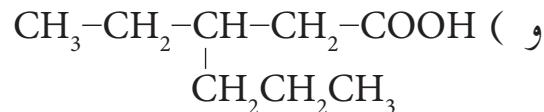
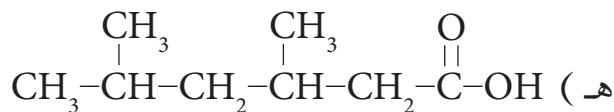
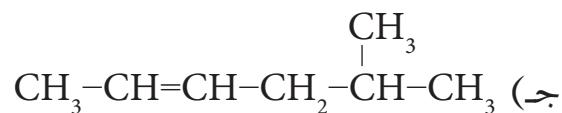
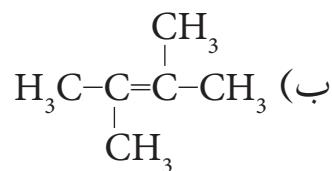
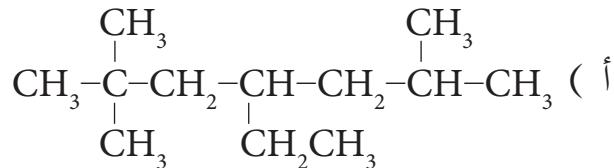
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ، $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ، $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ، CH_3COOH ، $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- $\cdot\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$

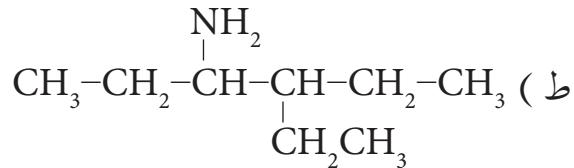
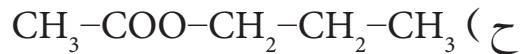
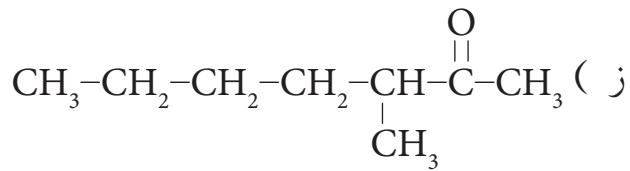
أسئلة الوحدة

١ - اذكر اسم العائلة التي يتتمي إليها كل من المركبات العضوية الآتية، محدداً المجموعة الوظيفية المميزة لكل منها:



٢ - سِمّ المركبات العضوية الآتية حسب نظام تسمية الأيوبارك:





٣ - ما الصيغة البنائية لكل من المركبات الآتية:

أ) ٢ ، ٥ - ثنائي ميثيل - ٢ - أوكتين.

ب) ٢ ، ٣ - ثنائي ميثيل - ٢ - هكسانول.

ج) ثنائي بنتيل إيتير.

د) ٣ - إيثيل هبتانول.

ه) ٣ - ميثيل - ٤ - أوكتانون.

و) حمض ٢ ، ٣ - ثنائي ميثيل - هكسانويك.

ز) بيوتيل بروبانوات.

ح) ٣ - ميثيل - ٢ - أمينو بنتان.

٤ - ارسم متصاوغات المركبات الآتية:



٥ - بِين الخطأ في أسماء المركبات الآتية، ثم اكتب الاسم الصحيح لكل منها:

أ) ٢ - ميثيل - ٣ - بيوتين.

ب) ٣ - إيثيل - ٥ - هكسانول.

ج) حمض ١ - بنتانويك.

٦ - اكتب الصيغة البنائية للإستر الذي يتكون من اتحاد كلٌّ من الحمض الكربوكسيلي، والكحول:

- أ) حمض الإيثانويك والميثانول.
- ب) حمض البيوتانويك والإيثانول.
- ج) حمض الميثانويك و ٢ - بروبانول.

٧ - رتب المركبات الآتية تصاعدياً حسب ذائبتها في الماء:



٨ - يتكون الجدول الآتي من عمودين؛ أحدهما يحوي عدداً من المركبات العضوية، والآخر يحوي درجات غليان هذه المركبات. اختر درجة الغليان التي تناسب كل مركب عضوي منها:

درجة الغليان (°س)	المركب العضوي
٧٨	CH_3COOH
١٤١	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
٩٧	CH_3CH_3
٨٩-	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$

مسند المصطلحات (Glossary)

المدلول	المصطلح باللغة الإنجليزية	المصطلح باللغة العربية
تفاعل بين مادتين (أو أكثر) لتكوين مادة واحدة جديدة.	Combination	الاتحاد
حالة لا يُبدي فيها النظام أيّ تغيير في خصائصه؛ إذ تكون سرعة التفاعل الأمامي مساويةً لسرعة التفاعل العكسي.	Dynamic Equilibrium	الاتزان الديناميكي
تفاعل يحدث فيه إحلال عنصر نشط محل عنصر آخر أقل نشاطاً في أحد مركباته.	Single Displacement	الإحلال الأحادي
تفاعل بين مركبين يحل فيه الأيون الموجب من أحدهما محل الأيون الموجب في الآخر.	Double Displacement	الإحلال المزدوج
أعداد تصف الفلك وطاقته وبعده عن النواة، وتُحدَّد حركة الإلكترون حول نفسه في الفلك.	Quantum Numbers	الأعداد الكَمِيَّة
عملية تفقد فيها المادة إلكتروناً أو أكثر.	Oxidation	الأكسدة
C_nH_{2n+2} هيdroكربون مشبع صيغته العامة:	Alkane	الألكان
C_nH_{2n-2} هيdroكربون يحوي رابطة ثلاثة، وصيغته العامة:	Alkyne	الألكاين
إلكترونات الغلاف الخارجي التي تشارك في تكوين روابط العناصر الممثلة.	Valence Electrons	إلكترونات التكافؤ
C_nH_{2n} هيdroكربون يحوي رابطة ثنائية، وصيغته العامة:	Alkene	الألكين
مركب عضوي يُعدُّ من مشتقات الأمونيا بعد استبدال مجموعة ألكيل أو أكثر بذرة هيdroجين أو أكثر في الأمونيا.	Amine	الأمين
مركب عضوي يتميز تركيبه بوجود ذرة أكسجين بين ذرتين كربون ($C-O-C$).	Ether	الأيثر
تفاعل تتحلل فيه مادة إلى مادتين أو أكثر، ويحتاج حدوثه غالباً إلى درجة حرارة.	Decomposition	التتحلل
عملية ينخفض فيها تركيز المذاب بزيادة حجم المذيب.	Dilution	تحفيض المحلول
العلاقة النسبية بين كمية المذاب والمذيب في محلول ما ، ويُعبر عنها بطرائق عدّة.	Concentration	التركيز

تفاعل يحصل عند خلط محلولين ملحيين أيونيين ينتج منه مادة غير ذائبة في الماء (راسب).	Precipitation Reaction	تفاعل الترسيب
تفاعل حمض وقاعدة ينتج منه ملح وماء.	Neutralization Reaction	تفاعل التعادل
تفاعل كيميائي يصاحبه انطلاق للحرارة.	Exothermic Reaction	التفاعل الطارد للحرارة
تغير يطرأ على المواد، ويشمل تكسير روابط وتكون روابط جديدة تؤدي إلى إعادة ترتيب الذرات، وإنتاج مواد جديدة تختلف في صفاتها عن المواد المتفاعلة.	Chemical Reaction	التفاعل الكيميائي
تفاعل كيميائي يتضمن امتصاصاً للحرارة.	Endothermic Reaction	التفاعل الماصل للحرارة
عملية اندماج أفلاك ذرية مختلفة الطاقة في غلاف التكافؤ للذررة، تؤدي إلى تكوين أفلاك جديدة متماثلة في الشكل والطاقة.	Hybridization	النهجين
نسبة حاصل ضرب تراكيز النواتج مرفوعة إلى معاملاتها في المعادلة الموزونة إلى تراكيز المتفاعلات مرفوعة إلى معاملاتها في المعادلة الموزونة.	Equilibrium Constant	ثابت الاتزان
ارتفاع درجة غليان المذيب النقي عند إذابة مول واحد من مادة غير متطريرة وغير متأينة في كيلوغرام واحد من المذيب.	Boling Point Elevation	ثابت الارتفاع في درجة الغليان
انخفاض درجة تجمُّد المذيب النقي عند إذابة مول واحد من مادة غير متطريرة وغير متأينة في كيلوغرام واحد من المذيب.	Freezing Point Depression	ثابت الانخفاض في درجة التجمُّد
جدول ينظم العناصر تبعًا لتزايد أعدادها الذرية بصورة تُبيّن التدرج والانتظام في صفات ذراتها.	Periodic Table	الجدول الدوري
جزيء يحمل شحنات جزئية سالبة ومحصلة عزم قطبي لروابطه. نتيجة وجود محصلة عزم قطبي لروابطه.	Polar Molecule	الجزيء القطبي
الفراخ الذي تتوَّزع فيه إلكترونات الذرة، ويقاس اعتماداً على معدل نصف قطر الذرة، أو نصف قطر التسامم.	Atomic Size	الحجم الذري

درجة الحرارة المقيسة بالكلفن، علماً بأن الصفر المطلق يساوي -273°S .	Absolute Temperature	درجة الحرارة المطلقة
درجة الحرارة التي يكون فيها ضغط بخار السائل مساوياً للضغط الخارجي المؤثر في السائل.	Boiling Point	درجة الغليان
درجة الحرارة التي يبلغ فيها ضغط بخار السائل ضغطاً جوياً واحداً.	Normal Boiling Point	درجة الغليان العادية
كمية المذاب الازمة لتكوين محلول مشبع في (100) غ من المذيب في درجة حرارة معينة.	Solubility	الذائية
رابطة تساهمية تنتج من تداخل أفلاك (p) جانبياً.	$\pi - \text{Bond}$	رابطة باي
رابطة تساهمية تنتج من تداخل أفلاك (p) رأسياً، أو تداخل أفلاك (s)، أو تداخل أفلاك (s) مع أفلاك (p).	$\sigma - \text{Bond}$	رابطة سيمغا
رمز العنصر محاطاً بعدد من النقاط لتمثيل إلكترونات التكافؤ لذرة العنصر.	Lewis Symbol	رمز لويس
مادة صلبة تأخذ فيها وحدات البناء الأساسية ترتيباً منتظمأ.	Crystalline Solid	الصلب البلوري
مادة صلبة تأخذ وحداتها الأساسية ترتيباً غير منتظم.	Amorphous Solid	الصلب غير البلوري
ضغط ناتج من بخار السائل في سطح السوائل.	Vapour Pressure	الضغط البخاري
الحد الأدنى من الطاقة الضرورية لفصل الإلكترون الأضعف ارتباطاً بنواة الذرة في الحالة الغازية فصلاً نهائياً.	Ionization Energy	طاقة التأين
مجموعة من خطوط طيفية محددة ومتباينة، يمثل كل منها ضوءاً بتردد معين يصدر عن ذرات مثاره لعنصر غازي.	Atomic Spectrum	الطيف الذري
عدد الدقائق (ذرات، أو جزيئات، أو أيونات) الموجودة في مول واحد من المادة، ويساوي $6,02 \times 10^{23}$.	Avogadro's Number	عدد أفوغادرو
عدد الكم الذي يشير إلى غلاف الطاقة الرئيس للإلكترون، ومعدل بعده عن النواة.	Principal Quantum Number	عدد الكم الرئيس
عدد الكم الذي يشير إلى غلاف الطاقة الفرعية للإلكترون، والشكل العام للفلك.	Azimuthal Quantum Number	عدد الكم الفرعية

عدد الكَمْ الذي يشير إلى اتجاه غزل الإلكترون في الفلك.	Spin Quantum Number	عدد الكَمْ المغزلي
عدد الكَمْ الذي يشير إلى اتجاه أفلاك الغلاف الفرععي.	Magnetic Quantum Number	عدد الكَمْ المغناطيسي
عناصر يتنهى تركيبها الإلكتروني بأفلاك أحد الغلافين الفرعيين (d)، أو (f).	Transition Elements	العناصر الانتقالية
عناصر تتوزع إلكترونات الغلاف الخارجي لها في أحد الغلافين الفرعيين: (s)، أو (p).	Representative Elements	العناصر الممثلة
غاز افتراضي لا يمكن إسالته مهما ارتفع الضغط المؤثر فيه، أو انخفضت درجة حرارته.	Ideal Gas	الغاز المثالي
فراغ هندسي يحيط بالنواة، وفيه أكبر احتمال لوجود الإلكترون.	Orbital	الفلك
وحدة الطاقة للإشعاع الكهرومغناطيسي.	Photon	الفوتون
علاقة تربط حجم عيّنة الغاز المحصور بالضغط الواقع عليه عند ثبوت درجة الحرارة.	Boyle's Law	قانون بويل
علاقة تربط حجم عيّنة الغاز المحصور بدرجة الحرارة عند ثبوت الضغط الواقع عليها.	Charle's Law	قانون شارل
علاقة تربط حجم عيّنة الغاز المحصور بالضغط الواقع عليه مع درجة الحرارة.	General Law for Gases	قانون الغازات العام
قوى تجاذب ضعيفة نسبياً تربط جزيئات المادة بعضها بعض.	Intermolecular Forces	قوى التجاذب بين الجزيئات
قوى تجاذب ضعيفة تربط بين أنواع الجزيئات جميعها نتيجة القطبية اللحظية للجزيئات.	London Forces	قوى لندن
مادة تدخل في التفاعل بكمية مُحدّدة، وتُستهلك كلها، فتُحدّد بذلك كمية النواتج.	Limiting Reactant	المادة المُحدّدة للتفاعل

حدوث تغير في أحد العوامل المؤثرة في الاتزان، يؤدي إلى تعديل الاتزان موضعه، ليقلل تأثير هذا التغير إلى أقصى درجة ممكنة.	Le Chatelier's Principle	مبدأ لوتشاتلييه
مجموعة من ذرات مشتقة من الكان بإسقاط ذرة هيدروجين.	Alkyl Group	مجموعة الألكيل
خلط متجانس التركيب يتكون من مادتين أو أكثر.	Solution	المحلول
محلول يكون فيه تركيز المادة المذابة منخفضاً.	Dilute Solution	المحلول المخفف
محلول يكون فيه تركيز المادة المذابة مرتفعاً.	Concentrated Solution	المحلول المركّز
النسبة بين المردود الفعلي والمردود النظري لتفاعل مضروبًا في %.١٠٠	Percentage Yield	المردود المئوي
معادلة كيميائية تُبيّن الأيونات المتفاعلة فقط بعد استبعاد الأيونات غير المتفاعلة في التفاعل.	Net Ionic Equation	المعادلة الأيونية الصافية
معادلة تصف حركة الإلكترون في الذرة بناءً على طبيعته الموجية.	Wave Equation	معادلة الموجة
كتلة المادة التي تحوي عدد أفوغادرو ($6,0 \times 10^{23}$) من الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات.	Mole	المول
نسبة عدد مولات المذاب إلى حجم محلول باللتر.	Molarity	المolarية
نسبة عدد مولات المذاب إلى كيلو غرام واحد من المذيب.	Molality	المولالية
نصف المسافة الفاصلة بين نواتي ذرتين متجاورتين في بلورة نقية لعنصر فلزي.	Atomic Radius	نصف قطر الذرة
مركب عضوي يحتوي على ذرة هالوجين أو أكثر، إضافةً إلى ذرات الكربون.	Alkyl Halide	هاليد الألكيل
مركب عضوي يتكون فقط من عنصري الكربون والهيدروجين.	Hydrocarbon	الهييدروكربون

قائمة المراجع

أولاً: المراجع العربية

- ١- جرار، عادل، وآخرون، الكيمياء العامة، عمان، الأردن، ١٩٩١ م.
- ٢- الخطيب، إبراهيم؛ إعبيد، مصطفى، الكيمياء العامة، عمان: دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، الأردن، ٤ ٢٠٠٣ م.
- ٣- ساتي، عبد المنعم، وآخرون، الإنسان والكيمياء، الجزء الخامس، تونس: المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، تونس ، ١٩٨٨ م.
- ٤- مجموعة مؤلفين، الكيمياء للمرحلة الثانوية/ الفرع العلمي والتعليم الصحي: المستويان الأول والثاني، عمان، وزارة التربية والتعليم، ٦ ٢٠٠٦ م.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- 1 – Wilbraham-Staley-Mata-Waterman,**Prentice Hall Chemistry**, Teachers Edition, Boston, 2008.
- 2 – Raymond Chang,**Chemistry**, 10th Ed, Singapore, 2010.
- 3 – Ebbing Gammon,**General Chemistry**, 10th Ed, 2011
- 4 – Stevens.Zumdahl,**Chemistry**, 7th Ed, Boston New York, 2007
- 5 – Solomons,**Organic Chemistry**, 8th Ed, Canada, 2004
- 6 – Holt.Rinehart and Winston,**Chemistry**, Online Ed, U.S.A, 2006
- 7 – Brady and Humiston, **General Chemistry Principles And Structure**, 4th Ed, New York, 1985

الجدول الدوري الحديث.

فلازات
القلويات
القلويات الشراكية
العناصر الانتقالية
فلازات أخرى

IA	IIA																																							
1 H Hydrogen 1.00794	2 Li Lithium 6.941	3 Na Sodium 22.989770	4 K Potassium 39.093	5 Rb Rubidium 85.468	6 Cs Cesium 132.90545	7 Fr Francium (223)	IIIIB	IVB	VB	VIIB	VIIIB	VIIIB	VIIIB																											
							21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9861	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.932020	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.32160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80																		
							37 Sr Strontium 87.62	38 Y Yttrium 88.90585	39 Zr Zirconium 91.224	40 Tc Technetium 98	41 Nb Niobium 92.90636	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Ru Ruthenium 101.07	44 Rh Rhodium 102.93550	45 Pd Palladium 106.42	46 Au Silver 107.8682	47 Cd Cadmium 112.411	48 In Indium 114.818	49 Tl Thallium 118.710	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine (128.0447)	54 Xe Xenon 131.28																
							55 Ba Barium 137.327	56 Lu Lutetium 174.967	57 Hf Hafnium 178.49	58 Ta Tantalum 180.9479	59 W Tungsten 183.84	60 Re Rhenium 186.207	61 Os Osmium 191.23	62 Pt Platinum 195.078	63 Pt Platinum 195.078	64 Ir Iridium 192.217	65 Rh Rhodium 196.9655	66 Ag Silver 196.9655	67 Hg Mercury 203.59	68 Tl Thallium 204.3833	69 Po Polonium (209)	70 Rn Radium (222)	71 At Astatine (210)	72 Ts Tennessee (293)	73 Og Oganesson (294)															
							65 Dy Dysprosium 162.50	66 Tb Terbium 158.92534	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 169.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 No Nobelium (258)	72 Md Mendelevium (258)	73 Fm Fermium (257)	74 Cf Californium (251)	75 Bk Berkelium (247)	76 Cm Curium (247)	77 Am Americium (243)	78 Pu Plutonium (244)	79 Neptunium (237)	80 U Uranium 238.0299	81 Lv Livermorium (288)	82 Hh Hassium (278)	83 Ts Tennessee (293)	84 Og Oganesson (294)														
							85 Ac Actinium (227)	86 Fr Francium (223)	87 Lu Lanthanum 136.3055	88 Pr Praseodymium 140.90765	89 Nd Neodymium 144.214	90 Pm Promethium (145)	91 Sm Samarium 150.36	92 Gd Gadolinium 157.25	93 Eu Europium 151.964	94 Tb Terbium 158.92534	95 Dy Dysprosium 162.50	96 Ho Holmium 164.93032	97 Er Erbium 167.26	98 Tm Thulium 169.93421	99 Yb Ytterbium 173.04	100 Fm Fermium (257)	101 Cf Californium (251)	102 Bk Berkelium (247)	103 Cm Curium (247)	104 Am Americium (243)	105 No Nobelium (258)	106 Pa Protactinium 231.03588	107 Th Thorium 232.0381	108 Ac Actinium (227)	109 Fr Francium (223)	110 Ds Darmstadtium (289)	111 Rg Roentgenium (277)	112 Cn Copernicium (277)	113 Nh Nhonium (278)	114 Hf Hafnium (289)	115 Mc Moscovium (288)	116 Lv Livermorium (298)	117 Ts Tennessee (293)	118 Og Oganesson (294)

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ
تَعَالٰى