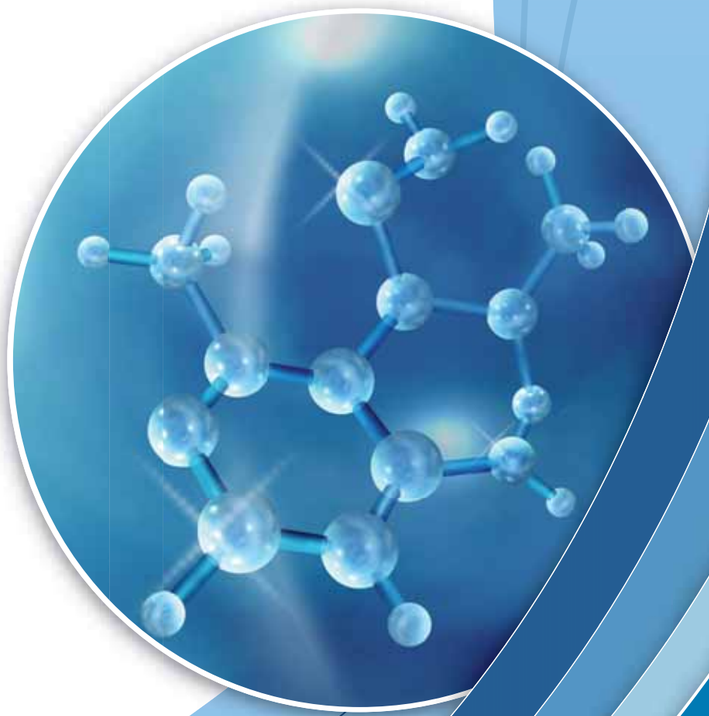
المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم
إدارة المناهج والكتب المدرسية

الكيمياء

الصف الحادي عشر



للفرعين
(العلمي والزراعي)

الكيمياء الصف الحادي عشر للفرعين (العلمي والزراعي)

١٤٤٠هـ/ ٢٠١٩م

ISBN: 978-9957-84-749-4

المطابع المركزية

المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم
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 وملاحظاتكم على هذا الكتاب على العناوين الآتية:
هاتف: ٨-٥/٤٦١٧٣٠٤ ، 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 ٢٠١٦/١/١٢م، بدءًا من العام الدراسي ٢٠١٦م/٢٠١٧م.

الحقوق جميعها محفوظة لوزارة التربية والتعليم

عمّان – الأردن / ص.ب: ١٩٣٠

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(٢٠١٦/٣/١٢٧٥)

ISBN: 978-9957-84-749-4

أشرف على تأليف هذا الكتاب كل من:

أ.د. محمود طاهر الوهر (رئيسًا)	أ. د. محمد خير الحوراني
أ.د. إدريس فالح المومني	د. موسى لافي الصمادي
د.أمل فتحي العابودي	فاتنة سمير التينة (مقرّرًا)

وقام بتأليفه كل من:

أماني خليل القرامصة	سامرة سعيد طحاينة
سمير سالم عيد	فاطمة محمد درويش

فدوى عبد الرحمن عويس

التحرير العلمي: فاتنة سمير التينة	التحرير الفني: نداء فؤاد أبو شنب
التحرير اللغوي: نضال أحمد موسى	التصميم: فخري موسى الشبول
الرسم: أحمد إبراهيم صبيح	التصوير: أديب أحمد عطوان
نايف محمد أمين مراشدة	الإنتاج: د.عبدالرحمن سليمان أبو صعيليك

دقق الطباعة وراجعها: حازم محمد الخطيب

الطبعة الأولى ١٤٣٧هـ / ٢٠١٦م

أعيدت طباعته ٢٠١٧- ٢٠١٩م

قائمة المحتويات

الموضوع	الصفحة
الفصل الدراسي الأول	
المقدمة	٥
الوحدة الأولى: البنية الذرية ودورية الخصائص الذرية	**٩**
الفصل الأول: نظرية بور الذرية	١٠
الفصل الثاني: النموذج الميكانيكي الموجي للذرة	٢٣
الفصل الثالث: الدورية في خصائص ذرات العناصر	٤١
الوحدة الثانية: حالات المادة وأشكال الجزيئات	**٥٥**
الفصل الأول: أشكال الجزيئات	٥٦
الفصل الثاني: قوى التجاذب بين الجزيئات	٧٧
الفصل الثالث: حالات المادة	٩٢
الفصل الدراسي الثاني	
الوحدة الثالثة: المحاليل	**١١٥**
الفصل الأول: الذوبان والذائبية	١١٦
الفصل الثاني: تركيز المحلول	١٢٨
الفصل الثالث: خصائص المحاليل	١٤١
الوحدة الرابعة: التفاعلات والحسابات الكيميائية	**١٥٥**
الفصل الأول: أنواع التفاعلات الكيميائية	١٥٦
الفصل الثاني: الحسابات الكيميائية	١٦٩
الفصل الثالث: الاتزان	١٨٧
الوحدة الخامسة: الكيمياء العضوية	**٢٠٣**
الفصل الأول: الهيدروكربونات	٢٠٤
الفصل الثاني: المركّبات العضوية الأخرى	٢٢٣

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

يُعَدُّ كتاب الكيمياء للصف الأول الثانوي العلمي مكملًا لما تعلمه الطالب في الصفوف السابقة، ومتممًا لمناهج العلوم في هذه المرحلة، انسجامًا مع خطة التطوير التربوي المبنية على فلسفة وزارة التربية والتعليم، ومتوافقًا مع النتاجات العامة والخاصة لمنهاج الكيمياء في هذه المرحلة، ومحققًا لأهدافها.

يتضمن الكتاب العديد من الأنشطة العلمية وقضايا البحث التي يتعين على الطالب أن يتوصل إلى نتائجها وحده بوصفه محور عملية التعلم، ويكون المعلم ميسرًا وموجهًا 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 تنمي مهارات التفكير العلمي عند الطلبة، وتكسبهم المفاهيم العلمية بطريقة تحليلية لبناء المعرفة وتطبيقها في حياتهم العملية، مما يساعدهم على تحقيق تعلم هادف.

يتضمن الكتاب العديد من الرسوم، والأشكال التوضيحية، والجداول، والأنشطة، والأمثلة المتنوعة، والتطبيقات العملية التي تثري 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.

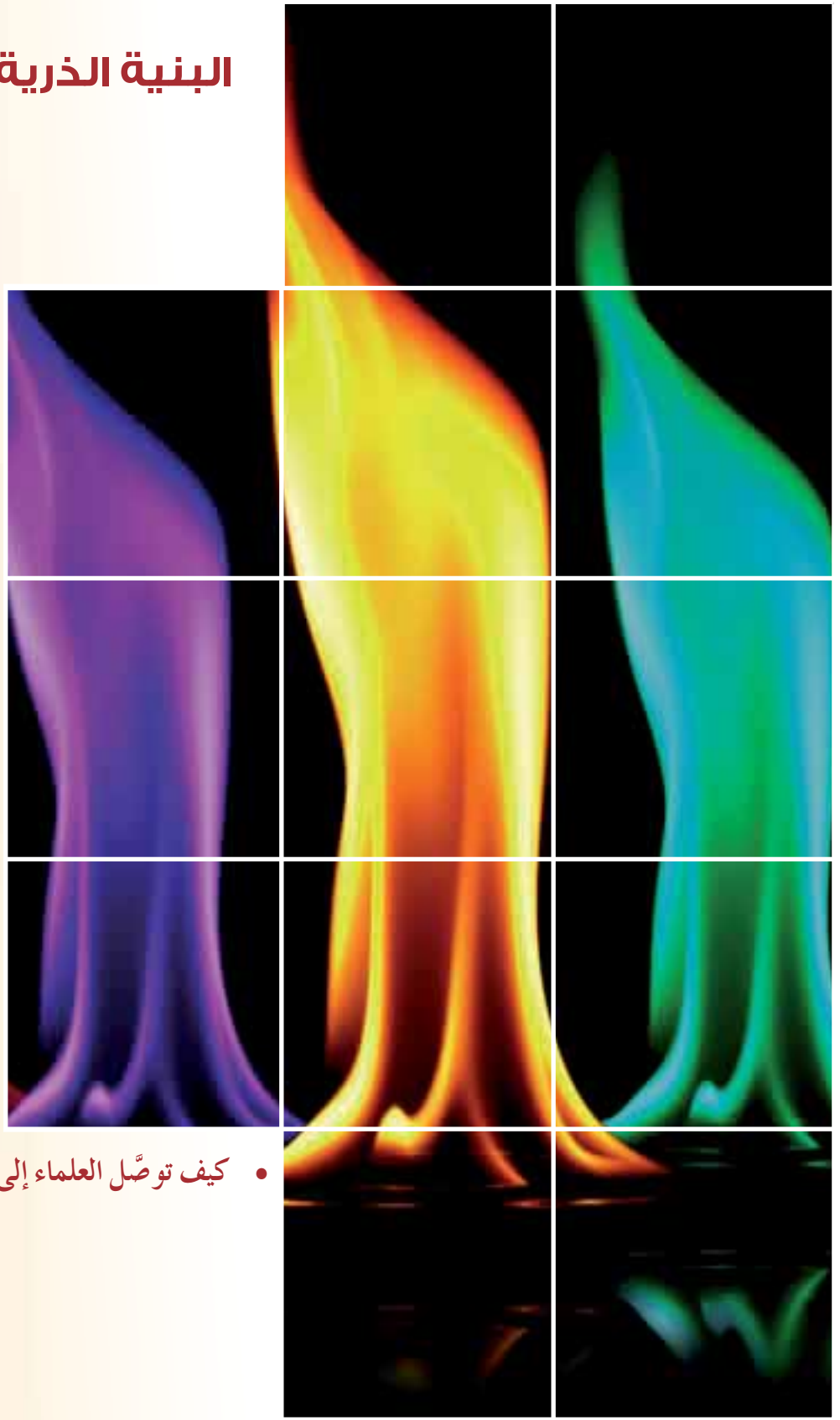
وقد تضمنت الدروس أسئلةً تقويميةً تكوينيةً تساعد على بناء المفاهيم بصورة منظمة، وتقويمًا ختاميًّا في نهاية كل فصل ووحدة لتحقيق النتاجات المطلوبة، فضلاً عن ربط الكيمياء بالحياة عن طريق بند العلم والتكنولوجيا والمجتمع، والكيمياء في حياتنا، اللذين يفيدان الطالب في حياته العملية، واللذين لا تشملهما الاختبارات التقويمية.

نسأل الله أن نكون قد وفقنا في تقديم هذه المادة الدراسية بما ينسجم مع مصفوفة النتاجات العامة والخاصة لمبحث الكيمياء، وبما يساعد على تحقيق تعلم نافع مثمر لطلبتنا، استنادًا 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 توصَّل العلماء إلى تركيب الذرة؟

الفصل الأول

١

نظرية بور الذرية

Bohr's Atomic Theory

بذل العلماء جهودًا كبيرةً لفهم تركيب الذرة، فعملوا منذ بدايات القرن الماضي على وضع تصوُّر لذلك تَمَثَّل في العديد من النماذج التي حاولت تصوُّر تركيب الذرة، وكان آخرها نموذج رذرفورد الذي درسته في الصف العاشر. ولكن، هل توقفت جهود العلماء عند هذا النموذج؟ وكيف تمكَّن العلماء من بناء تصوُّر أكثر قبولًا عن الذرة وتركيبها؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

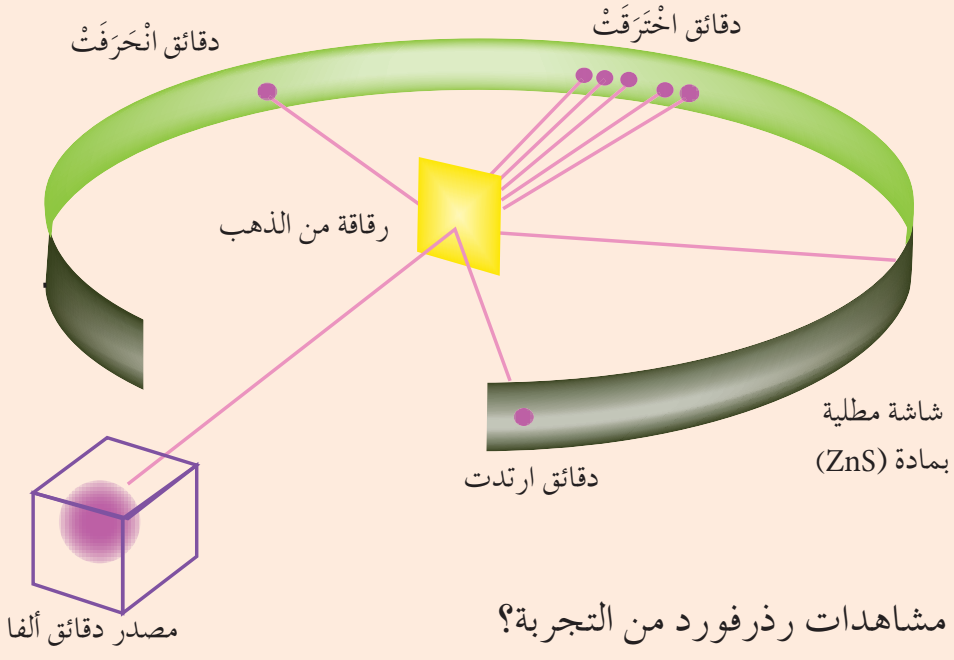
- تُوضِّح المقصود بالطيف الكهرومغناطيسي والطيف الذري.
- تُميِّز الطيف المتصل من الطيف المنفصل.
- تتعرَّف أهم فرضيات نظرية العالِم بور.
- تستخدم القوانين والعلاقات الرياضية لنظرية بور في حساب تردد الضوء الممتص أو المنبعث من الذرات وطول موجته.
- تحسب الطاقة الممتصة أو المنبعثة في أثناء انتقال الإلكترون بين مستويين رئيسين في ذرة الهيدروجين.
- تُفسِّر جوانب القصور في نظرية بور.

أولًا الطيف الكهرومغناطيسي

درست في الصف العاشر نموذج دالتون لتركيب الذرة الذي يُصوِّرها كرةً مصمتةً، وقد ساد هذا التصوُّر مدَّةً من الزمن، ثم ظهر نموذج آخر نتيجةً لتجارب التحليل الكهربائي والتفريغ الكهربائي، ومعرفة خصائص الأشعة المهبطية وأشعة القناة؛ إذ وضع العالِم ثومسون نموذجًا جديدًا للذرة اقترح فيه أن الذرة كرة متجانسة صُلْبة موجبة الشحنة، تتوزَّع فيها الإلكترونات السالبة بانتظام، غير أن هذا النموذج لم يدم طويلًا، فأخذ العلماء يبحثون عن تصوُّر جديد لبناء الذرة يستند إلى المعرفة العلمية الحديثة وتجارب النشاط الإشعاعي التي اعتمد عليها العالِم رذرفورد في بناء نموذج جديد للذرة. لتتعرَّف هذا النموذج، نفِّذ النشاط (١–١).

نشاط (١–١): تجربة رذرفورد

يُمثِّل الشكل الآتي تجربة رذرفورد. تأمَّله جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

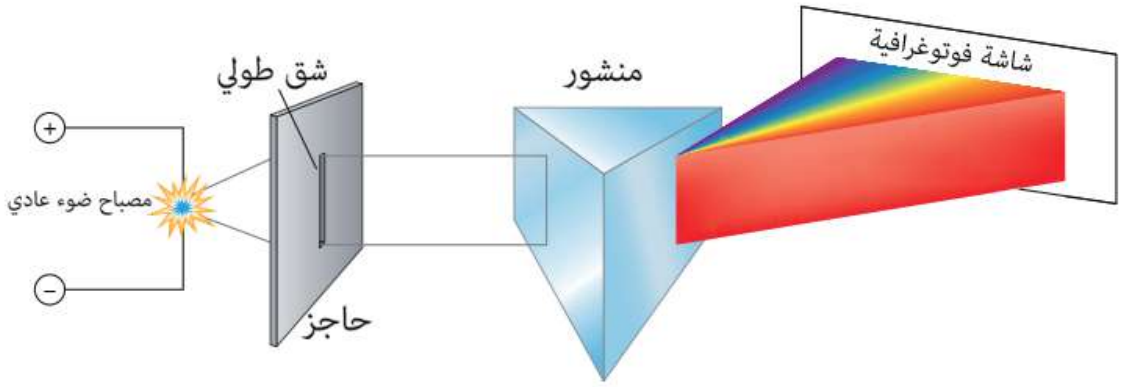


- ما أهم مشاهدات رذرفورد من التجربة؟
- ما أهم الافتراضات التي وضعها لتفسير هذه المشاهدات؟
- ما التصوُّر الذي وضعه رذرفورد لتركيب الذرة؟
- ما أهم أوجه القصور في النموذج الذي وضعه رذرفورد للذرة؟

كان نمـوذج رذرفـورد هو الأكثر قبولًا بين العلماء في بداية القرن العشرين، ولكنّ عدم قدرته على تفسير كيفية دوران الإلكترونات حول النواة في مسار دائري، وبالتالي فقدها طاقتها الحركية واقترابها من النواة ثم سقوطها فيها –وهو ما لا يحدث حقًّا في الذرات–، كل ذلك جعل العلماء يبحثون عن نموذج جديد للذرة، مثل العالِم الدنماركي نيلز بور الذي اعتمد على دراسـة أطياف العناصر المثارة. ولكي تفهم نموذج بور؛ يجب أن تتعرَّف أولًا مفهوم الطيف الكهرومغناطيسي، انظر الشكل (١–١).

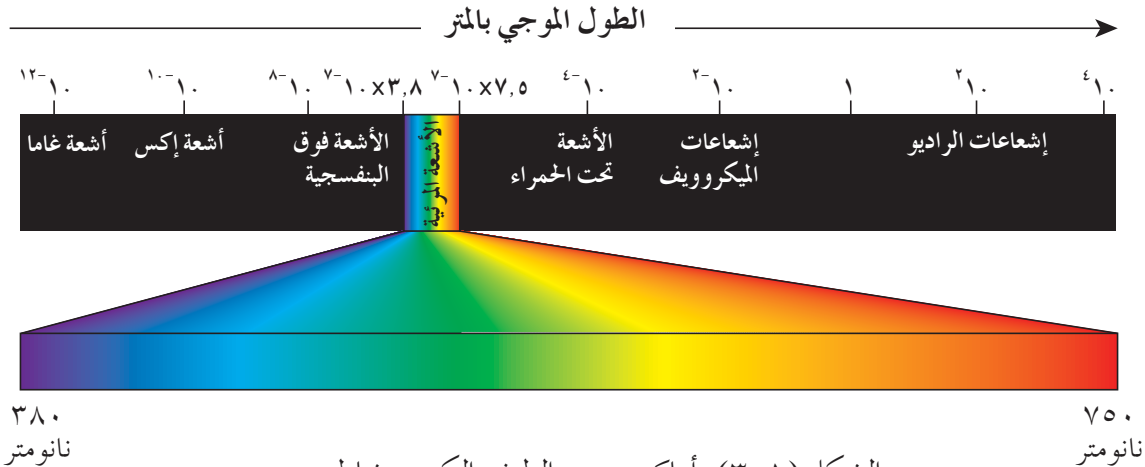
الشكل (١–١): قوس المطر.

إن الطيف الذي تراه في الشكل المجاور يظهر في السماء نهارًا بعد سقوط المطر، ويُسمّى قوس المطر، وينتـج مـن تحلُّل ضـوء الشـمس بفعل قطرات الماء الصـغيرة المعلقة في الهـواء. ويمكن إظهـار الألوان نفسـها عن طريق إمرار حزمة ضوئية من مصـباح ضـوء عادي أو من أشـعة الشـمس خلال منشـور زجاجي يعمل على تحليل الضوء إلى ألـوان عدَّة، لـكلٍّ منها تردد وطول موجي في ما يُعرَف بألوان الطيف المرئي، انظر الشـكل (١–٢).



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

إن الطيف المرئي هو جزء بسيط من الطيف الكهرومغناطيسي، وهو طيف يتكوَّن من مجموعة كبيرة من الموجات الضوئية التي يكون جزء منها مرئيًّا، ويقع ضمن منطقة الطول الموجي التي تتراوح من (٣٨٠–٧٥٠) نانومتر (١نانومتر = ١٠$^{-٩}$ متر)، ويكون جزء آخر غير مرئي، ولكنّها جميعًا تشترك في أن لها خصائص كهرومغناطيسية، ويُبيِّن الشكل (١–٣) مناطق هذا الطيف.



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

كان لتجارب العالِمين ماكس بلانك وألبرت آينشتاين الأثر الأكبر في استنتاج أن الضوء ينبعث على شكل وحدات تُسمّى فوتونات، وأن كل فوتون منها يمتلك مقدارًا محددًا من الطاقة يتناسب طرديًّا مع تردده؛ أيْ:

ط ∝ ت

ط = ثابت × التردد

ط= هـ × ت ، حيث:

ط : طاقة الفوتون بوحدة الجول.

هـ: ثابت بلانك (يساوي ٦,٦٣ × ١٠$^{-٣٤}$جول.ثانية).

ت: التردد بوحدة هيرتز (ث$^{-١}$).

يتناسب تردد الضوء أيضًا تناسبًا عكسيًّا مع طول موجته (ل) كما في العلاقة الآتية:

$$ت \propto \frac{١}{ل}$$

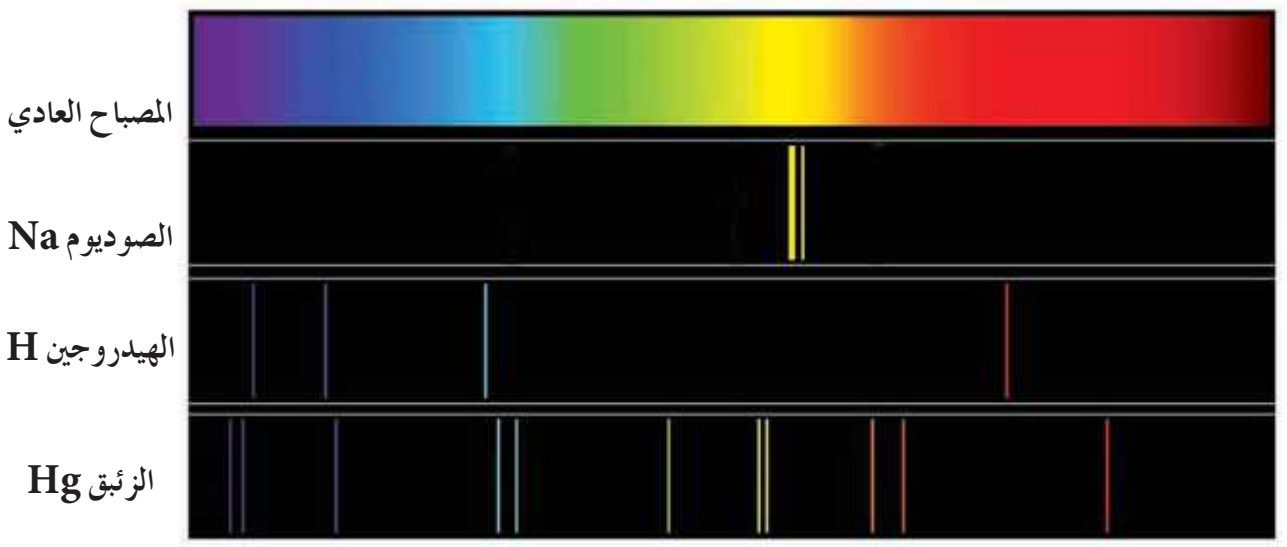
$$ت = \text{ثابت} \times \frac{١}{ل} ، \qquad س = ت \times ل ، \text{ حيث:}$$

س: هي الثابت، وتساوي سرعة الضوء في الفراغ، وقيمتها (٣ × ١٠^{٨}متر/ ثانية).

سؤال

- احسب طاقة فوتون الضوء الذي تردده ٥ × ١٠^١٦ هيرتز.
- احسب الطول الموجي لهذا الفوتون بوحدة المتر، ثم بوحدة الأنغستروم (١متر = ١٠^١٠ أنغستروم).

قد يتبادر إلى ذهنك السؤال الآتي: هل الأطياف الناتجة من تحليل مختلف مصادر الضوء متماثلة أم أن لكلٍّ منها طيفًا مختلفًا؟ لمعرفة الإجابة، انظر الشكل (١–٤) الذي يُمثِّل عددًا من الأطياف المرئية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

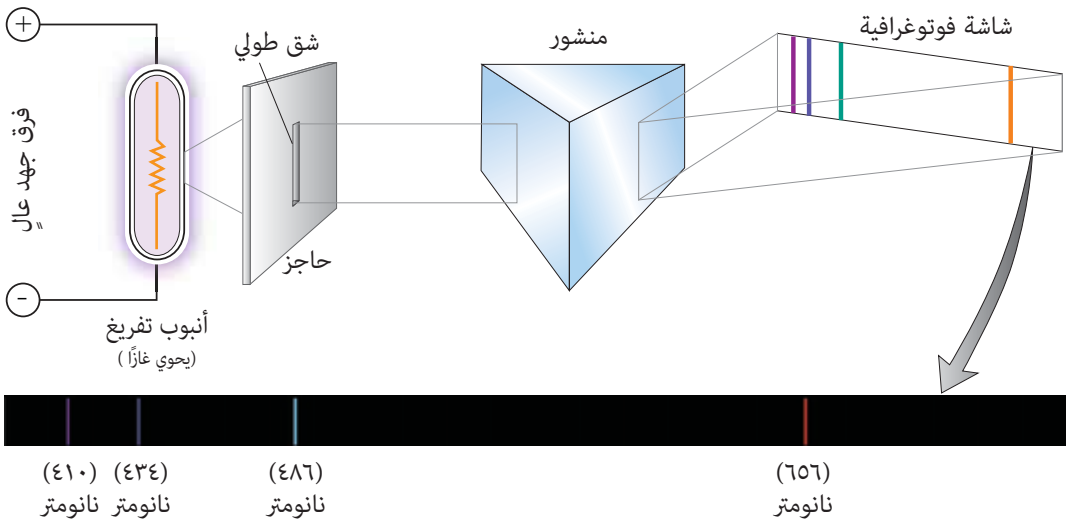


الشكل (١–٤): الأطياف المرئية لمصادر ضوء مختلفة.

- أيّ الأطياف ألوانه متصلة؟
- ماذا يُسمّى هذا الطيف؟
- هل لأطياف عناصر الصوديوم والزئبق والهيدروجين الخطوط والألوان نفسها؟ هل هي متصلة؟ ماذا تستنتج من ذلك؟
- ماذا يُسمّى هذا النوع من الأطياف؟

لاحِظ أن الطيف الناتج من المصباح العادي لا يحتوي على مناطق فاصلة بين لون وآخر؛ لذا فإنه يُسمّى طيفًا متصلًا، أمّا بقية العناصر فيتميز طيفها بوجود عدد من الخطوط الملونة والمتباعدة التي يختلف لونها وعددها باختلاف نوع ذرات العناصر المستخدمة؛ لذا فإنه يُسمّى طيفًا خطيًّا، أو طيفًا ذريًّا.

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



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

ولكن، لماذا ينتج طيف خطي 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 جهودًا كبيرةً للإجابة عن هذه الأسئلة، وفي ما يأتي عرض للمحاولة التي بذلها العالِم بور.

الألعاب النارية

الشكل (١–٦): الألعاب النارية.

إن مصدر الأضواء الملونة في الألعاب النارية مردّه وجود أيونات عناصر القلويات الترابية الثقيلة التي تُظهِر ألوانًا عند تسخينها، وعند إثارة الإلكترونات فيها بوساطة اللهب. فمثلًا يُظهِر أيون السترنشيوم Sr^{2+} ضوءًا لونه أحمر قرمزي، ويُظهِر أيون الكالسيوم Ca^{2+} ضوءًا لونه أحمر قرميدي، ويُظهِر أيون الباريوم Ba^{2+} ضوءًا لونه أخضر تفاحي. ولمّا كان استخدام هذه الألعاب ينضوي على مخاطر كثيرة فإنه يُنصَح بأخذ الحيطة والحذر عند التعامل معها، وقَصْر استخدامها على المتخصصين فقط، انظر الشكل (١–٦).

ثانيًا

نظرية بور لتركيب الذرة

تمكَّن العالِم نيلز بور عام ١٩١٣م من وضع نموذج لتفسير طيف ذرة الهيدروجين؛ ذلك أن هذه الذرة هي أبسط الذرات، وطيفها أبسط الأطياف الذرية، وقد استند بور في تفسيره إلى الافتراضات الآتية:

١– تدور الإلكترونات حول النواة في مدارات محددة من دون أن تفقد شيئًا من طاقتها، وقد أطلق عليها بور اسم مستوى الطاقة.

٢– تحتوي الذرة على عدد من مستويات الطاقة، يتميز كلٌّ منها بنصف قطر ثابت، وطاقة محددة، ولكل مستوى رقم يُرمَز إليه بالرمز n، ويبدأ بـ $n = ١$ 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 ينتقل من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة آخر إذا اكتسب أو أشع طاقة

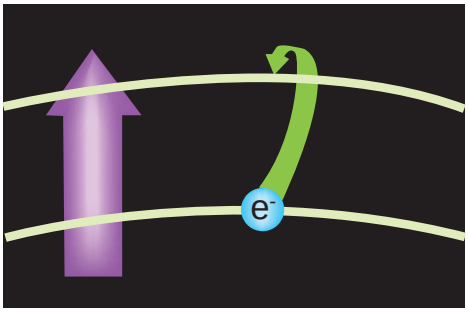
تساوي الفرق بين طاقة المستويين، وهذا يعني أن الإلكترون يمتص طاقة حين ينتقل من مستوى طاقة أقرب للنواة إلى مستوى طاقة أبعد، وتصبح الذرة في الحالة المثارة، وأن هذه الطاقة يجب أن تساوي الفرق بين طاقة المستويين اللذينِ انتقل بينهما. وحين يعود الإلكترون المثار من المستوى الأبعد إلى المستوى الأقرب إلى النواة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

Δ ط = ط$_{n2}$ – ط$_{n1}$ ، حيث:

ط$_{n1}$: طاقة المستوى الأقرب إلى النواة.

ط$_{n2}$: طاقة المستوى الأبعد عن النواة.

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



الشكل (١–٧): عملية انتقال الإلكترون بين مستويين للطاقة.

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

ط$_n$ = $\frac{-A}{n^2}$ ، حيث:

ط$_n$: طاقة المستوى (n).

A= ٢,١٨ × ١٠$^{-١٨}$ جول.

مثال (١)

احسب طاقة مستوى الطاقة الأول.

الحل

ط$_n$ = $\frac{-A}{n^2}$

= $\frac{-٢,١٨ \times ١٠^{-١٨}}{(١)^{٢}}$ = –٢,١٨ × ١٠$^{-١٨}$ جول/ ذرة.

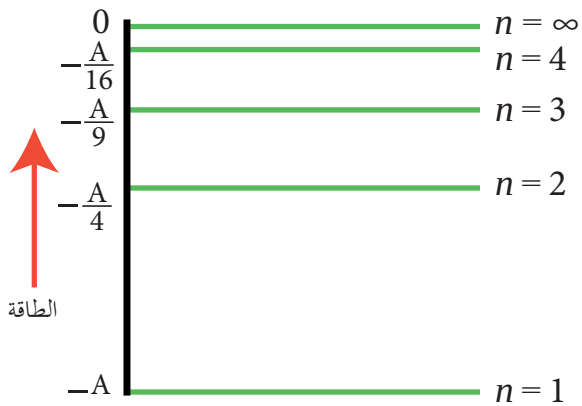
سؤال

- احسب طاقة مستوى الطاقة السادس في ذرة الهيدروجين.
- إذا علمت أن طاقة أحد مستويات الطاقة الرئيسة في ذرة الهيدروجين هي $-٨,٧٢ \times ١٠^{-٢٠}$ جول، فاحسب رقم هذا المستوى.

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

ادرسه جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

- كيف تتغير طاقة المستويات كلما زاد بُعْدها عن النواة؟
- كيف يتغير فرق الطاقة بين المستويات المتتالية كلما زاد البُعْد عن النواة؟
- صِف حالة ذرة الهيدروجين عندما يوجد الإلكترون في المستوى:
  - الأول.
  - الرابع.
  - ∞.



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

يتبيَّن 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 أيّ قوى تجاذب بين الإلكترون في هذا المستوى والنواة. أمّا إذا اقترب الإلكترون من النواة، وأصبح واقعًا تحت تأثير جذبها فإن طاقة وضعه تقل، وتصبح أقل من الصفر؛ أيْ قيمة سالبة؛ لذا تكون طاقة المستوى الأول هي أدنى طاقة وضع، وتُمثِّل أكثر حالات الاستقرار لإلكترون 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:

$$\Delta ط = A \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$، 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

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

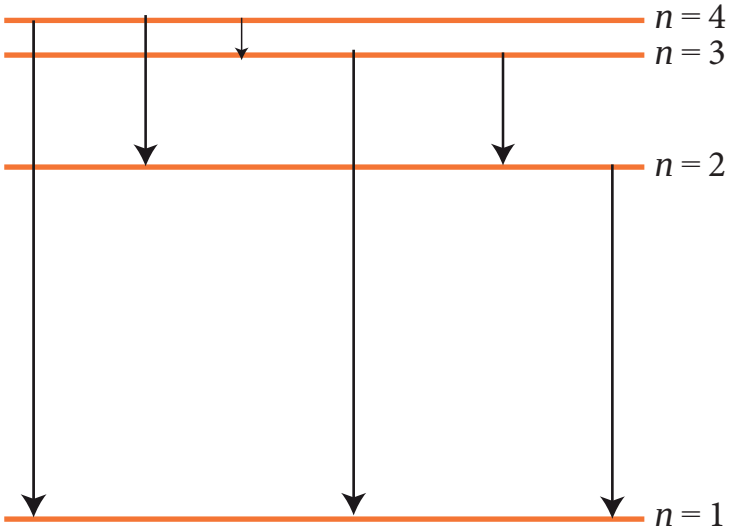
$$\Delta ط = A \left(\frac{١}{٢١} - \frac{١}{٢٤} \right)$$

$$\Delta ط = A \left(\frac{١٥}{١٦} \right) = ٢,٠٤ \times ١٠^{-١٨} \text{ جول} = ٢,٠٤ \times ١٠^{-٢١} \text{ كيلو جول.}$$

سؤال

- احسب رقم المستوى الرئيس n –في ذرة هيدروجين مثارة– الذي سينتقل منه الإلكترون إلى المستوى الأول، مُسبِّبًا انبعاث طاقة مقدارها $A \frac{٣٥}{٣٦}$ جول.
- 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 أبعد عن المستوى الأول (الأكثر استقرارًا) بفعل اكتسابه للطاقة هو أمر طارئ؛ إذ سرعان ما يفقد الإلكترون هذه الطاقة، ويعود إلى المستوى الأول، وتوجد احتمالات مختلفة لعودة هذا الإلكترون، انظر الشكل (١–٩) الذي يُمثِّل احتمالات عودة الإلكترون في ذرة الهيدروجين من المستوى الرابع إلى المستوى الأول.



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

ولكن، لماذا يُعطي الهيدروجين الطيف نفسه دائمًا؟

فسَّر بور الأطياف الخطية لذرة الهيدروجين بأنها تنتج من انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى طاقة أعلى (أبعد عن النواة) إلى مستوى طاقة أدنى، مُطلِقًا بذلك فوتونًا طاقته تساوي الفرق في الطاقة بين المستويين. ولمّا كان عدد ذرات الهيدروجين المثارة داخل أنبوب التفريغ كبيرًا جدًّا فإنها تُطلِق عددًا هائلًا من الفوتونات التي تختلف في طاقاتها تبعًا لمستويات الطاقة التي انتقلت بينها الإلكترونات، ولذلك فهي تشمل جميع الاحتمالات الممكنة لتغيرات الطاقة في ذرة الهيدروجين ممّا يجعل طيف الهيدروجين هو نفسه دائمًا.

يُطلَق على مجموعة خطوط الطيف للهيدروجين في نطاق الضوء المرئي اسم سلسلة بالمر التي تنتج من عودة الإلكترون من مستويات طاقة عليا إلى المستوى الثاني.

قضية للبحث

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

بالرغم من النجاح الكبير الذي حققته نظرية بور في تفسير طيف ذرة الهيدروجين فإنها فشلت في تفسير أطياف الذرات عديدة الإلكترونات؛ لأن طيفها أكثر تعقيدًا من طيف ذرة الهيدروجين.

سؤال

- هل استطاعت نظرية بور تفسير الطيف الذري للأيونين الآتيين:

$_{2}He^{+}$, $_{3}Li^{2+}$؟ فسِّر إجابتك.

أشعة X

تُعَدُّ أشعة x أو الأشعة السينية جزءًا من الطيف الكهرومغناطيسي، وهي موجات ذات طول موجي قصير وتردد عالٍ، وتمتاز بقدرتها على اختراق المواد، وهذه الخصيصة تجعلها تُستخدَم في المجال الطبي؛ إذ يستخدم الأطباء جهاز أشعة x في تشخيص أمراض العظام والأسنان كما في الشكل (١-١٠).

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

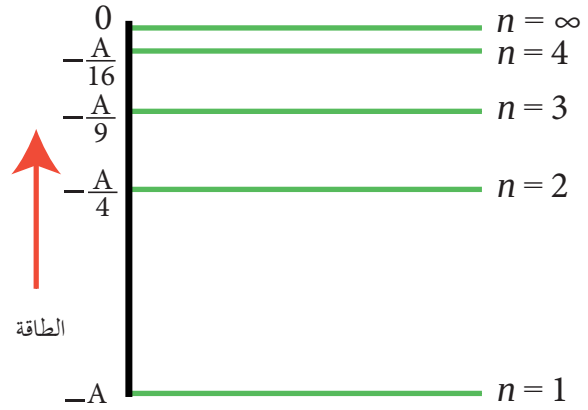
الشكل (١-١٠): جهاز أشعة x، وتشخيص كسر في العظام باستخدامه.

أسئلة الفصل

١- وضِّح المقصود بالمصطلحات الآتية:

الطيف المرئي، الذرة المثارة، الطيف الذري.

٢- الشكل الآتي يُمثِّل مستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين. ادرسه جيِّدًا، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة:



أ) عبِّر 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؟

جـ) حدِّد المستويين المتتاليين اللذين ينتقل بينهما الإلكترون ليعطي طيفًا له أقصر طول موجي.

٣- احسب طول موجة راديو تُبَثُّ على تردد مقداره ٩٩,٩ ميغاهيرتز، علمًا بأن (١ ميغاهيرتز = $١٠^{٦}$ 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 تتحوَّل إلى أيون موجب.

الفصل الثاني

٢

النموذج الميكانيكي الموجي للذرة

Wave Mechanical Model of atom

بعد النجاح الذي حققه العالِم بور في تفسير طيف ذرة الهيدروجين وحساب طاقة الإلكترون فيها، واصل العلماء جهودهم لتفسير أطياف الذرات عديدة الإلكترونات، وقد تمثَّل 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؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تصف النموذج الميكانيكي الموجي للذرة.
- تُوضِّح الافتراضات المتعلقة بأغلفة الطاقة الرئيسة والفرعية والأفلاك في الذرة، وتُحدِّد العلاقة بينها.
- تصف احتمال وجود الإلكترون في الذرة باستخدام الأعداد الكَمِّية الأربعة.
- تُميِّز أشكال بعض الأفلاك في الذرة.
- تكتب التوزيع الإلكتروني لذرات بعض العناصر وفق أغلفة الطاقة الرئيسة والفرعية.
- تستنتج العلاقة بين التوزيع الإلكتروني لذرة العنصر وموقعه في الجدول الدوري.

أولًا النظرية الميكانيكية الموجية للذرة

لم يكن نموذج بور للذرة قابلًا للتطبيق في منتصف القرن الماضي، وقد تركزت جهود العلماء على البحث عن مسار جديد لتوضيح البنية الذرية، فعمل ثلاثة من العلماء الفيزيائيين على دراسة هذا الموضوع، وهم: هايسنبرغ (Heisenberg)، ودي برولي (de Broglie)، وشرودنغر (Schrödinger)، وتمكَّنوا من تطوير هذا المسار في ما يُعرَف بميكانيكا الموجة أو ميكانيكا الكَمِّ؛ إذ توصَّل العالِم دي برولي إلى أن للإلكترون طبيعة موجية، إضافة إلى طبيعته الجسيمية المعروفة سابقًا.

أمّا العالِم شرودنغر فقد استخدم ما توصَّل إليه دي برولي في محاولة لتصوُّر تركيب الذرة، وذلك بتأكيد خصائص الإلكترون الموجية، وقد توصَّل إلى تصوُّرٍ عن وجود الإلكترونات في الذرة بأبعادها الثلاثة، مفاده أن الإلكترون في الذرة يتحرك في منطقة محددة الشكل حول النواة، أُطلِق عليها اسم الفلك.

توصَّل شرودنغر أيضًا إلى معادلة رياضية سُمِّيت معادلة شرودنغر باسمه، وينتج عند حلها أربعة أعداد عُرِفت بالأعداد الكَمِّية التي تصف احتمال وجود الإلكترون حول النواة، وطاقته، وشكل الأفلاك التي يوجد فيها الإلكترون، واتجاه محور حركته الدوراني حول النواة، وقد أضيف لها عدد كَمِّي رابع في وقت لاحق يصف اتجاه دوران الإلكترون المحوّري حول نفسه، وهذه الأعداد هي:

١ – عدد الكَمِّ الرئيس (n)

يشير هذا العدد إلى رقم الغلاف الرئيس (مستوى الطاقة) حول النواة، ويأخذ قِيَمًا صحيحةً موجبةً (n = ١، ٢، ٣ ، .....، ∞)، حيث يدل كل رقم من هذه الأرقام على غلاف رئيس معين (مستوى طاقة رئيس)، فيكون المستوى الأول (n = ١) أقربها إلى النواة وأقلها طاقة، ويرتبط بعدد الكَمِّ الرئيسِ قِيَم طاقة الغلاف، ومعدل بُعْده عن النواة (حجمه).

٢ – عدد الكَمِّ الفرعي (l)

يُمثِّل هذا العدد الأغلفة الفرعية التي توجد في الأغلفة الرئيسة، والتي يساوي عددها قيمة n ضمن الغلاف الرئيس الذي توجد فيه. فمثلًا، الغلاف الرئيس (n = ١) يتكوَّن من غلاف فرعي واحد يُرمَز إليه بالحرف s، والغلاف الثاني (n = ٢) يضم غلافين فرعيين، يُرمَز إلى

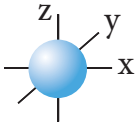
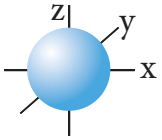
أحدهما بالحرف s، وإلى الثاني بالحرف p، ويأخذ عدد الكَمِّ الفرعي القِيَم (l = ٠، ١، ٢، ٣، ..... n-١)، ويُلخِّص الجدول (١–١) قِيَم أعداد الكَمِّ الرئيسة والفرعية للأغلفة الأربعة الأولى.

الجدول (١–١): قِيَم (n) وقِيَم (l) للأغلفة الأربعة الأولى.

قِيَم الغلاف الرئيس n	الغلاف الفرعي		رمز الغلاف الفرعي
	l	الرمز	
١	٠	s	1s
٢	٠	s	2s
	١	p	2p
٣	٠	s	3s
	١	p	3p
	٢	d	3d
٤	٠	s	4s
	١	p	4p
	٢	d	4d
	٣	f	4f

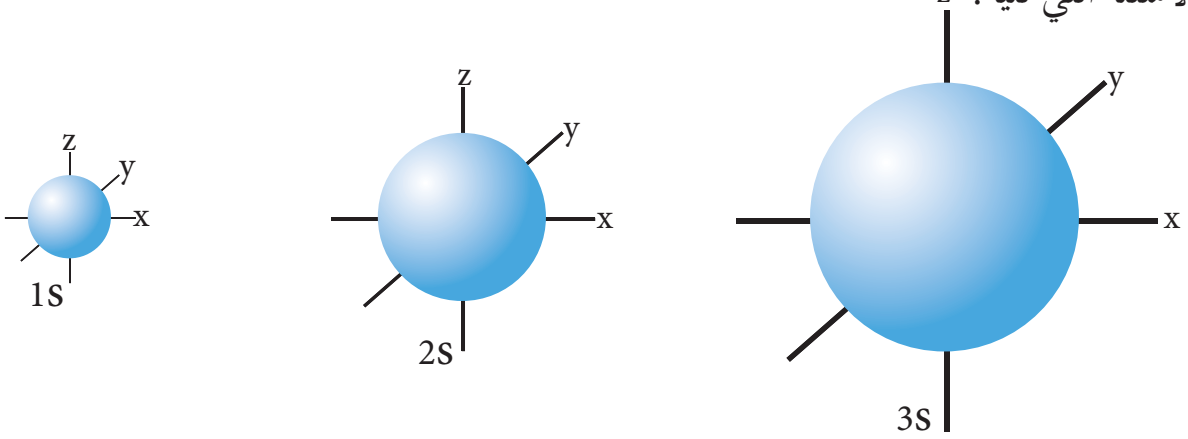
يرتبط عدد الكَمِّ الفرعي l بتحديد طاقة الغلاف الفرعي، والشكل العام للأفلاك فيه، ويُوضِّح الجدول (١–٢) أشكال أفلاك (s) و (p)، وعدد الكَمِّ الفرعي لهما في الغلافين الرئيسين: الأول، والثاني.

الجدول (١–٢): أشكال أفلاك (s) و(p)، وقيمة عدد الكَمِّ الفرعي لهما في الغلافين الرئيسين: الأول، والثاني.

(n) الغلاف الرئيس	الغلاف الفرعي	(l) قيمة عدد الكَمِّ الفرعي	شكل الفلك
١	s	٠	
٢	s	٠	
	p	١	

سؤال

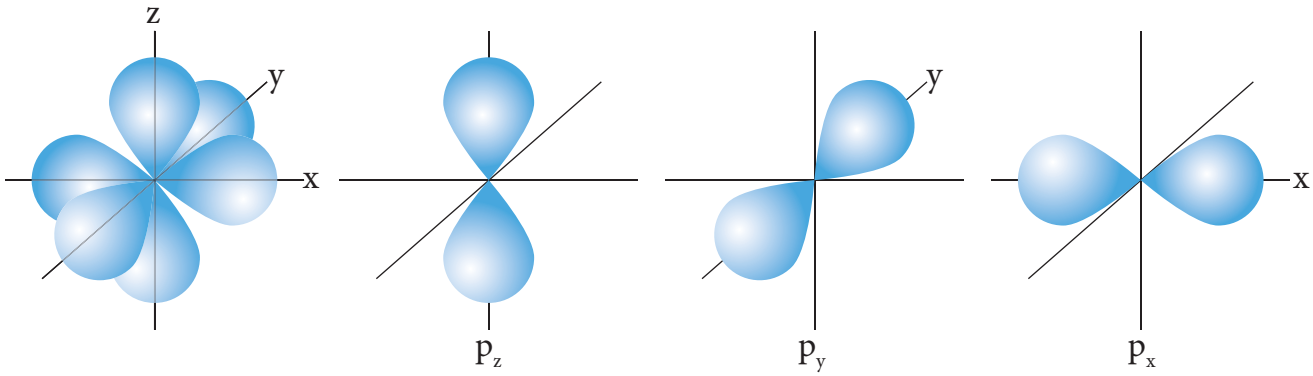
لاحِظ الشكل الآتي الذي يُبيِّن الحجوم النسبية لأفلاك s في أدنى ثلاثة أغلفة رئيسة، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



- أيّهما أعلى طاقة: 1s أم 2s ؟ لماذا؟
- ما العدد الكَمّي الفرعي والعدد ا لكَمّي الرئيس للغلاف الفرعي 3s؟
- ما العلاقة بين حجم الفلك وعدد الكَمّ الرئيس له؟

٣ – عدد الكَمّ المغناطيسي (m_l)

يُمثِّل هذا العدد عدد الأفلاك التي يتكوَّن منها الغلاف الفرعي الواحد، ويرتبط بتحديد الاتجاه الفراغي للفلك، ويأخذ قِيَمًا من (-l إلى +l) مرورًا بالصفر؛ فالغلاف الفرعي s يتكوَّن من فلك واحد قيمة m_l له صفر، أمّا الغلاف الفرعي p (l=١) فيتكوَّن من ثلاثة أفلاك تتشابه في شكلها وحجمها وطاقتها ضمن الغلاف الرئيس n نفسه، وقِيَم m_l له هي: +١، صفر، −١، لكنّها تختلف في اتجاه محاورها حول النواة؛ إذ تأخذ اتجاه المحاور الثلاثة (x،y،z)؛ أيْ إن بعضها متعامد على بعض، انظر الشكل (١−١١).



الشكل (١−١١): أشكال الأفلاك الثلاثة للغلاف الفرعي p، واتجاهاتها الفراغية.

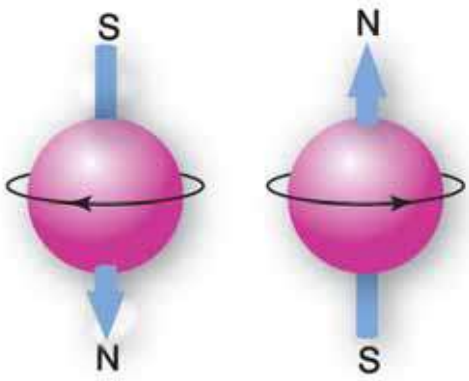
قضية للبحث

ابحث في الشبكة المعلوماتية عن أشكال أفلاك d، مُستعينًا بالكلمتين المفتاحيتين الآتيتين: d orbitals، orbitals.

٤ – عدد الكَمِّ المغزلي (m_s)

أضيف هذا العدد إلى أعداد الكَمِّ 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 اصطُلِح على أن يأخذ القيمة ($+\frac{١}{٢}$، أو $-\frac{١}{٢}$).

لاحِظ الشكل (١–١٢)، ثم حاوِل إيجاد تفسير مناسب لتلك القِيَم.



الشكل (١–١٢): الدوران المغزلي للإلكترون.

إذا وُجِدَ إلكترونان في الفلك نفسه فإن كلًّا منهما يدور (يغزل) حول نفسه في اتجاه معاكس لدوران الآخر كما في الشكل (١–١٢)، ونتيجة لذلك ينشأ مجالان مغناطيسيان متعاكسان في الاتجاه، فيتجاذب الإلكترونان مغناطيسيًّا، ممّا يُقلِّل من التنافر الكهربائي بينهما، ويساعد على وجود الإلكترونين في الفلك نفسه.

ولكن، هل يوجد إلكترونان في الذرة الواحدة لهما أعداد الكَمِّ الأربعة نفسها؟ للإجابة، انظر الجدول (١–٣) الذي يُبيِّن قِيَمَ أعداد الكَمِّ الأربعة لإلكتروني الفلك 1s.

الجدول (١–٣): أعداد الكَمِّ لإلكتروني الفلك 1s.

	n	l	m_l	m_s
الإلكترون الأول	١	٠	٠	$+\frac{١}{٢}$
الإلكترون الثاني	١	٠	٠	$-\frac{١}{٢}$

يَتبيَّن ممّا سبقَ أنه «لا يوجد إلكترونان لهما قِيَم أعداد الكَمِّ الأربعة نفسها في الذرة نفسها»، وهذا يُعرَف **بمبدأ الاستبعاد الذي وصفه باولي**؛ إذ لا بُدَّ أن يختلف الإلكترونان في عدد كَمِّي واحد على الأقل.

وبناءً على **مبدأ باولي**، فإن الفلك الواحد لا يتسع إلى أكثر من إلكترونين اثنين.

سؤال

- ما أعداد الكَمِّ n ، l ، m_l ، m_s للإلكترونين الموجودين في الفلك 3s؟
- أكمل الفراغ في الجدول الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

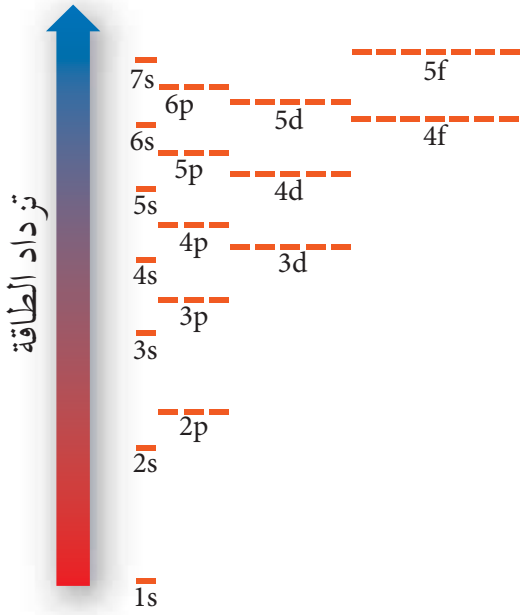
رقم الغلاف الرئيس n	عدد الأغلفة الفرعية في الغلاف الرئيس	رمز الغلاف الفرعي	قِيَم l للغلاف الفرعي	قِيَم عدد الكَمِّ المغناطيسي m_l	عدد الأفلاك في الغلاف الفرعي	السَّعة القصوى من الإلكترونات في الغلاف الفرعي
٤	.....	s	٠	٠	١	.....
		.....	١	.....	٣	٦
		d	.....	٢-، ١-، ٠، ١+، ٢+	.....	١٠
		f	٣	.....	٧	.....

- ما العدد الكلي لأفلاك الغلاف الرئيس الرابع؟
- ما أكبر عدد من الإلكترونات يمكن أن يستوعبه الغلاف الرئيس الرابع؟
- استنتج العلاقة الرياضية التي تربط قيمة الغلاف الرئيس n بكلٍّ من:
  - * عدد الأفلاك الكلي.
  - * عدد الإلكترونات الكلي.

ثانيًا أغلفة الطاقة الفرعية

تعرَّفت سابقًا كيفية حساب طاقة الأغلفة الرئيسة n في ذرة الهيدروجين؛ فهي أبسط الذرات، وطيفها أبسط الأطياف (بسبب امتلاكها إلكترونًا واحدًا فقط)؛ لذا فإن جميع الأفلاك التي توجد فيها الإلكترونات في ذرات الهيدروجين لها الطاقة نفسها. ولكن، ماذا بشأن الذرات عديدة الإلكترونات؟

للإجابة، ادرس الشكل (١–١٣) الذي يُمثِّل مخططًا لأغلفة الطاقة الفرعية في الذرات عديدة الإلكترونات، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



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

- أيّ الأغلفة الفرعية في الأزواج الآتية تكون طاقته أعلى:
  - 1s أم 2s
  - 2s أم 2p
  - 4s أم 3d
  - 4f أم 6s؟
- كيف تتغير طاقة الغلاف الفرعي بازدياد قيمة n؟
- في أيّ الحالتين يكون فرق الطاقة بين الغلافين الفرعيين أعلى: 1s، 2s أم 4s، 5s؟

يَتبيَّن ممّا سبق أن:

١ – طاقة الأغلفة الفرعية تزداد بازدياد قِيَم n.

٢ – فرق الطاقة بين الأغلفة المتتالية يتناقص بازدياد قِيَم n.

٣ – التداخل بين أغلفة الطاقة الفرعية يحدث ابتداءً بالغلاف الرئيس الثالث (4s أقل طاقة من 3d).

٤ – طاقات أفلاك الغلاف الفرعي 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

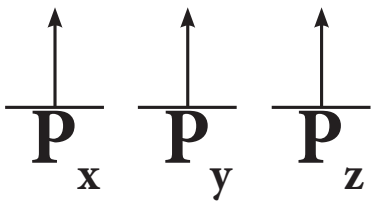
◄ رتِّب الأفلاك الآتية تصاعديًّا وفق طاقتها:

3s، 2p، 3d، 4s.

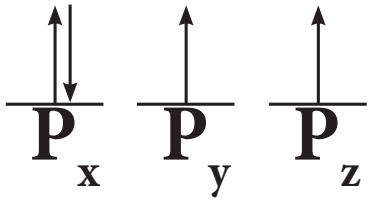
ثالثًا قاعدة هوند

إذا احتوت ذرة على ثلاثة إلكترونات في أفلاك p، فكيف تتوزَّع هذه الإلكترونات؟

بيَّنت تجارب هوند أن **الإلكترونات تتوزَّع أولًا فرادى في أفلاك الغلاف الفرعي الواحد في اتجاه الغزل نفسه، ثم تبدأ بالازدواج تباعًا في اتجاه معاكس، وهذا ما تنص عليه قاعدة هوند** (Hund's Rule)، وهذا التوزيع يجعل الذرة أقل طاقةً وأكثر استقرارًا. فإذا كان لدينا ثلاثة إلكترونات في الغلاف الفرعي p فإنها ستتوزَّع 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:



سؤال

أجب عن الأسئلة الآتية بناءً على قاعدة هوند:

- كيف تتوزَّع خمسة إلكترونات في أفلاك p؟ وما عدد الإلكترونات المنفردة؟
- كيف تتوزَّع ثمانية إلكترونات في أفلاك d؟ وما عدد الإلكترونات المنفردة؟

رابعًا التوزيع الإلكتروني للذرات

بعد معرفتك أغلفة الطاقة الفرعية والأفلاك في الذرات عديدة الإلكترونات وترتيبها وفقًا للزيادة في طاقاتها، قد يتبادر إلى ذهنك السؤالان الآتيان: هل تتوزَّع الإلكترونات في أفلاك الذرة عشوائيًّا أم وفق قواعد معينة؟ وكيف يمكن أن تتوزَّع الإلكترونات في الذرة؟

تتوزَّع الإلكترونات في أفلاك الذرة وفق قواعد معينة، هي:

١ – عدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة يساوي العدد الذري للعنصر.

٢ – ملء الأفلاك بالإلكترونات، بدءًا بالفلك الأدنى طاقة ثم الأعلى طاقة.

٣ – الفلك الواحد في الذرة يتسع إلى إلكترونين فقط تبعًا لمبدأ الاستبعاد (باولي).

٤ – توزيع الإلكترونات على الغلاف الفرعي المُكوَّن من عدَّة أفلاك حسب قاعدة هوند.

وفي ما يأتي التوزيع الإلكتروني لذرات بعض العناصر:

$_{1}H:1s^{1}$ ، $_{2}He:1s^{2}$ ، $_{8}O:1s^{2}2s^{2}2p^{4}$

يمكن كتابة التوزيع الإلكتروني بدلالة الغازات النبيلة (He، Ne، Ar، Kr، Xe، Rn)، وذلك بالاستعاضة عن الأغلفة الرئيسة الداخلية الممتلئة للعنصر برمز الغاز النبيل الذي يسبقه مباشرة في الجدول الدوري، فضلًا عن توزيع الإلكترونات بدلالة الأفلاك كما في الجدول (١–٤).

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

العنصر	التوزيع الإلكتروني	التوزيع الإلكتروني بدلالة الغاز النبيل
$_{3}Li$	$1s^2 2s^1$	$[He]2s^1$
$_{4}Be$	$1s^2 2s^2$	$[He]2s^2$
$_{5}B$	$1s^2 2s^2 2p^1$	$[He]2s^2 2p^1$
$_{6}C$	$1s^2 2s^2 2p^2$	$[He]2s^2 2p^2$
$_{7}N$	$1s^2 2s^2 2p^3$	$[He]2s^2 2p^3$
$_{10}Ne$	$1s^2 2s^2 2p^6$	$[He]2s^2 2p^6$
$_{11}Na$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	$[Ne]\ 3s^1$
$_{16}S$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$	$[Ne]\ 3s^2 3p^4$
$_{18}Ar$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	$[Ne]\ 3s^2 3p^6$
$_{20}Ca$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$	$[Ar]4s^2$
$_{22}Ti$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^2$	$[Ar]4s^2 3d^2$
$_{25}Mn$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^5$	$[Ar]4s^2 3d^5$

سؤال

- اكتب التوزيع الإلكتروني لذرات العناصر الآتية بدلالة الغاز النبيل:

  $_{26}Fe$ ، $_{14}Si$ ، $_{12}Mg$

- ما عدد الإلكترونات المنفردة في كلٍّ منها؟

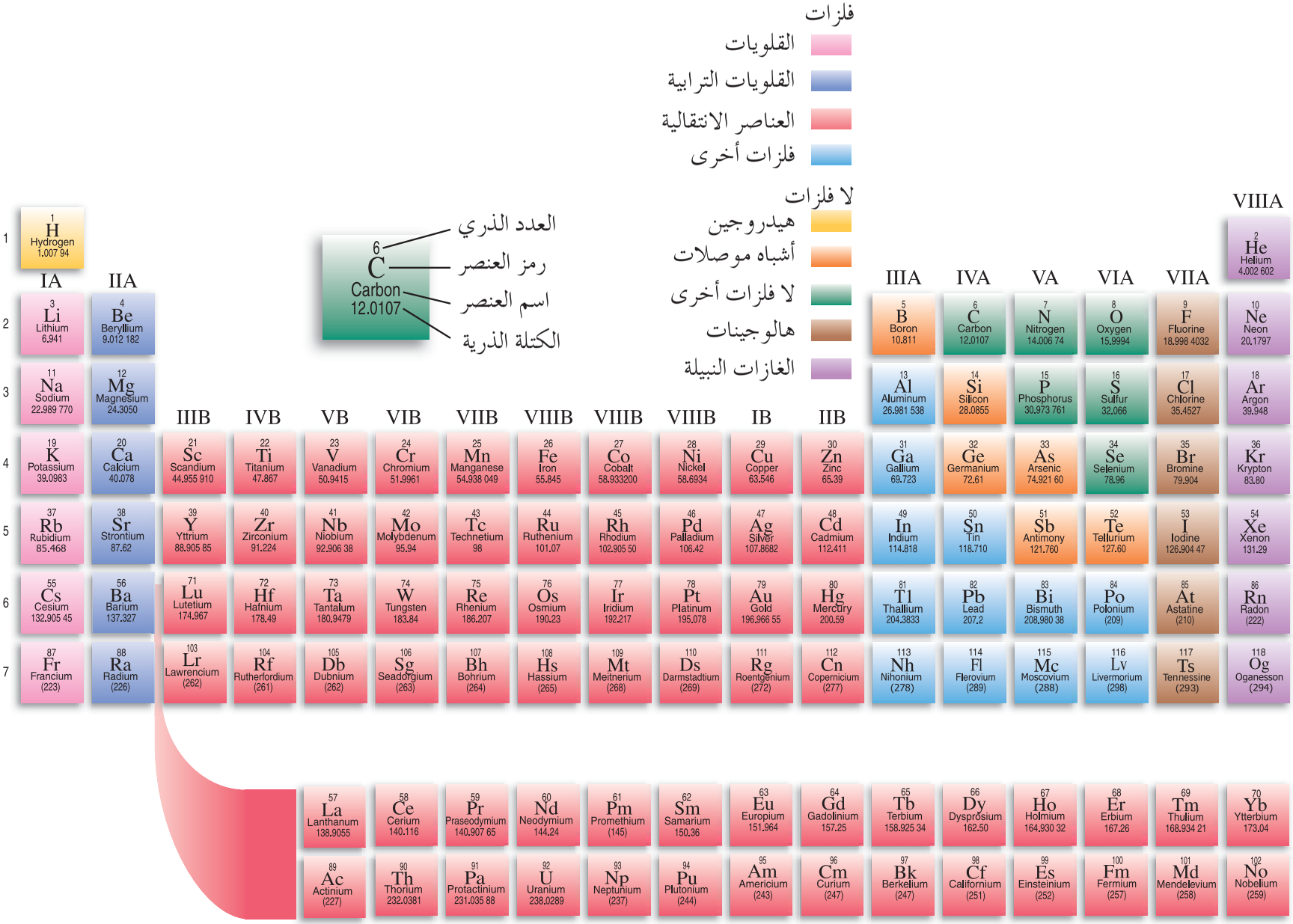
خامسًا الجدول الدوري الحديث

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

قضية للبحث

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

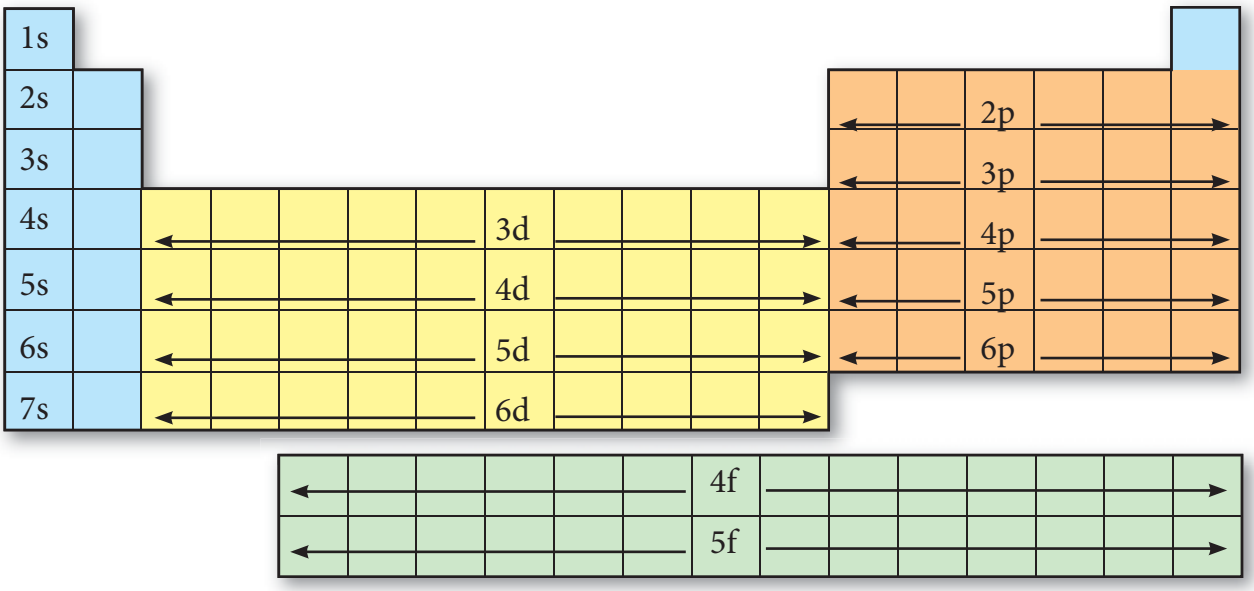
وقد توالت جهود العلماء في هذا المجال إلى أن رتَّب العالِم الروسي ديمتري مندليف (Dmitri Mendeleev) العناصر في جدول دوري اعتمادًا على خصائصها الكيميائية وتزايد كتلها الذرية، ثم رتَّب العالِم الإنجليزي هنري موزلي (Henry Moseley) العناصر تبعًا لتزايد أعدادها الذرية في الجدول الدوري الحديث الذي ما زال معتمدًا حتى الآن، انظر الشكل (١-١٤).



الشكل (١-١٤): الجدول الدوري الحديث.

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

ادرس الشكل (١–١٥) الذي يُبيِّن الجدول الدوري الحديث مُقسَّمًا إلى أربعة قطاعات تُمثِّل الأغلفة الفرعية: s ، p ، d ، f، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل (١–١٥): الجدول الدوري الحديث مُقسَّمًا إلى أربعة قطاعات.

- ما عدد الأعمدة في كلٍّ من القطاعات: s ، و p ، و d ، وf؟
- ما العلاقة بين عدد الأعمدة في القطاع الواحد وعدد الإلكترونات التي يستوعبها كل غلاف فرعي؟
- ماذا تُسمّى العناصر التي توجد في الجدول، وينتهي فيها التوزيع الإلكتروني بالقطاع s أو p؟
- ماذا تُسمّى العناصر التي توجد في الجدول، وينتهي فيها التوزيع الإلكتروني بالقطاع d أو f؟

يَتبيَّن ممّا سبق أن عناصر الجدول الدوري تُصنَّف إلى نوعين رئيسين من المجموعات؛ الأول: **العناصر الممثلة**، ويُرمَز إليها بالحرف A، وتتألَّف من العناصر في القطاع s الذي يضم عمودينِ ويتوزَّع إلكترونها الأخير في الغلاف الفرعي s، والعناصر في القطاع p الذي يضم ستة أعمدة، ويتوزَّع إلكترونها الأخير في الغلاف الفرعي p.

والنوع الثاني هو **العناصر الانتقالية**، ويُرمَز إليها بالحرف B، وتضم قطاعين؛ الأول: قطاع d، ويُطلَق عليه اسم العناصر الانتقالية الرئيسة، ويتألَّف من عشرة أعمدة، ويتوزَّع إلكترونها الأخير في الغلاف الفرعي d. والثاني: قطاع f، ويُطلَق عليه اسم العناصر الانتقالية الداخلية، ويتألَّف من أربعة عشر عمودًا، ويتوزَّع إلكترونها الأخير في الغلاف الفرعي f. وسوف تدرس هذا العام العناصر الممثلة والعناصر الانتقالية الرئيسة 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 مواقع العناصر الممثلة في الجدول الدوري

إذا كان لديك العناصر الممثلة: $_{4}Be$ ، $_{15}P$ ، $_{19}K$، فاكتب التوزيع الإلكتروني لكلٍّ منها، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

أ – مُستعينًا بالجدول الدوري الظاهر في الشكل (١–١٤)، 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؟

جـ– ما العلاقة بين رقم دورة كل عنصر منها ورقم أعلى غلاف رئيس n؟

يَتبيَّن ممّا سبق أن رقم دورة العناصر الممثلة يتحدد من أعلى قيمة للغلاف الرئيس n في التوزيع الإلكتروني للعنصر (يُعرَف بالغلاف الخارجي)، وأن رقم مجموعة العنصر الممثل يساوي مجموع عدد إلكترونات s،وp في الغلاف الخارجي لذلك العنصر، وأنه يُطلَق على إلكترونات الغلاف الخارجي للعنصر الممثل اسم **إلكترونات التكافؤ**.

سؤال

- اعتمادًا على التوزيع الإلكتروني للعنصرين: $_{20}Ca$ ، و $_{34}Se$، حدِّد موقع كلٍّ منهما في الجدول الدوري.
- ما العدد الذري لعنصر يقع في الدورة الثالثة والمجموعة السابعة A؟
- ما عدد إلكترونات التكافؤ للعنصر $_{16}S$؟

٢ – تحديد مواقع العناصر الانتقالية في الجدول الدوري

كيف يمكنك تعيين رقم الدورة والمجموعة للعناصر الانتقالية؟

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

$_{21}Sc:[Ar]3d^1 4s^2$ $_{22}Ti:[Ar]3d^2 4s^2$ $_{23}V:[Ar]3d^3 4s^2$ $_{24}Cr:[Ar]3d^5 4s^1$

$_{25}Mn:[Ar]3d^5 4s^2$ $_{26}Fe:[Ar]3d^6 4s^2$ $_{27}Co:[Ar]3d^7 4s^2$ $_{28}Ni:[Ar]3d^8 4s^2$

$_{29}Cu:[Ar]3d^{10} 4s^1$ $_{30}Zn:[Ar]3d^{10} 4s^2$

أ – مُستعينًا بالجدول الدوري، ما علاقة أعلى قيمة للغلاف الرئيس n برقم الدورة؟

ب– ما علاقة رقم المجموعة بمجموع الإلكترونات في الغلافين: s، وd؟

لاحِظ أن رقم دورة العناصر الانتقالية يَتحدَّد بالطريقة نفسها التي يُحدَّد 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 الرئيسة فيَتحدَّد 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 الانتقالي يساوي هذا المجموع، كما في العناصر: Sc، و Ti، و V، و Cr، و Mn.

ب – إذا كان مجموع عدد الإلكترونات للعنصر الانتقالي 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: Fe ، Co ، Ni.

جـ – إذا كانت أفلاك d ممتلئة (أي تحوي عشرة إلكترونات) فإن رقم مجموعة العنصر الانتقالي الرئيس يَتحدَّد بعدد الإلكترونات في الفلك s الأخير فقط.

بناءً على ما سبق، فإن التوزيع الإلكتروني لعنصرالنحاس هو $_{29}Cu: [Ar]3d^{10}4s^1$، ورقم مجموعته IB، والتوزيع الإلكتروني لعنصر الخارصين هو $_{30}Zn: [Ar]3d^{10}4s^2$، ورقم مجموعته IIB.

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

ذلك أن ذرة النحاس تكون في وضع أدنى طاقةً وأكثر استقرارًا؛ لأن الغلاف الفرعي 4s نصف ممتلئ، والغلاف الفرعي 3d ممتلئ.

أمّا التوزيع الإلكتروني الفعلي لذرة الكـــروم Cr فهـو $_{24}Cr:[Ar]3d^5 4s^1$؛ لأن الغـلافيـن الفرعيين: 4s، و 3d هما أنصاف ممتلئة، ممّا يجعل الذرَّة أكثر استقرارًا.

سادسًا التوزيع الإلكتروني لأيونات العناصر

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

مثال (١)

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

الحل

نكتب أولًا التوزيع الإلكتروني لذرة الصوديوم: $_{11}Na: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

ولمّا كان عنصر الصوديوم هو أحد العناصر الممثلة، الذي تصل ذرته إلى حالة الاستقرار عند فقدها إلكترونًا من الفلك 3s، فإن التوزيع الإلكتروني لأيونه يشبه ذرة الغاز النبيل الذي يسبقه مباشرةً في الجدول الدوري، وهو Ne، فيصبح التوزيع الإلكتروني لأيون الصوديوم: $_{11}Na^+: 1s^2 2s^2 2p^6$، أو $_{11}Na^+:[Ne]$.

سؤال

◄ اكتب التوزيع الإلكتروني للأيونات الآتية:

$_{8}O^{2-}$ ، $_{12}Mg^{2+}$، $_{17}Cl^{-}$

مثال (٢)

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

الحل

نكتب أولًا التوزيع الإلكتروني لذرة الحديد المتعادلة: $_{26}Fe:[Ar]3d^{6}4s^{2}$

ولمّا كان الحديد عنصرًا انتقاليًّا فإنه يفقد إلكتروناته من الفلك 4s أولًا ليصبح التوزيع الإلكتروني لأيونه: $_{26}Fe^{2+}:[Ar]3d^{6}$

ومن الجدير بالذكر أن العنصر الانتقالي الرئيس يُكوِّن أيونات موجبة بفقده إلكترونات من الفلك ns أولًا؛ لأنه أبعد عن النواة، فتكون قوة جذب النواة له ضعيفة، وقد يفقد بعض إلكترونات الغلاف d $(n\text{-}1)$، 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

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

أسئلة الفصل

١- ما عدد الأغلفة الفرعية وعدد الأفلاك في الغلاف الرئيس الثالث؟

٢- رتِّب الأغلفة الفرعية الآتية تبعًا لتزايد طاقتها: 4p، 4d، 4f، 5s، 5p، 5f، 6d.

٣- ما رمز الغلاف الفرعي الذي له قِيَم أعداد الكَمِّ الآتية:

أ) $n = ٣$ ، $l =$ صفر

ب) $n = ٥$ ، $l = ٢$؟

٤- أيّ رموز الأغلفة الفرعية الآتية غير صحيح: 3s ، 2d ، 4f ، 3f ، 3d ، 1p؟ ولماذا؟

٥- أيّ مجموعات الأعداد الكَمِّية الآتية تُمثِّل إلكترونًا في أحد أفلاك الذرة:

أ) $n = ٢$ ، $l = ١$ ، $m_l = -١$ ، $m_s = +\frac{١}{٢}$

ب) $n = ١$ ، $l = ١$ ، $m_l = ٠$ ، $m_s = -\frac{١}{٢}$

جـ) $n = ١$ ، $l = ٠$ ، $m_l = -٢$ ، $m_s = +\frac{١}{٢}$

٦- اكتب التوزيع الإلكتروني للدقائق: $_{16}S^{2-}$ ، $_{24}Cr^{3+}$ ، $_{21}Sc$ ، $_{13}Al^{3+}$ بدلالة الغاز النبيل الذي يسبق كلًّا منها في الجدول الدوري.

٧- ما عدد الإلكترونات المنفردة في كلٍّ من: $_{30}Zn^{2+}$ ، $_{17}Cl$ ، $_{26}Fe^{3+}$؟

٨- ما العدد الذري لعنصر:

أ) يقع في الدورة الثالثة والمجموعة السادسة A؟

ب) يقع في الدورة الرابعة والمجموعة الخامسة B؟

جـ) ينتهي التوزيع الإلكتروني لأيونه الثنائي السالب بالغلاف الفرعي $2p^6$؟

د) ينتهي التوزيع الإلكتروني لأيونه الثنائي الموجب بالغلاف الفرعي $3d^5$؟

الفصل الثالث

٣

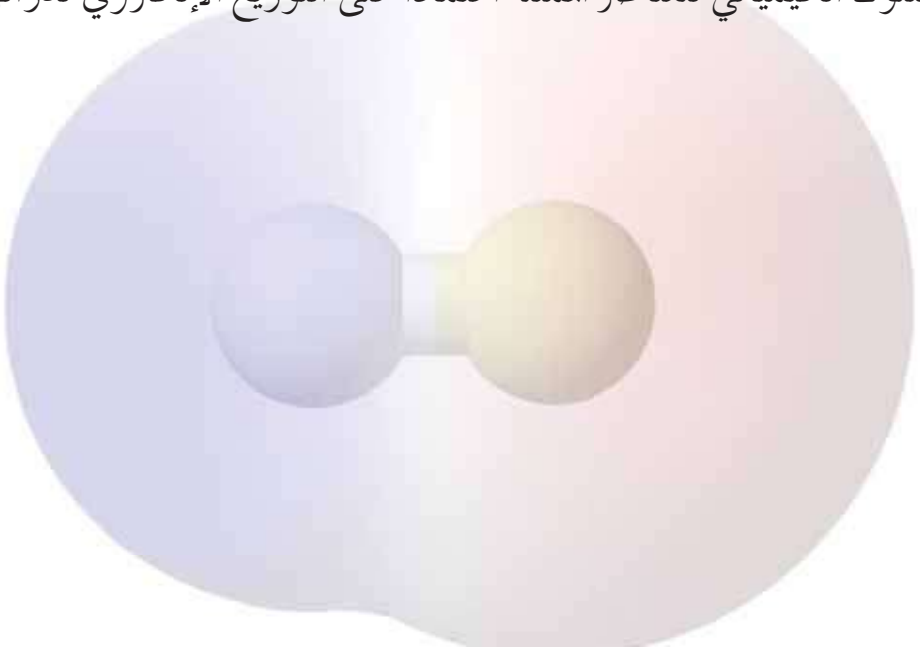
الدورية في خصائص ذرات العناصر

Periodicity of the Elements

تعرَّفت من دراستك للجدول الدوري أن العناصر رُتِّبت فيه وفق تزايد أعدادها الذرية، وتشابهها في الخصائص الفيزيائية والكيميائية، وستتعرَّف في هذا الفصل أهم الخصائص الدورية للعناصر الممثلة، وكيف تتغير هذه الخصائص بتغير التركيب الإلكتروني للعناصر. فما أهم الخصائص الدورية للعناصر؟ وكيف تتغير هذه الخصائص خلال الدورة وخلال المجموعة في الجدول الدوري؟ وما العوامل التي تعتمد عليها الدورية في خصائص العناصر؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُوضِّح دورية التغير في خصائص بعض العناصر في الجدول الدوري، مثل: الحجم الذري، وحجوم الأيونات، وطاقة التأين، والكهرسلبية.
- تُحدِّد العوامل التي تعتمد عليها الدورية في خصائص العناصر.
- تتنبأ بالسلوك الكيميائي للعناصر الممثلة اعتمادًا على التوزيع الإلكتروني لذراتها.



أولًا

الحجم الذري

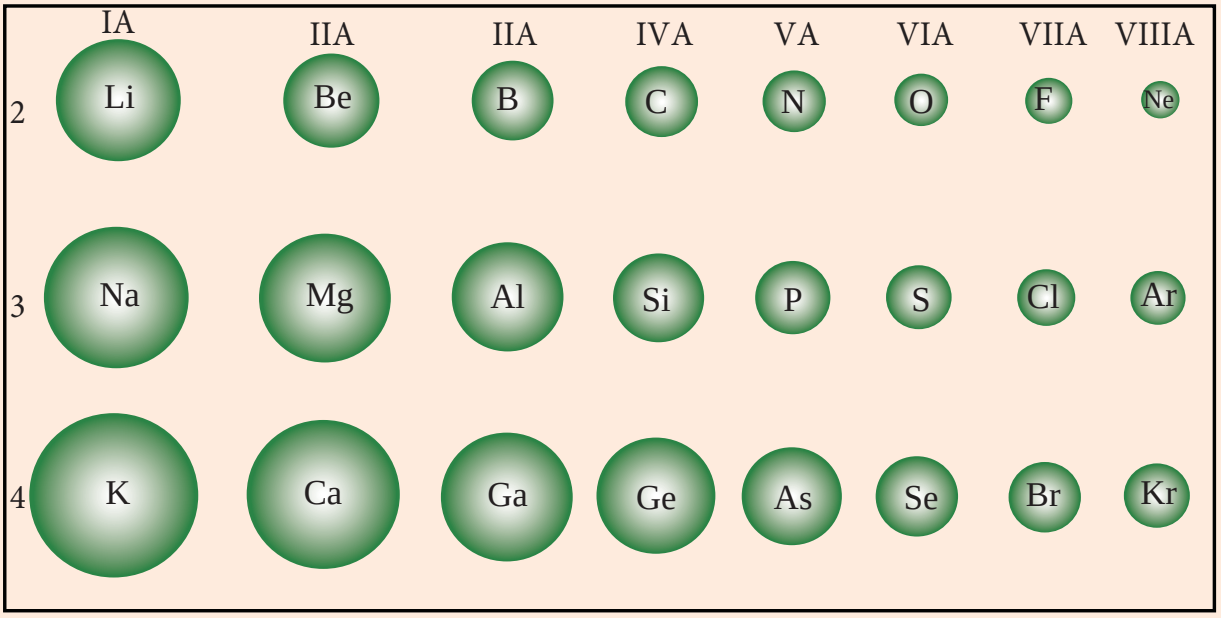
تتفاوت خصائص العناصر بانتقالها من اليسار إلى اليمين في الدورة الواحدة من الجدول الدوري، وانتقالها من أعلى إلى أسفل في المجموعة الواحدة، ومن هذه الخصائص الحجم الذري. فما المقصود بالحجم الذري للعنصر؟ وكيف تتغير حجوم الذرات في الجدول الدوري في الدورة الواحدة والمجموعة الواحدة؟

يساهم الحجم الذري إسهامًا كبيرًا 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، نفِّذ النشاط (١-٢).

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

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



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

- أيّ الذرات أكبر حجمًا؟
- كيف تتغير 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 أيّ مستويات الطاقة الرئيسة يضاف الإلكترون الأخير للذرة 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 علاقة ذلك بالحجم الذري؟

لاحِظ 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.

أمّا أبرز العوامل المُؤثِّرة في الحجم الذري فهي:

١ – شحنة النواة الفاعلة

تُعبِّر هذه الشحنة عن مقدار الشحنة الفعلية التي تُؤثِّر في إلكترونات الغلاف الخارجي؛ فقد ثبت عمليًّا أن إلكترونات الغلاف الخارجي تتأثر فعليًّا بشحنة أقل من شحنة النواة الموجبة (عدد البروتونات)، وذلك لوجود إلكترونات الأغلفة الداخلية التي تحجب جزءًا 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 الكَمِّ الرئيس n

يُعبِّر هذا العدد عن معدل بُعْد إلكترونات الغلاف الخارجي عن النواة؛ إذ يزداد

الحجـم الذري في المجموعة الواحدة من الجـدول الدوري بالانتقال من أعلى إلى أسـفل مـع زيادة عـدد الكَمِّ الرئيس n، وبقاء شـحنة النواة الفاعلة ثابتـة؛ لأن ازدياد عـدد البروتونات في النواة يقابله زيادة مماثلة في عـدد إلكترونات الأغلفة الداخلية (الإلكترونات الحاجبة).

سؤال

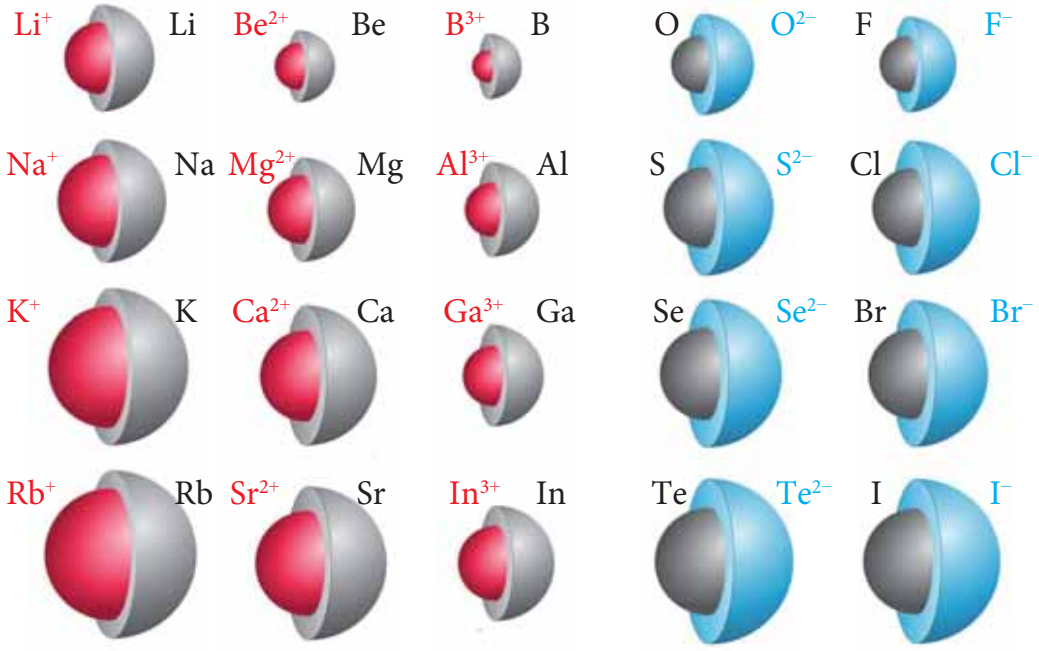
فسِّر كلًّا مـمّا يأتي:

- الحجم الذري للفلور أصغر من الحجم الذري لليثيوم.
- الحجم الذري للبوتاسيوم أكبر من الحجم الذري للصوديوم.

ثانيًا حجوم الأيونات

كيف تتغير حجوم الأيونات التي تُكوِّنها ذرات العناصر في الجدول الدوري؟ وما علاقة حجم الأيون بحجم ذرته المتعادلة؟

للإجابة، ادرس الشكل (١–١٧) الذي يُبيِّن حجوم عدد من ذرات العناصر الممثلة في الجدول الدوري وأيوناتها، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل (١–١٧): الحجوم النسبية لبعض الذرات في الجدول الدوري وأيوناتها الموجبة والسالبة.

- أيّهما أصغر حجمًا: أيون الليثيوم Li^+ أم ذرته المتعادلة Li؟ فسِّر إجابتك اعتمادًا على التركيب الإلكتروني لكلٍّ منهما.
- أيّهما أكبر حجمًا: أيون F^- أم ذرته المتعادلة؟ فسِّر إجابتك اعتمادًا على التركيب الإلكتروني لكلٍّ منهما.
- كيف يتغير حجم الأيون الموجب مقارنةً بحجم ذرته المتعادلة؟
- كيف يتغير حجم الأيون السالب مقارنةً 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. أمّا حجم الأيون السالب فهو أكبر من حجم ذرته المتعادلة (حجم الأيون F^- أكبر من حجم الذرة F)؛ إذ إن دخول الإلكترون غلاف الذرة الخارجي نفسه يزيد من التنافر بين الإلكترونات، فيزداد الحجم.

سؤال

◄ أيّهما أصغر حجمًا: Na^+ أم F^-؟ فسِّر إجابتك.

ثالثًا طاقة التأين

تتفاوت ذرات العناصر الممثلة في قابليتها لفقد الإلكترونات تبعًا لقوة 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 ارتباطًا بالذرة، وهو الذي يكون عادة أبعد إلكترونات الذرة عن نواتها، وتُعرَف هذه الطاقة باسم **طاقة تأين العنصر** (Ionization Energy)، وتؤدي عملية تأين الذرة M إلى تكوُّن أيون موجب M^+، ويُعبَّر عن ذلك بالمعادلة العامة الآتية:

$$M_{(g)} + ط \longrightarrow M^+_{(g)} + e^-$$

(تشير ط إلى طاقة التأين لذرة العنصر M)

فكيف تتغير قِيَم طاقات التأين للعناصر الممثلة في الجدول الدوري؟ وما أثرها في السلوك الكيميائي لهذه العناصر؟ للإجابة، نفِّذ النشاط الآتي.

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

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

IA	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
H 1312																	He 2371
Li 520	Be 899											B 801	C 1086	N 1402	O 1314	F 1681	Ne 2081
Na 496	Mg 738	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIIIB			IB	IIB	Al 578	Si 786	P 1012	S 1000	Cl 1255	Ar 1521
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

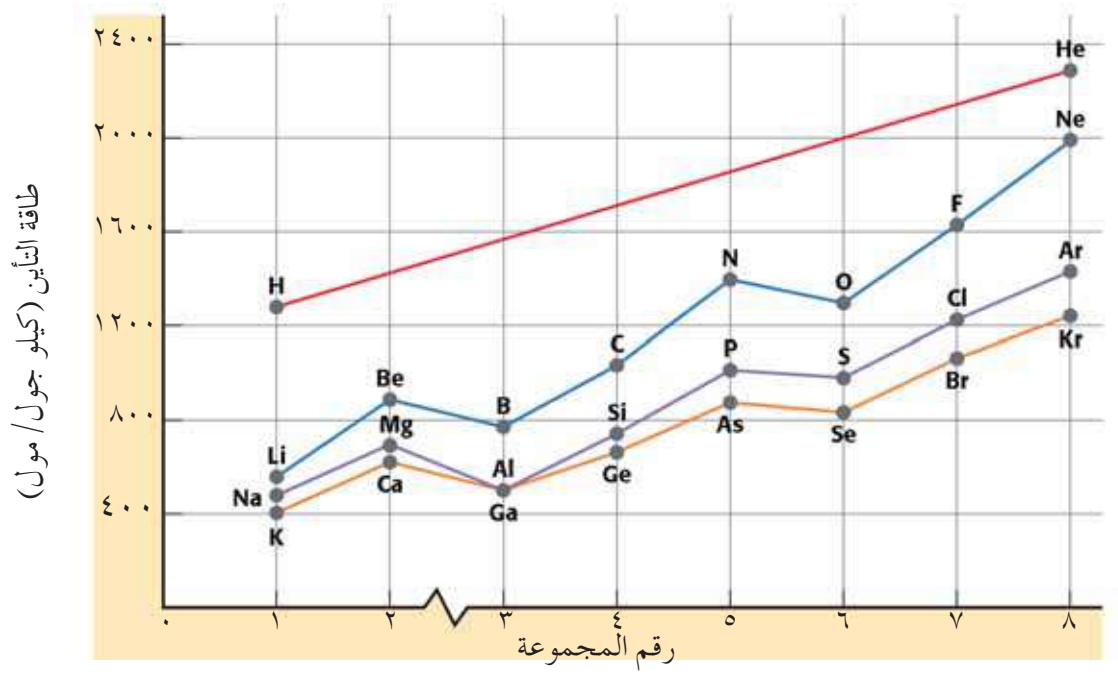
الشكل (١-١٨): قِيَم طاقات التأين الأولى للعناصر الممثلة في الجدول الدوري.

- أيّ ذرات العناصر لها أعلى طاقة تأين، وأيّها لها أقل طاقة تأين في الدورة الثانية؟
- أيّ ذرات العناصر لها أعلى طاقة تأين، وأيّها لها أقل طاقة تأين في الدورة الثالثة؟
- كيف تتغير قِيَم طاقات التأين لعناصر الدورة عمومًا بالاتجاه من اليسار إلى اليمين في الدورة الواحدة؟ وما تفسيرك لذلك؟
- كيف تتغير قِيَم طاقات التأين لعناصر المجموعة الواحدة بالانتقال من أعلى إلى أسفل في المجموعة الواحدة؟ ما تفسيرك لذلك؟

لاحِظ أن قِيَم 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 قِيَم طاقات التأين تدريجيًّا في المجموعة الواحدة بالاتجاه من أعلى إلى أسفل بسبب زيادة الحجم الذري، فيزداد معدل بُعْد الإلكترون في

الغلاف الخارجي عن النواة، ممّا يؤدي إلى ضعف ارتباطه بالنواة، وسهولة فصله عنها.

والشكل (١–١٩) يُبيِّن كيف تتغير قِيَم طاقات التأين للعناصر الممثلة خلال الدورات من الأولى إلى الرابعة.



الشكل (١–١٩): تغير قيم طاقات التأين للعناصر من الدورة الأولى إلى الرابعة.

سؤال

فسِّر كلًّا ممّا يأتي:

- ارتفاع قِيَم طاقات تأين ذرات الغازات النبيلة ارتفاعًا كبيرًا في نهاية كل دورة.
- قيمة طاقة التأين لعنصر المجموعة الأولى في بداية كل دورة هي الأقل.

قضية للبحث

ابحث في أحد مراجع الكيمياء، أو في الشبكة المعلوماتية عن سبب كلٍّ 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 تقريرًا عن ذلك، وناقشه مع زملائك في الصف.

تفقد بعض الفلزات إلكترونًا واحدًا، أو إلكترونين، أو ثلاثة إلكترونات للوصـول إلى حالة أكثر اسـتقرارًا وتركيبًـا يماثل تركيب الغاز النبيل، فما علاقة ذلك بقِيَم طاقات التأين والسـلوك الكيميائي للعنصر؟

للإجابة عن هذا السؤال، ادرس المثال الآتي.

مثال (١)

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

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

٢- ما شحنة الأيون الناتج؟

٣- هل يُكوِّن الألمنيوم أيون Al^{4+} في مركَّباته؟ ولماذا؟

الحل

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

طاقة التأين الأول $Al_{(g)} + 578\ kJ/mol \longrightarrow Al^{+}_{(g)} + e^{-}$

طاقة التأين الثاني $Al^{+}_{(g)} + 1817\ kJ/mol \longrightarrow Al^{2+}_{(g)} + e^{-}$

طاقة التأين الثالث $Al^{2+}_{(g)} + 2745\ kJ/mol \longrightarrow Al^{3+}_{(g)} + e^{-}$

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 جدًّا من الطاقة.

طاقة التأين الرابع $Al^{3+}_{(g)} + 11577\ kJ/mol \longrightarrow Al^{4+}_{(g)} + e^{-}$

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 مركَّبات الألمنيوم .

سؤال

الجـدول الآتـي يُبيِّن قِيَم طاقات التأين لعنصرين من العناصر الممثلـة من الدورة الثالثة مُقدَّرةً بالكيلوجول/ مول. ادرس الجدول، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

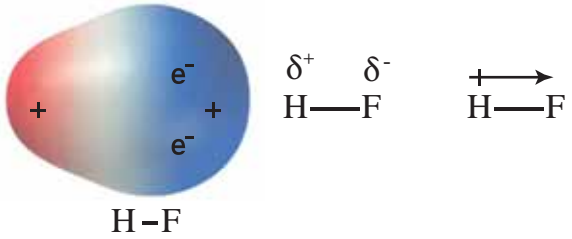
العنصر / طاقة التأين (كيلوجول/مول)	ط١	ط٢	ط٣	ط٤
X	٧٣٨	١٤٥٠	٧٧٣١	١٠٥٤٥
Y	٤٩٦	٤٥٦٣	٦٩١٣	٩٥٤١

- حدِّد المجموعة التي ينتمي إليها كل عنصر؟
- أيّهما أنشط كيميائيًّا في التفاعل مع الكلور: X أم Y؟
- اكتب التركيب الإلكتروني للعنصر X ؟

رابعًا الكهرسلبية

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

إن جذب ذرتي الهيدروجين لزوج الإلكترونات المشترك بينهما في الجزيء (H_2) متساوٍ، في حين يختلف جذب كلٍّ من ذرة الهيدروجين وذرة الفلور لزوج الإلكترونات المشترك 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 (⟵+) رأسه يشير إلى الذرة الأكثر قدرة على جذب زوج إلكترونات الرابطة، ويُبيِّن الشكل (١-٢٠) تمثيل قطبية الرابطة (H–F) في الجزيء (HF).



الشكل (١-٢٠): تمثيل قطبية الرابطة (H–F).

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

فكيف تتغير كهرسلبية الذرات في الجدول الدوري؟ وما العوامل المُؤثِّرة فيها؟ لتتعرَّف ذلك، ادرس الشكل (١-٢١) الذي يحوي قِيَم 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 (١-٢١): قِيَم الكهرسلبية لمعظم عناصر الجدول الدوري.

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

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

سؤال

◄ أيّ الروابط الآتية قطبية؟ وأيّها غير قطبية؟ عَبِّر عن الروابط القطبية باستخدام الأسهم:
Cl–Cl، B–F، H –Br، C–O، N–H.

لاحِظ أن الرابطة القطبية تنشأ بين ذرتين مختلفتين في الكهرسلبية؛ لذا يُتوقَّع أن تختلف قطبية الرابطة باختلاف أنواع الذرات المُكوِّنة لها. فهل تستطيع تحديد الرابطة الأكثر قطبية؟

اعتمادًا على قِيَم الكهرسلبية، أجب عن الأسئلة الآتية:

- احسب الفرق في الكهرسلبية بين ذرتي C و H.
- احسب الفرق في الكهرسلبية بين ذرتي N و H.
- أيّهما أكبر: الفرق في الكهرسلبية بين ذرتي C و H أم ذرتي N و H؟
- أيّ الرابطتين تتوقَّع أن تكون أكثر قطبية: الرابطة H–N أم الرابطة C–H؟

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

سؤال

◄ بناءً على جدول الكهرسلبية، رتِّب الروابط الآتية وفق تزايد قطبيتها:
H – O، Be – Cl، C – F.

أسئلة الفصل

١ – وضِّح المقصود بكلٍّ ممّا يأتي:

شحنة النواة الفاعلة، طاقة التأين، الكهرسلبية، قطبية الرابطة.

٢ – حدِّد الذرة الأكبر حجمًا في كل زوج من الأزواج الآتية:

(Mg ، P)، (O ، Se)، (Li ، N) (Na ، Rb).

٣ – أيّهما أصغر حجمًا في كل زوج من الأزواج الآتية، مُفسِّرًا إجابتك:

(K^+ ، K)، (Br^- ، Br)، (O^{2-} ، N^{3-})، (Cl^- ، K^+).

٤ – رتِّب ذرات العناصر في كلٍّ من الفرعين الآتيين وفق ازدياد طاقة تأينها:

أ) Cl، Mg، Si.

ب) Be، Ba، Mg.

٥ – رتِّب الأيونات الآتية وفق ازدياد حجومها:

Mg^{2+}، Na^+، Al^{3+}، N^{3-}، O^{2-}.

٦ – ماذا تُمثِّل الطاقة المصاحبة لكلٍّ من التغيرات الآتية:

$$Li_{(g)} + 520\ kJ/mol \longrightarrow Li^+_{(g)} + e^-$$

$$Al^{2+}_{(g)} + 2745\ kJ/mol \longrightarrow Al^{3+}_{(g)} + e^-$$

٧ – رتِّب الروابط القطبية الآتية تصاعديًّا وفق تزايد قطبيتها:

Si – Cl ، Si–F ، Si–Br.

٨– فسِّر كلًّا ممّا يأتي:

أ) تزداد حجوم ذرات العناصر في المجموعة الواحدة بالاتجاه من أعلى إلى أسفل.

ب) تزداد قِيَم الكهرسلبية لذرات العناصر في الدورة الثالثة بالاتجاه من اليسار إلى اليمين بوجه عام.

جـ) تكون طاقة التأين الثالثة للمغنيسيوم أعلى كثيرًا من طاقة التأين الثانية له.

١ – إذا كان طـول موجـة الضـوء المرافقـة لعودة الإلكترون من مسـتوى بعيد عـن النواة إلى المستوى الأول هو ٩٧,٣٥ نانومترًا، فما رقم هذا المستوى؟

٢ – إذا علمت أن الفلك $3p_x$ قد يأخذ أيًّا من قيم أعداد الكَمِّ المغناطيسي (−١ ، ٠ ، +١)، وأن هذا الفلك يحتوي على إلكترونين، فما قِيَم أعداد الكَمِّ الأربعة لكلٍّ من إلكتروني هذا الفلك؟

٣ – يُمثِّل الشكل الآتي جزءًا من الجدول الدوري للعناصر، ويتضمَّن رموزًا افتراضيةً. ادرسه جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

	B											S		R	E	C	
X												V			W		
	G				D			L									

أ) اكتب التركيب الإلكتروني الأكثر استقرارًا لكلٍّ من العناصر الافتراضية الآتية: V ، R ، D.

ب) ما العدد الذري للعنصر الذي يقع في دورة العنصر G ومجموعة العنصر R؟

جـ) ما رقم المجموعة لكلٍّ من العنصرين: L، وD؟

د) أيّ العناصر الآتية له أكبر حجم ذري: E، أم S، أم X؟

هـ) أيّ العناصر الآتية له أقل طاقة تأين أولى: W، أم G، أم R؟

و) أيّ العناصر الآتية له أعلى طاقة تأين ثانية: X ، أم B ، أم G؟

ز) رتِّب الأيونات: X^+، وE^-، وR^{2-} وفق تناقص حجومها.

ح) ما عدد الإلكترونات المنفردة في ذرة العنصر L؟

ط) اكتب التوزيع الإلكتروني للأيون D^{2+}.

ي) أيّ العناصر الافتراضية في الجدول له أعلى كهرسلبية؟

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

A B $_{9}$D E G Z X

زيادة العدد الذري

أ) أيّ العناصر يُكوِّن في مركَّباته الثابتة أيونًا له أقل حجم؟

ب) ما رقم مجموعة العنصر Z؟ وما رقم دورة العنصر G؟

جـ) رتِّب العناصر تبعًا لتناقص حجومها الذرية.

د) حدِّد العنصر الذي له أكبر طاقة تأين ثانٍ.

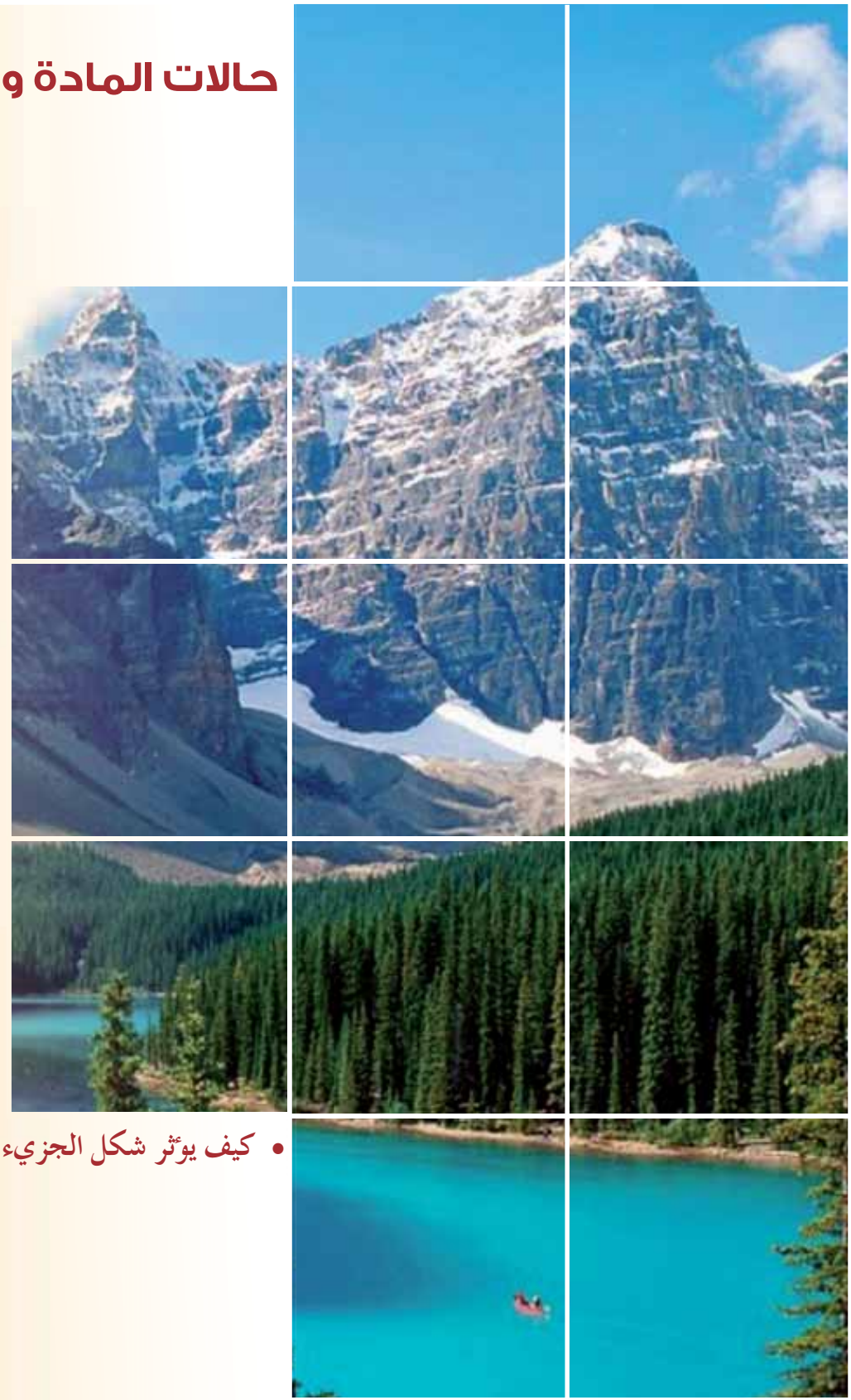
هـ) أيّ الرابطتين أكثر قطبية: D – B أم A – D؟

و) أيّ العناصر السابقة له أعلى كهرسلبية؟

الوحدة الثانية

٢

حالات المادة وأشكال الجزيئات



- أشكال الجزيئات
- قوى التجاذب بين الجزيئات
- حالات المادة

- كيف يؤثر شكل الجزيء في الحالة الفيزيائية للمادة؟

الفصل الأول

١

أشكال الجزيئات

(Shapes of Molecules)

درست في الصف العاشر أن المواد تتكوَّن من ذرات يرتبط بعضها ببعض بروابط كيميائية مختلفة، مثل الروابط الأيونية والتساهمية والفلزية، وأن هذه الذرات المُكوِّنة للجزيئات تترتَّب في الفراغ مُتَّخِذةً شكلًا فراغيًّا مُحدَّدًا.

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

ستتمكَّن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُمثِّل الروابط التساهمية في بعض الجزيئات.
- تُميِّز بين نوعي الرابطة التساهمية: رابطة سيغما (σ)، ورابطة باي (π).
- تُوضِّح مفهوم تهجين الأفلاك، ومُبرِّرات افتراض حدوثه.
- تستقصي العلاقة بين شكل الجزيء ونوع تهجين أفلاك الذرة المركزية.
- تُفسِّر اختلاف قِيَم الزوايا بين الروابط في بعض الجزيئات عمّا هو متوقَّع.
- ترسم الأشكال الفراغية للجزيئات اعتمادًا على تهجين أفلاك الذرة المركزية.
- تُوضِّح المقصود بالرابطة التناسقية، وتتعرَّف كيفية تكوُّنها.

أولًا نظرية تنافر أزواج إلكترونات غلاف التكافؤ

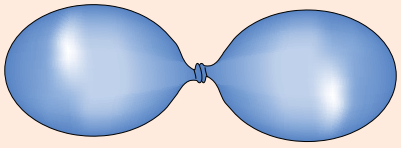
تتوزَّع الذرات المُكوِّنة للجزيء في الفراغ مُتَّخِذةً شكلًا فراغيًّا تصل به إلى حالةٍ أكثر استقرارًا وثباتًا؛ وهذا يجعل التنافر بين إلكتروناتها أقل ما يمكن، فتصل إلى الحدِّ الأدنى من الطاقة، ويكون التجاذب بين الذرات أكبر ما يمكن.

ولتتعرَّف الكيفية التي تتوزَّع بها الذرات في الفراغ وعلاقة ذلك بشكل الجزيئات، نَفِّذ النشاط الآتي.

نشاط (٢-١): 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 رأسًا برأس كما في الشكل. تخيَّل أن نقطة التقاء العُقد تُمثِّل الذرة المركزية، وأن البالونين يُمثِّلان عدد الذرات المرتبطة بالذرة المركزية. ارسم الشكل الناتج، ثم ارسم خطًّا يصل بين منتصف البالونين. ما مقدار الزاوية بين البالونين؟ وماذا نُسمّي الشكل الناتج؟

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

٣ – كرِّر 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 لتراكيب لويس، أكمل الجدول الآتي:

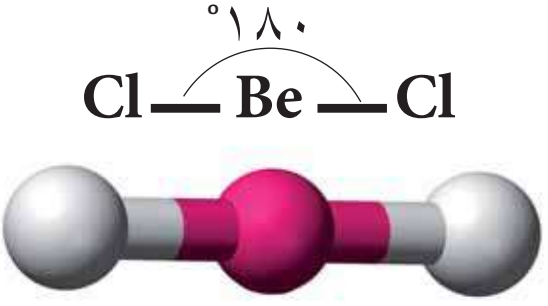
الجزيء	الذرة المركزية	تركيب لويس للجزيء	عدد أزواج الإلكترونات الرابطة حول الذرة المركزية	رقم خطوة النشاط التي تناسب الجزيء
BCl_3				
$BeCl_2$				
CH_4				

تفترض نظرية تنافر أزواج إلكترونات غلاف التكافؤ (VSEPR)* أن أزواج الإلكترونات تتخذ ترتيبًا فراغيًّا حول الذرة المركزية، يُقلِّل التنافر بين أزواج الإلكترونات إلى حدِّه 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 استقرارًا، ويمتلك أقل طاقةً.

خذ مثلًا 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؟ لاحِظ أنه يوجد زوجان من أزواج الإلكترونات الرابطة في هذا الجزيء على النحو الآتي:

$$:\dot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}} : Be : \dot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}:$$

ولكي يكون التنافر أقل ما يمكن؛ تتوزَّع أزواج الإلكترونات الرابطة على جانبي الذرة المركزية مُكوِّنةً زاوية مقدارها ١٨٠°؛ ويُبيِّن الشكل (٢ – ١) الشكل الفراغي الخطي لجزيء $BeCl_2$.

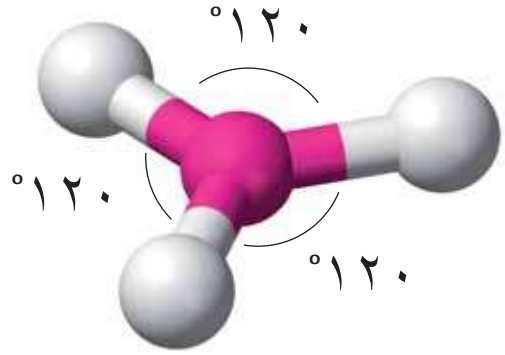


الشكل (٢–١): الشكل الفراغي الخطي للجزيء $BeCl_2$.

* VSEPR: Valence Shell Electron – Pair Repulsion Theory

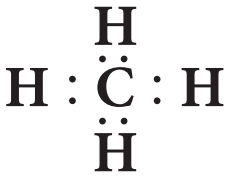
أمـا عند كتابة تركيب لويس لجزيء كلوريد البورون BCl_3 فإن ثلاثة أزواج من الإلكترونات تحيط بذرة البورون:

ويكـون التنافـر بينها في أدنى حالاته عندما تتوزَّع على شـكل مثلث متسـاوي الأضـلاع، وتكون الزاوية بين الروابط ١٢٠° ، انظر الشكل (٢ – ٢) الذي يُبيِّن توزيع ذرات الكلور حول ذرة البورون والشكل الفراغي لجزيء BCl_3.

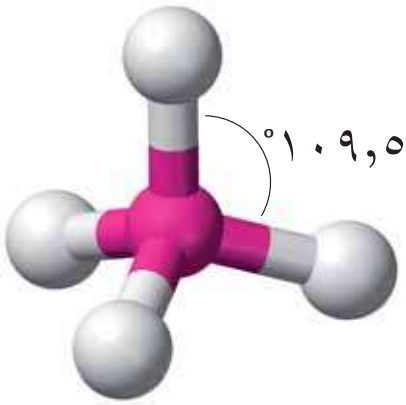


الشكل (٢ – ٢): الشكل الفراغي لجزيء BCl_3.

أمّا بخصـوص جزيء الميثان فيُلاحَظ من تركيب لويس وجود أربعة أزواج من الإلكترونات الرابطة تحيط بذرة الكربون:



ويكـون التنافـر بينها في أدنـى حالاته عندما تتـوزَّع في اتجاه رؤوس شـكل رباعي الأوجه منتظـم، بحيث تكون الزاوية بين كل زوجين منهـا ١٠٩,٥° ، وبهذا تترتَّب ذرات الهيدروجين على رؤوس أضـلاع الشـكل رباعي الأوجه، ويتخذ الجزيء شكلًا رباعي الأوجه منتظمًا، انظر الشكل (٢ – ٣) الذي يُبيِّن الشكل الفراغي لجزيء الميثان CH_4.



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

سؤال

◄ مُستعينًا بالجدول الدوري وتراكيب لويس، حدِّد الأشكال الفراغية لكلٍّ من الجزيئات الآتية: SiF_4 ، BF_3 ، BeH_2.

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

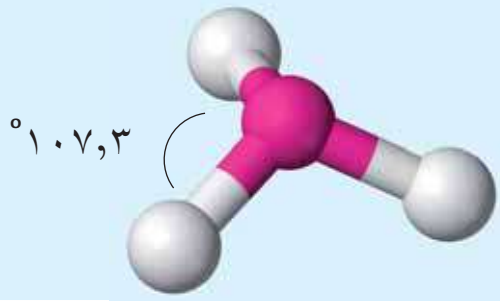
مثال (١)

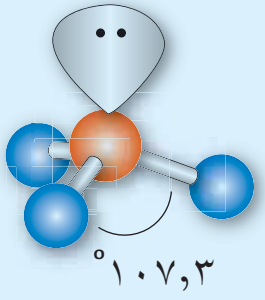
حدِّد الشكل الفراغي لجزيء الأمونيا NH_3.

الحل

نكتب تركيب لويس لجزيء الأمونيا على النحو الآتي: $H:\underset{\dot{H}}{\overset{\dot{H}}{\dot{N}}}:H$

لاحِظ أنه توجد أربعة أزواج من الإلكترونات تحيط بذرة النيتروجين تمامًا كما في جزيء الميثان. ولكن، لذرة النيتروجين ثلاثة أزواج رابطة من الإلكترونات وزوج واحد غير رابط. ولكي تُحقِّق أقل تنافر؛ فإن شكل الجزيء يكون هرميًّا ثلاثيًّا، إذ تتوزَّع ذرات الهيدروجين على رؤوس هذا الشكل، وتكون الزاوية بين الروابط الثلاث ١٠٧,٣° تقريبًا.





سؤال

◄ هـل يمكـن أن يكون الشـكل الهرمي الثلاثي مشـتقًّا من الشـكل رباعي الأوجه المنتظم؟ وضِّح إجابتك.

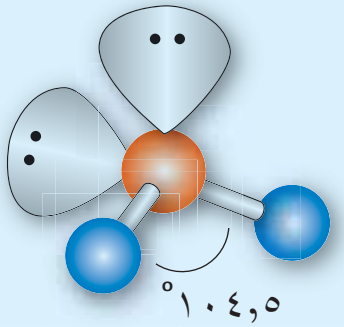
مثال (٢)

حدِّد الشكل الفراغي لجزيء الماء H_2O.

الحل

نكتب تركيب لويس لجزيء الماء على النحو الآتي: $H : \ddot{O} : H$

لاحِظ أنه توجد أربعة أزواج من الإلكترونات تحيط بذرة الأكسجين؛ زوجان منها رابطان، وآخران غير رابطين. ولكي تُحقِّق أقل تنافر؛ فإن هذه الأزواج تتوزَّع في اتجاه رؤوس شكل رباعي الأوجه منتظم، ويكون شكل جزيء الماء منحنيًا (زاويًا)؛ إذ تتوزَّع فيه ذرتا الهيدروجين على رأسين من رؤوس الشكل بزاوية مقدارها ١٠٤,٥° تقريبًا.



سؤال

◄ مُستعينًا بالجدول الدوري وتراكيب لويس، حدِّد الأشكال الفراغية لكلٍّ من الجزيئين الآتيين: PF_3 ، H_2S.

ثانيًا نظرية الربط التساهمي

يتضح ممّا سبق أن نظرية تنافر أزواج إلكترونات غلاف التكافؤ (VSEPR) فسَّرت أشكال الجزيئات المختلفة، ولكنّها لم تُمكِّنّا من معرفة كيف تتوزَّع إلكترونات الرابطة بين أغلفة التكافؤ

للذرتين المُكوِّنتين للرابطة. ولتفسير ذلك، فقد وُضِعت نظرية سُمِّيت نظرية الربط التساهمي (Valence Bond Theory)، وهي تنص على الآتي: «**عند اقتراب ذرتين من بعضهما فإن الأفلاك الذرية لغلافي تكافؤ الذرتين تتداخل، وتصبح إلكترونات الأفلاك المتداخلة منجذبة نحو نواتي الذرتين في الوقت نفسه، وتزداد الكثافة الإلكترونية في منطقة تداخل الأفلاك بين الذرتين، ممّا يؤدي إلى اقتراب النواتين من بعضهما، وانخفاض طاقتهما، فتتكوَّن رابطة تساهمية بينهما**».

تستند هذه النظرية إلى الافتراضات الآتية:

١ – عندما تتكوَّن رابطة تساهمية بين ذرتين يتداخل فلك تكافؤ من إحدى الذرتين مع فلك تكافؤ من الذرة الأخرى (يُقصَد بالتداخل أن تصبح منطقة من الفضاء المحيط بالنواتين مشتركة بين الفلكين).

٢ – يحدث التداخل بين فلكين نصف ممتلئين بالإلكترونات، وتكون الحركة المغزلية للإلكترونين في الفلكين المتداخلين متعاكسة، غير أنه يمكن حدوث تداخل بين فلك مملوء وفلك فارغ أحيانًا.

٣ – تعتمد قوة الرابطة على درجة التداخل بين الفلكين، وتتناسب طرديًّا معها.

٤ – الرابطة الناتجة من التداخل الرأسي بين الفلكين تُسمّى رابطة سيغما (σ)، وتكون فيها كثافة الإلكترونات على امتداد المحور الواصل بين نواتي الذرتين.

٥ – الرابطة الناتجة من التداخل الجانبي بين الفلكين تُسمّى رابطة باي (π)، وتكون فيها كثافة الإلكترونات على جانبي المحور الواصل بين نواتي الذرتين.

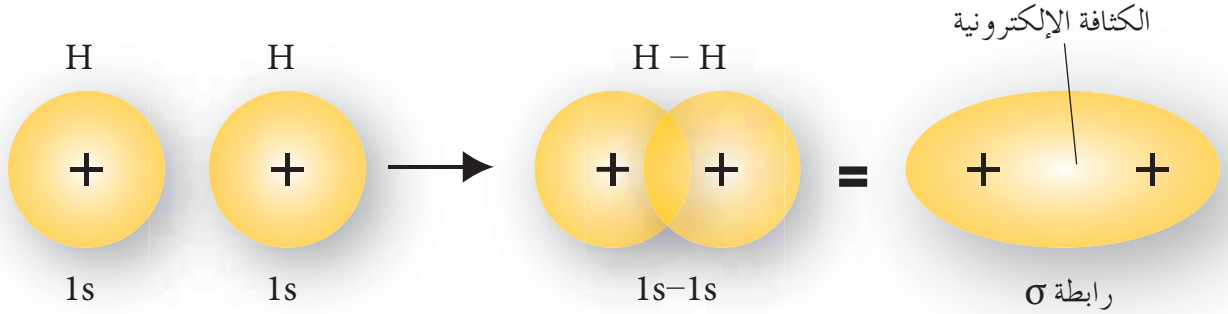
يمكن تمثيل تكوُّن الروابط في بعض الجزيئات البسيطة على النحو الآتي:

١ – تداخل فلكي s لذرتي الهيدروجين في جزيء H_2

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

$$_1H : 1s^1 \qquad \frac{\uparrow}{1s}$$

لاحِظ أن ذرة H تمتلك إلكترونًا منفردًا واحدًا في الفلك 1s؛ لذا تتكوَّن الرابطة في جزيء H_2 من تداخل الفلك 1s من الذرة الأولى مع الفلك 1s من الذرة الثانية كما في الشكل (٢ – ٤).



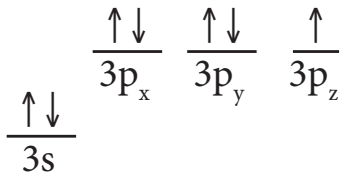
الشكل (٢ – ٤): تداخل فلكي 1s في جزيء الهيدروجين.

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

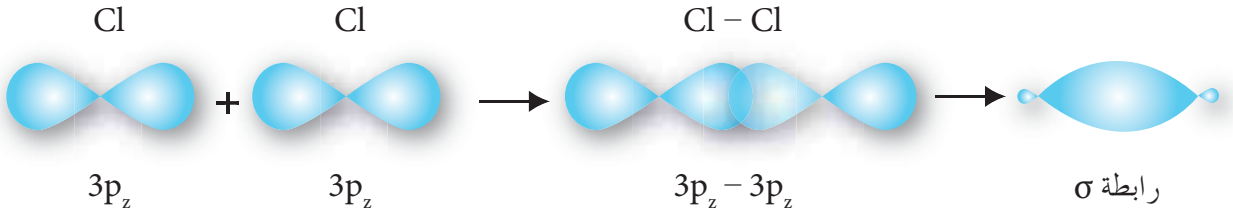
٢ – تداخل أحد أفلاك p من ذرة مع أحد أفلاك p من ذرة أخرى كما في جزيء Cl_2

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

$$_{17}Cl : [Ne]\ 3s^2\ 3p^5$$



لاحِظ أن التركيب الإلكتروني لذرة Cl يُبيِّن أنها تحوي إلكترونًا منفردًا في أحد أفلاك p مثل فلك $3p_z$، وأنه عند تكوُّن الرابطة يتداخل فلكا p المتقابلان من ذرتي الكلور تداخلًا رأسيًّا، وتزداد الكثافة الإلكترونية في منطقة التداخل على امتداد المحور الواصل بين نواتي الذرتين، وتتكوَّن الرابطة سيغما (σ) كما في الشكل (٢ – ٥).



الشكل (٢ – ٥): رابطة σ؛ تداخل فلكي $3p_z$ تداخلًا رأسيًّا في جزيء Cl_2.

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

لمعرفة نوع الأفلاك المتداخلة في جزيء HF، نكتب التركيب الإلكتروني لكلٍّ من الذرتين:

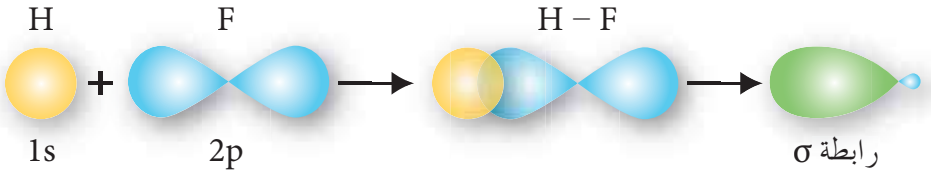
$_1H : 1s^1$ 1s ↑

2p$_x$ ↑↓ 2p$_y$ ↑↓ 2p$_z$ ↑

2s ↑↓

$_9F : [He]\ 2s^2\ 2p^5$

وعند تكوين الرابطة H–F يتداخل فلك 1s من ذرة H مع فلك 2p نصف الممتلئ 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.

لاحِظ أن عدد الروابط التي تُكوِّنها الذرة يطابق عدد أفلاكها نصف الممتلئة (عدد الإلكترونات المنفردة).

٤ – تداخل أفلاك p لذرتي الأكسجين في جزيء O_2

لتوضيح الارتباط في جزيء O_2، نفِّذ النشاط الآتي.

نشاط (٢–٢): الارتباط في جزيء الأكسجين O_2

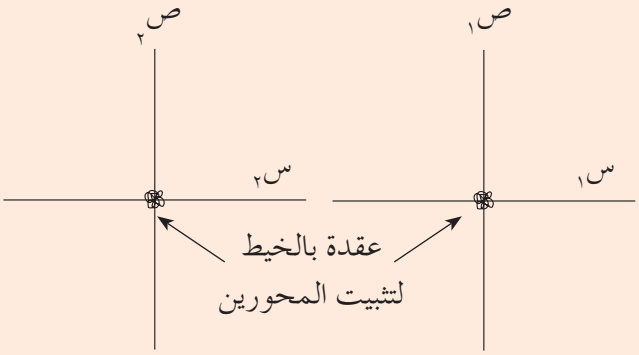
المواد والأدوات المطلوبة

أعواد خشبية، خيط.

الخطوات

١ – كوِّن الشكلين المجاورين باستخدام الأعواد الخشبية والخيط.

٢ – حاوِل أن تربط بين س$_1$ و س$_2$، هل يمكنك فعل ذلك؟



٣– حاوِل أن تربط بين ص$_1$ و ص$_2$ بحيث تبقى س$_1$ و س$_2$ مرتبطتين، هل يمكنك فعل ذلك؟

٤– حاوِل أن تقترح طريقة مناسبة لربط ص$_1$ و ص$_2$.

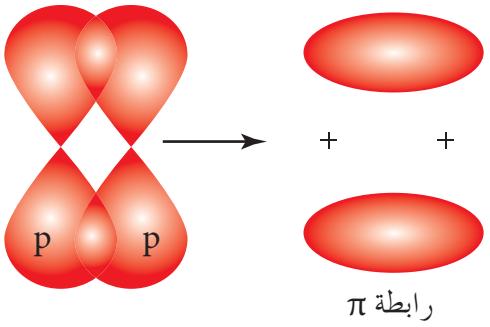
لتوضيح الترابط في جزيء الأكسجين، نكتب التركيب الإلكتروني لذرة الأكسجين:

$$\underset{2p_x}{\uparrow\downarrow} \quad \underset{2p_y}{\uparrow} \quad \underset{2p_z}{\uparrow}$$

$$\underset{2s}{\uparrow\downarrow}$$

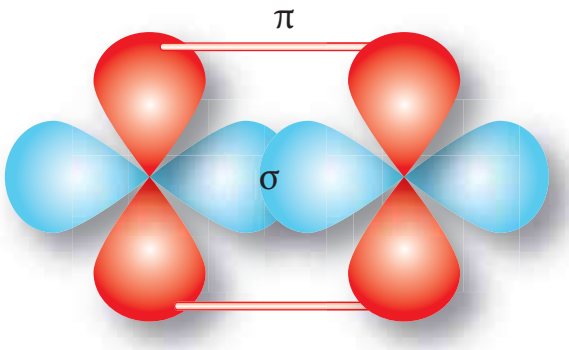
$${}_8O : [He]\ 2s^2\ 2p^4$$

لاحِـظ أن التركيب الإلكتروني لذرة O يُبيِّـن أنها تحتوى على إلكترونين منفردين في فلكين من أفلاك 2p، وينطبق الشيء نفسه على الذرة الثانية، وعند تكوُّن الرابطة يتداخل فلكا p المتقابلان على نفس المحور الواصل بين نواتي الذرتين، وتتكوَّن بينهما رابطة سيغما (σ) مُحقِّقةً أكبر تداخل ممكن بين الفلكين. أمّا الفلكان الآخران فلا يمكن أن يرتبطا برابطة سيغما (σ)، وأن يتداخلا رأسيًّا، وإنما يتداخـلان بشـكل جانبي، فتتكوَّن رابطة من نوع جديد تُسـمّى رابطة بـاي (π)، وفي هذه الحالة تتـوزَّع الكثافـة الإلكترونيـة بشـكل متماثل على جانبي (أعلى، وأسـفل) المحور الواصل بين نواتي الذرتيـن كما فـي الشـكل (٢ – ٧)، فترتبط ذرتا الأكسـجين في جـزيء O_2 برابطتين؛ إحداهما من نـوع σ، والأخرى من نـوع π، ممّا يجعل الترابط بينهما أقوى، وتُعَدُّ الرابطة بين ذرتي الأكسجين في هذه الحالة رابطة ثنائية.



الشكل (٢ – ٧): رابطة π؛ تداخل فلكي p جانبيًّا.

ويمكـن تمثيل الارتباط في جزيء O_2 كما في الشكل (٢ – ٨).

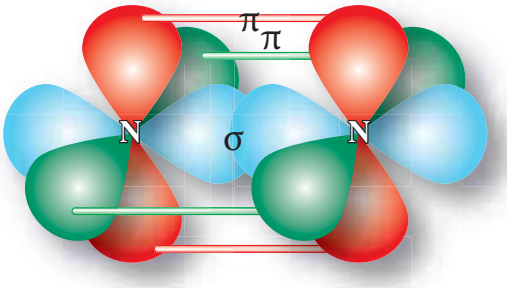


الشكل (٢ – ٨): رابطة σ ورابطة π في جزيء الأكسجين.

مـن الجديـر ذكره أنـه لا توجـد رابطة π مستقلة، وإنما توجد مرافقة للرابطة σ؛ فالرابطة الثنائية تشـمل رابطـة σ ورابطـة π، والرابطة الثلاثية تشمل رابطة σ ورابطتي π.

سؤال

- مَثِّل بالرسم الروابط في جزيء F_2، و HCl اعتمادًا على نظرية الربط التساهمي.
- ادرس الشكل (٢ – ٩) الذي يُبيِّن تكوُّن 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؟
  - ما نوع الأفلاك المشتركة في تكوين الروابط في جزيء N_2؟



الشكل (٢ – ٩): الروابط في جزيء N_2.

ثالثًا التهجين

استطاعت نظرية الربط التساهمي التي تعتمد على تداخل الأفلاك البسيطة أن تُفسِّر كيفية تكوُّن الروابط وأعدادها في بعض الجزيئات مثل: O_2، HCl، H_2، وتُفسِّر أشكال بعض الجزيئات مثل: جزيء الماء H_2O (منحنٍ)، وجزيء الأمونيا NH_3 (هرمي ثلاثي)، غير أنها لم تُقدِّم تفسيرًا مقبولًا للاختلاف الكبير بين مقدار الزاوية المتوقعة ٩٠° في جزيء الماء والأمونيا، ومقدار الزاوية الحقيقية في جزيء الماء ١٠٤,٥°، ومقدار الزاوية الحقيقية في جزيء الأمونيا، ١٠٧,٣° ، ولم تُقدِّم أيضًا تفسيرًا مقبولًا لعدد الروابط المُتكوِّنة في العديد من المركَّبات، مثل مركَّبات الكربون؛ لذا لجأ العلماء إلى تطوير هذه النظرية باستخدام مفهوم التهجين (Hybridization). ولتتعرَّف كيف فشلت هذه النظرية في تفسير عدد الروابط التي تُكوِّنها ذرة الكربون، نفِّذ النشاط (٢ – ٣).

نشاط (٢-٣): عدد الروابط التي تُكوِّنها 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 تعلَّمته عن التداخل البسيط لأفلاك التكافؤ، ما عدد الروابط التي يفترض أن تُكوِّنها ذرة الكربون؟ اكتب الصيغة المتوقعة لارتباط ذرة الكربون بذرات الهيدروجين. ما قيمة الزاوية المُتوقَّع تكوُّنها بين الروابط؟

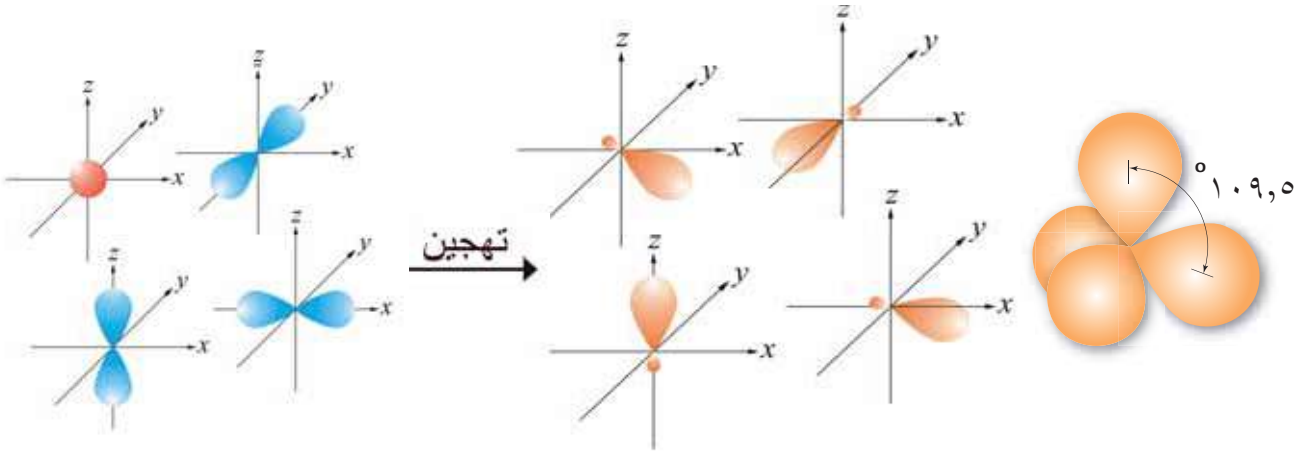
٣ – تعرَّف نموذجي ذرة الكربون وذرة الهيدروجين في صندوق نماذج الذرات، ثم كَوِّن شكلًا يُمثِّل ارتباط الكربون بالهيدروجين.

- ما عدد ذرات الهيدروجين في الشكل الذي كَوَّنته؟ وما الشكل الفراغي للجزيء؟ وما مقدار الزاوية بين الروابط في الجزيء؟
- هل الصيغة المُتوقَّعة تُطابِق صيغة المركَّب الذي كَوَّنته باستخدام نماذج الذرات؟
- اقترح تفسيرًا مقبولًا للنتائج التي توصَّلت إليها.

عند كتابة التركيب الإلكتروني لذرة الكربون يَتبيَّن أنها تمتلك إلكترونين منفردين، وهذا يعني أنها قادرة على تكوين رابطتين، وقد لاحظت في النشاط (٢ – ٣) أنها تُكوِّن أربع روابط متماثلة، ممّا يعني وجود أربعة أفلاك نصف ممتلئة ومتكافئة في غلاف التكافؤ لذرة الكربون، تتداخل مع أفلاك 1s لذرات الهيدروجين الأربع مُكوِّنةً مركَّبًا صيغته CH_4، فكيف حدث ذلك؟

١ – التهجين من نوع sp^3

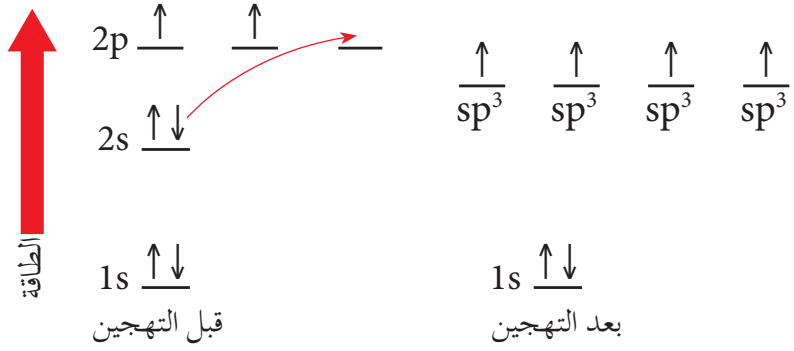
لتفسير تكوُّن الروابط في جزيء CH_4 (أصغر مركَّب هيدروكربوني مستقر في الطبيعة)، افترض واضعو نظرية الربط التساهمي حدوث اندماج بين أفلاك 2p ، و2s في ذرة الكربون، وإنتاج أربعة أفلاك جديدة متماثلة في الشكل والطاقة تُسمّى الأفلاك الهجينة، ويشارك كل فلك هجين فيها في تكوين رابطة تساهمية من نوع σ مع إحدى ذرات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



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

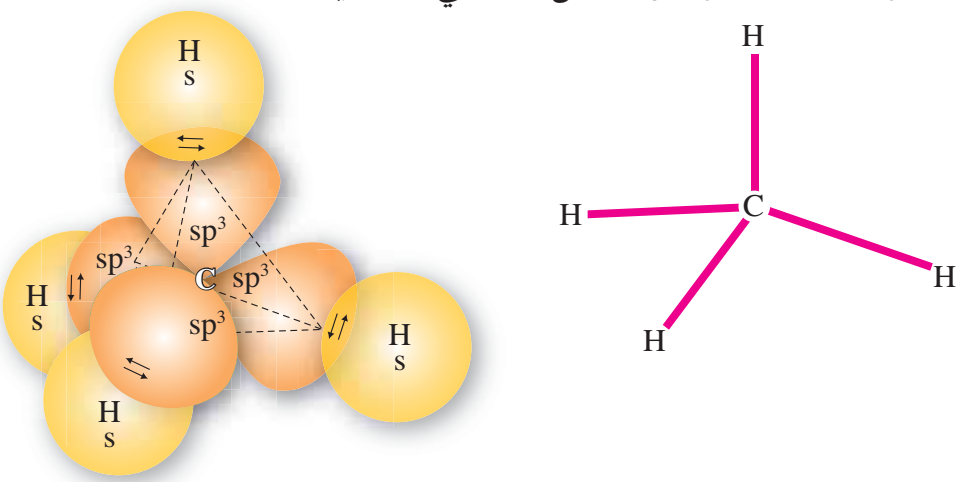
ولكن، كيف تتوزَّع إلكترونات التكافؤ بين الأفلاك الهجينة؟ وكيف تتغير طاقة هذه الأفلاك؟ وما أثر ذلك في بناء الجزيئات؟

للإجابة عن هذه الأسئلة، نكتب أولًا التركيب الإلكتروني لذرة الكربون: $_6C: 1s^2\ 2s^2 2p^2$، ثم نفترض انتقال إلكترون من فلك 2s إلى فلك 2p الفارغ، واندماج ثلاثة أفلاك من نوع 2p مع فلك واحد من نوع 2s في ذرة الكربون لإنتاج أربعة أفلاك جديدة متماثلة في الشكل والطاقة، ومختلفة في الاتجاه الفراغي، اصطُلِح على التعبير عنها بالرمز sp^3، حيث يشارك كلٌّ منها في تكوين رابطة تساهمية مع ذرة هيدروجين، علمًا بأن تسمية الفلك الهجين تعتمد على عدد الأفلاك المندمجة في تكوينه ونوعها. ولمّا كان الفلك الهجين في هذه الحالة ينتج من اندماج الفلك s مع ثلاثة أفلاك p، فإن الفلك الهجين يُسمّى sp^3، ويُسمّى التهجين الحاصل لأفلاك الذرة المركزية sp^3، ويُوضِّح الشكل (٢ – ١١) طاقة الأفلاك الهجينة مقارنةً بطاقة أفلاك s و p.



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

تتكـوَّن الرابطة بين ذرة الهيدروجـين وذرة الكربون من تداخل الفلك الهجين sp^3 من ذرة الكربـون والفلك 1s مـن ذرة الهيدروجين، وتتوزَّع أزواج إلكترونات الرابطة حول الذرة المركزية في الفراغ باتجاه رؤوس شـكل رباعي الأوجه منتظم، حيث يكون التنافر بينها أقل ما يمكن، فتكون الزاوية بين الروابط في الجزيء ١٠٩,٥°، ويكون الشكل الفراغي لجزيء الميثان CH_4 رباعي الأوجه منتظمًا، ويُوضِّـح الشـكل (٢ – ١٢) توزيع أزواج إلكترونات الرابطة حول ذرة الكربون والشكل الفراغي للجزيء.



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

سؤال

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

يَتبيَّن من دراسة جزيء CH_4 أن الذرة المركزية محاطة بأربعة أزواج من الإلكترونات، وأن كلًّا مـن ذرة الأكسـجين والنيتروجين في جزيء الماء والأمونيا محاطـة بأربعة أزواج من الإلكترونات، فما نوع التهجين في جزيء الماء والأمونيا؟

للإجابة، نفِّذ النشاط (٢–٤) بمشاركة زملائك في مجموعة العمل.

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

المواد والأدوات المطلوبة

الجدول الدوري، صندوق نماذج الذرات.

الخطوات

١ – اكتب التركيب الإلكتروني ورموز لويس لكلٍّ من ذرة النيتروجين والأكسجين.

٢ – ما عدد الإلكترونات المنفردة في هاتين الذرتين؟

٣ – ما الأفلاك التي يُتوقَّع تداخلها عند تكوين الرابطة O – H، و N – H؟ وما مقدار الزاوية المُتوقَّعة بين الروابط في كل مركَّب؟

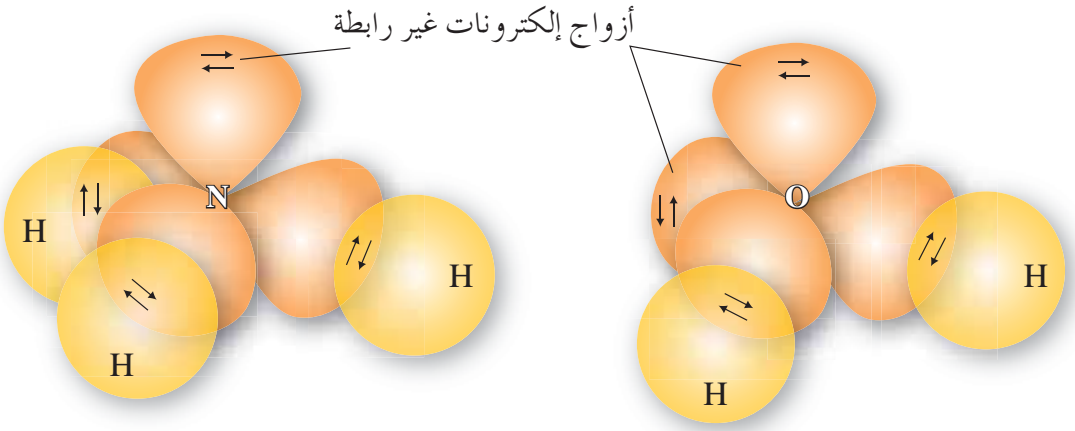
٤ – استخدم نماذج الذرات لتتعرَّف نموذج كلٍّ من: ذرة N، وذرة O.

٥ – ابنِ نموذجًا يُوضِّح طريقة ارتباط (النيتروجين مع الهيدروجين)، و(الأكسجين مع الهيدروجين). ثمَّ سَمِّ الشكل الناتج لكلٍّ منهما.

- ما مقدار الزاوية بين الأفلاك المُكوِّنة للروابط في كلٍّ من الجزيئين؟
- ما عدد أزواج الإلكترونات غير الرابطة حول ذرة النيتروجين N، وذرة الأكسجين O؟
- هل تتوقَّع حدوث تهجين لأفلاك ذرة النيتروجين والأكسجين؟ ما سبب ذلك في رأيك؟

٦ – ارسم شكلًا توضيحيًّا لكلٍّ من المركَّبين الناتجين.

إن عدد الإلكترونات المنفردة في كلٍّ من ذرتي N ،وO يطابق عدد الروابط التي تُكوِّنها كل ذرة منهما، غير أن الزاوية بين الرابطتين في الجزيء H_2O تبلغ ١٠٤,٥°، وهي أكبر بكثير من الزاوية ٩٠°(التي يُفترَض أن تكون في حال تداخل الأفلاك البسيطة)، وهي أيضًا أقرب ما يكون إلى الزاوية ١٠٩,٥° المرتبطة بالتهجين sp^3، أمّا الزاوية بين الروابط في جزيء NH_3 فتبلغ ١٠٧,٣°، وهي أقرب إلى الزاوية ١٠٩,٥°، وهذا يُفسَّر بحدوث تهجين من نوع sp^3 في ذرتي الأكسجين والنيتروجين، ويُبيِّن الشكل (٢ – ١٣) توزيع الروابط وأزواج الإلكترونات حول الذرة المركزية في هذين الجزيئين، والشكل الفراغي لكلٍّ منهما.



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

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

قد يتبادر إلى الذهن السؤال الآتي: على الرغم من أن تهجين ذرة الأكسجين في جزيء الماء هو من نوع sp^3 إلّا أنّ الزاوية بين الروابط تبلغ ١٠٤,٥° . كيف تُفسّر ذلك؟

يَتبيَّن من الشكل (٢–١٣/ أ) وجود زوجين من الإلكترونات غير الرابطة حول ذرة الأكسجين يخضعان لجذب نواة ذرة الأكسجين فقط، ويحتلان حيّزًا حول النواة أكبر من ذلك الذي تحتله إلكترونات الرابطة التي تخضع لجذب نواتي الذرتين H، وO المُكوِّنتين للرابطة، وبذلك فإنها تتنافر مع أزواج إلكترونات الروابط، ممّا يُسبِّب انخفاضًا قليلًا عن مقدار الزاوية ١٠٩,٥° المرتبطة بالتهجين sp^3.

سؤال

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

٢ – التهجين من نوع sp^2

وفقًا لنظرية الربط التساهمي، فإن الأفلاك الهجينة sp^3 تنتج من تداخل الفلك s مع ثلاثة أفلاك p، فهل يمكن تهجين فلكين من p وفلك من s؟ وفي أيِّ الذرات يحدث مثل هذا النوع من التهجين؟

لتتعرَّف ذلك، أجب عن الأسئلة الآتية التي تتعلّق بجزيء BCl_3:

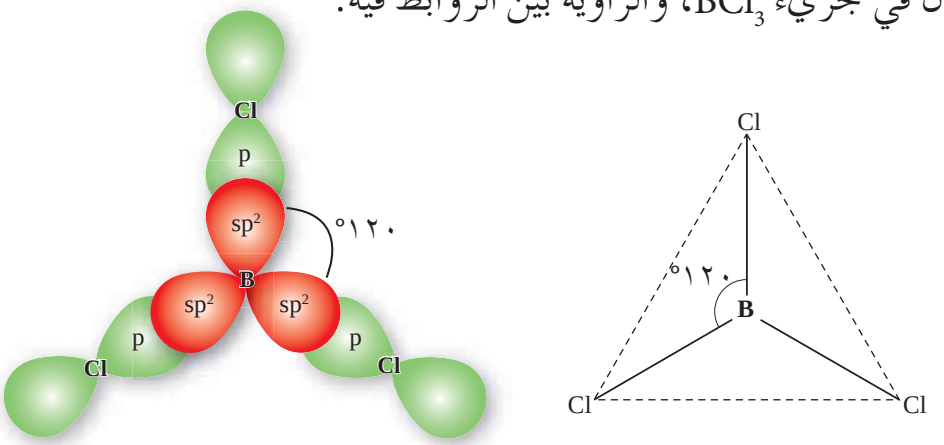
- اكتب التركيب الإلكتروني ورمز لويس لذرة البورون B.
- ما عدد الإلكترونات المنفردة في ذرة B؟

- اكتب تركيب لويس لجزيء BCl_3.
- بناءً على ما تعلَّمته عن تداخل الأفلاك البسيطة، ما عدد الروابط التي يُفترَض أن تُكوِّنها ذرة B؟
- فسِّر سبب تكوين ذرة البورون لثلاث روابط مع ذرات الكلور.

عند كتابة التركيب الإلكتروني لذرة البورون $_5B: 1s^2 2s^2 2p^1$ يُلاحَظ أنها تمتلك إلكترونًا منفردًا واحدًا، في حين تحاط ذرة البورون في جزيء BCl_3 بثلاث روابط تساهمية، وحتى تتمكَّن من تكوين تلك الروابط؛ فإن عليها امتلاك ثلاثة إلكترونات منفردة، فكيف يحدث ذلك؟

تفترض نظرية الربط التساهمي أن إلكترونًا من الفلك 2s ينتقل إلى أحد أفلاك 2p الفارغ في ذرة البورون، ثم يحدث اندماج بين فلك 2s مع فلكي 2p لتكوين ثلاثة أفلاك هجينة من نوع sp^2 على النحو الآتي:

ولتحقيق أقل تنافر بينها، تتخذ أفلاك sp^2 شكل مثلث متساوي الأضلاع (مثلثًا مسطحًا). تُكوِّن ذرة البورون ثلاث 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 يُبيِّن كيف تتوزَّع 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.

سؤال

- ما الأفلاك المتداخلة في تكوين الرابطة B – Cl؟
- ما مبررات افتراض حدوث التهجين في جزيء BCl_3؟

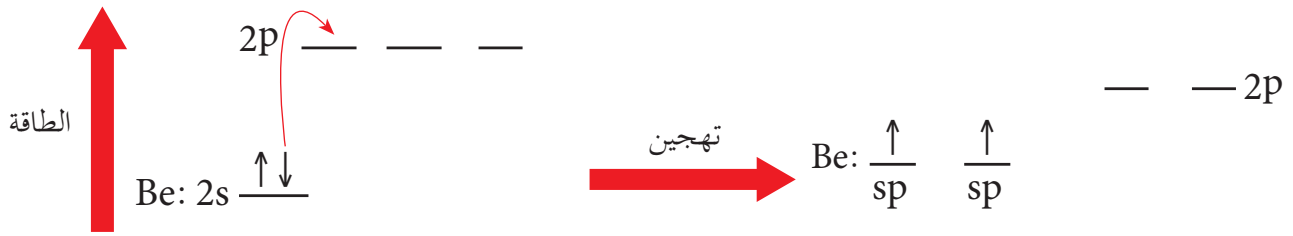
٣ – التهجين من نوع sp

إضافةً إلى نوعي التهجين sp^2 و sp^3 اللذينِ تعرَّفتهما، يوجد نوع ثالث من التهجين هو sp، فكيف يتكوَّن هذا النوع من التهجين؟ وأيّ الذرات تستخدمه؟ وما مبررات حدوثه؟ لتتعرَّف ذلك، ادرس التركيب الإلكتروني لذرة البريليوم Be، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة.

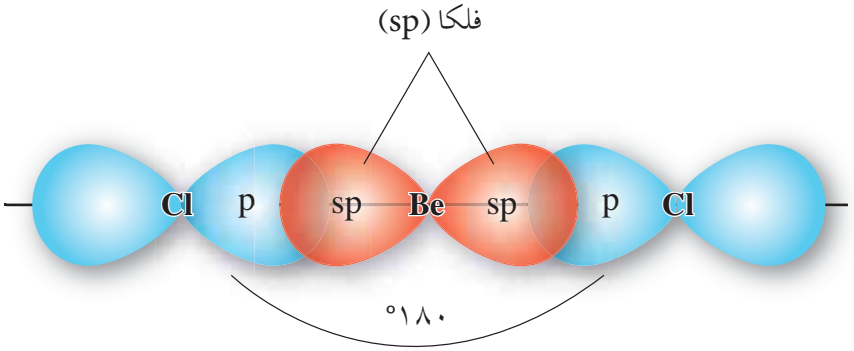
$$Be: 1s^2\ 2s^2$$

- هل تمتلك ذرة البريليوم إلكترونات منفردة؟
- كيف تُفسِّر تكوين ذرة البريليوم رابطتين مع ذرتي الكلور في جزيء $BeCl_2$؟

إن تكوين أيّ ذرة عددًا من الروابط يحتاج إلى عدد من الإلكترونات المنفردة يساوي عدد الروابط المُتكوِّنة؛ لذا فإنه يتعيَّن 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 اندماج فلك 2s مع فلك واحد من أفلاك 2p؛ ليُكوِّنا فلكين جديدين متماثلين من نوع sp على النحو الآتي:



عند تكوُّن الروابط في جزيء $BeCl_2$ فإن زوجي الإلكترونات المشتركيْنِ في تكوين الرابطة يتوزَّعان حول ذرة البريليوم في اتجاهين متعاكسين على خط واحد، بحيث يكون التنافر بينهما أقل ما يمكن، وعليه فإن مقدار الزاوية بين الرابطتين يبلغ ١٨٠°، والشكل الفراغي لجزيء $BeCl_2$ يكون خطيًّا، انظر الشكل (٢ – ١٥).



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

سؤال

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

لاحِظ أن من مبررات افتراض حدوث التهجين:

١ – عدم مطابقة عدد الروابط التي تُكوِّنها الذرة لعدد الإلكترونات المنفردة فيها.

٢ – اختلاف مقدار الزاوية بين الروابط في الجزيء عمّا هو مُتوقَّع من الزاوية بين أفلاك الذرة المركزية المشتركة في تكوين الروابط.

مستعينًا بالعبارات المفتاحية الآتية: (Hybridization in ethene and ethyne ، Hybridization ، التهجين) ، ابحث أنت وزملاؤك في الشبكة المعلوماتية عن:

١ – فلم يوضح كيفية تكون الأفلاك المهجنة من نوع: sp^3 ، وsp^2 ، و sp.

٢– نوع تهجين الذرة المركزية في جزيئات: C_2H_4، و C_2H_2.

تعرَّفت من نظرية الربط التساهمي أن الرابطة التساهمية تتكوَّن من تداخل فلكين، كلٌّ منهما يمتلك إلكترونًا منفردًا واحدًا، مثل: HBr، وH_2O، وCl_2، وغيرها من الجزيئات، فهل تتكوَّن الرابطة التساهمية بالطريقة نفسها في المواد جميعها؟ وكيف تُفسِّر تكوُّن الرابطة التساهمية عند

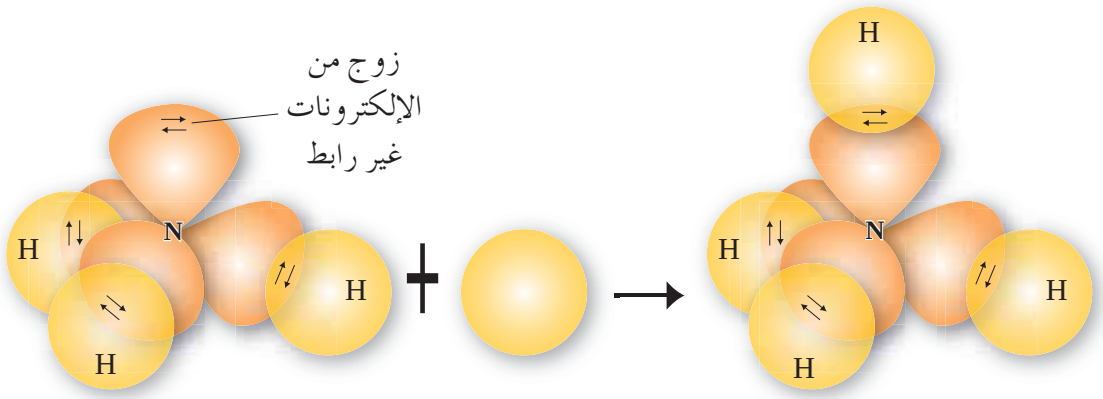
تفاعـل جزيء الأمونيا NH_3 مع أيون الهيدروجين H^+ لتكوين أيون الأمونيوم NH_4^+؟ علمًا بأن الروابط التساهمية الأربع في الأيون متكافئة.

يمكن تمثيل التفاعل بين الأمونيا وأيون الهيدروجين بالمعادلة الآتية:

$$NH_{3\,(g)} + H^+_{(aq)} \longrightarrow NH_4^+{}_{(aq)}$$

لاحِظ أن ذرة النيتروجين في جزيء الأمونيا NH_3 تمتلك زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة في فلـك sp^3 الهجـين، وأن أيون الهيدروجين يمتلك فلكًا فارغًـا، فكيف يمكن أن تتكوَّن بينهما رابطة؟

يمكـن تفسـير تَكـوُّن الرابطـة بينهمـا عـن طريـق تداخـل فلـك 1s الفـارغ مـن أيـون الهيدروجـين مـع فلـك sp^3 الهجين مـن ذرة النيتروجين الـذي يمتلك زوجًا مـن الإلكترونات كمـا في الشـكل (٢ – ١٦)، ويُطلَـق علـى هـذا النـوع مـن الروابـط اسـم **الرابطـة التناسقيـة (Coordinate Covalent Bond)**، **التـي تتكـوَّن مـن تداخل فلك فارغ من إحـدى الذرات مع فلك يمتلـك زوجًـا من الإلكترونات غير الرابطة من ذرة أخرى**، علمًا بأن هذه الرابطة لا تختلف عن الرابطة التساهمية في صفاتها.



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

سؤال

◄ وضِّح بالرسم كيف تتكوَّن الرابطة التناسقية في أيون الهيدرونيوم H_3O^+.

أسئلة الفصل

١ – وضِّح المقصود بكلٍّ من: التهجين، والرابطة التناسقية.

٢ – حدِّد الشكل الفراغي لكلٍّ من المركَّبات الآتية:

$H:\ddot{X}:H$ ، $H:\dot{\underset{\dot{H}}{\underset{H}{\ddot{W}}}}:H$ ، $H:\dot{\underset{\dot{H}}{\underset{H}{\ddot{G}}}}:H$ ، $H:\dot{\underset{\dot{H}}{\underset{H}{\ddot{M}}}}:H$

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

أ) $\ddot{O}=C=\ddot{O}$ ب) $H_2C=CH_2$ جـ) $H-C\equiv\ddot{N}$ ؟

٤ – ما نوع تهجين الذرة المركزية في الجزيئات الآتية:

أ) OF_2 ب) NF_3 جـ) BH_3 د) CCl_4؟

٥ – لديك العناصر الافتراضية الآتية: $_{9}T$ ، $_{15}Y$ ، $_{4}Z$.

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

أ) نوع التهجين في الذرة المركزية.

ب) شكل الجزيء.

جـ) الزاوية بين الروابط.

د) الأفلاك المُكوِّنة للرابطتين: Z–T، وY–T.

هـ) عدد الأزواج غير الرابطة التي تمتلكها الذرة المركزية.

٦ – فسِّر ما يأتي:

أ) بالرغم من أن ذرة الأكسجين تستخدم أفلاك sp^3 الهجينة إلّا أنّ مقدار الزاوية بين الروابط في الجزيء Cl_2O أقل من ١٠٩,٥° بقليل.

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

٧ – يرتبط عنصرا X، وY. (وهما من عناصر الدورة الثانية) بالهيدروجين (ع. ذ = ١)، فيتكوَّن الجزيئان: YH_4، و XH_3 بافتراض التهجين sp^3 لكلٍّ من الذرتين المركزيتين: (Y، وX):

أ) ما العدد الذري لذرتي Y، وX؟

ب) سَمِّ الشكل الهندسي للجزيء YH_4، وXH_3

جـ) ما عدد أزواج الإلكترونات غير الرابطة للذرة المركزية X؟

د) ما مقدار الزاوية بين الروابط في جزيء YH_4؟

الفصل الثاني

٢

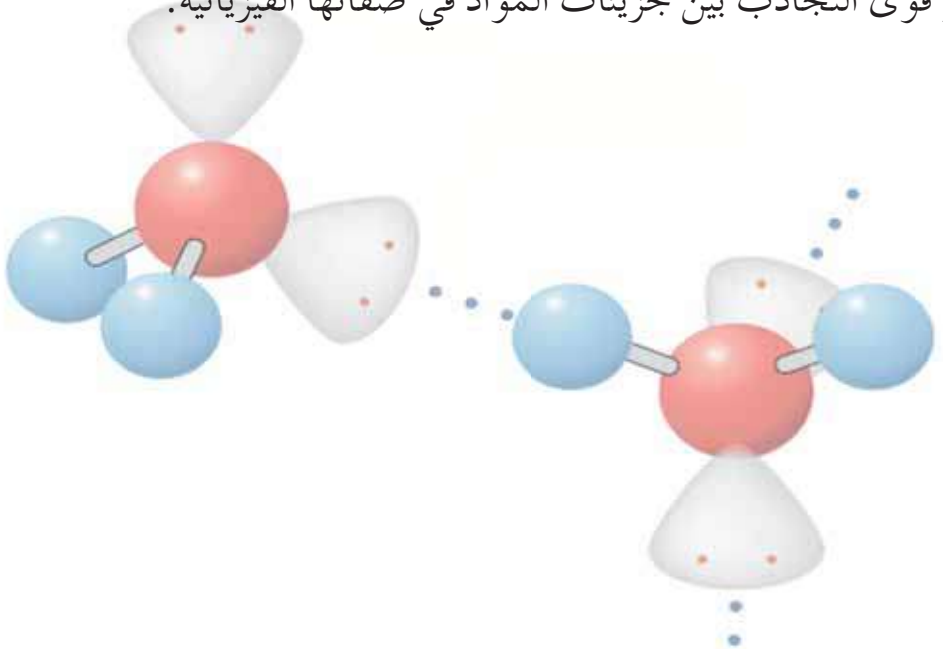
قوى التجاذب بين الجزيئات

Intermolecular Forces

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

ستتمكَّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُوضِّح المقصود بقطبية الجزيء.
- تستنتج العوامل التي تعتمد عليها قطبية الجزيء.
- تُوضِّح أنواع قوى التجاذب بين الجزيئات والعوامل التي تعتمد عليها.
- تُحدِّد أثر قوى التجاذب بين جزيئات المواد في صفاتها الفيزيائية.



أولًا قطبية الجزيئات

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

تنشأ قطبية الجزيء بسبب عدم الانتظام في توزيع الكثافة الإلكترونية في الجزيء، ممّا يُكسِبه عزمًا ثنائي القطب. ويُقصَد بالعزم ثنائي القطب: **المقياس الكمي لقطبية الرابطة أو الجزيء، الذي يعتمد على مقدار الشحنة الجزئية على طرفي القطب، والمسافة بين الشحنتين الجزئيتين في الرابطة،** علمًا بأن العزم ثنائي 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 قطبيًّا، أم أن لشكل الجزيء دورًا في قطبيته؟ وما شروط قطبية الجزيئات في الجزيئات ثنائية الذرات؟ وهل تتماثل الشروط نفسها في الجزيئات عديدة الذرات؟

١ – قطبية الجزيئات ثنائية الذرات

أيّ الجزيئات الآتية تتوقَّع أن يكون قطبيًّا: HF ، أم H_2 ، أم HBr ، أم Cl_2؟ وهل يكفي وجود رابطة قطبية حتى يكون الجزيء قطبيًّا؟

لاحِظ أن كلًّا من جزيء HBr، وHF يمتلك روابط قطبية، وهذا يكفي ليكون الجزيء قطبيًّا.

٢ – قطبية الجزيئات عديدة الذرات

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

أ – ارسم الشكل البنائي لكلٍّ من الجزيئات الآتية: BeF_2، H_2O، BCl_3، CF_4.

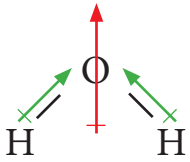
ب – مثِّل قطبية الروابط في كل جزيء باستخدام الأسهم.

جـ – أيّ الجزيئات السابقة قطبي؟ وأيّها غير قطبي؟ وضِّح ذلك بالرسم.

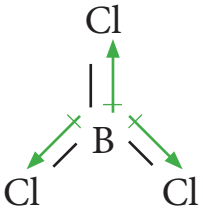
لاحِظ أن قطبية الرابطة ليست شرطًا كافيًا لقطبية الجزيء؛ فبالرغم من أن الرابطة في جزيء BeF_2 قطبية إلّا أنّ جزيء BeF_2 غير قطبي؛ لأن محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب للروابط تساوي صفرًا.

$$F \leftarrow Be \rightarrow F$$

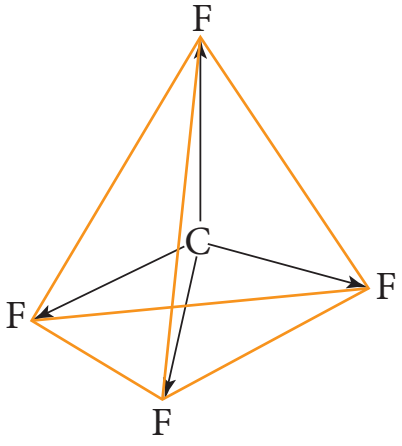
أمّا في جزيء H_2O المنحني فإن محصلة ثنائيات الأقطاب للروابط فيه لا تساوي صفرًا؛ لذا يُعَدُّ الماء جزيئًا قطبيًّا.



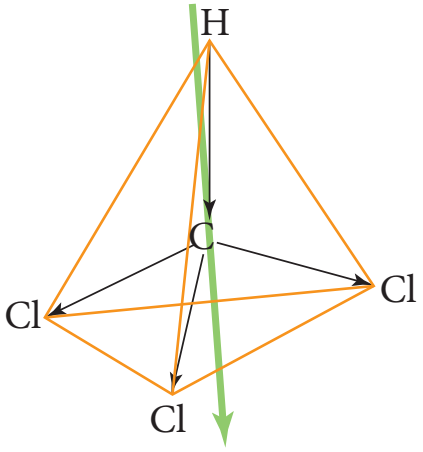
وعند رسم الشكل الهندسي لجزيء BCl_3 يُلاحَظ أن محصلة ثنائيات الأقطاب للروابط فيه تساوي صفرًا؛ لذا فإن جزيء BCl_3 غير قطبي.



تتوقف محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب للروابط على شكل الجزيء؛ فاعتمادًا على اتجاه عزوم ثنائيات الأقطاب للروابط في جزيء CF_4 يكون الجزيء غير قطبي؛ لأن محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب تساوي صفرًا، في حين يكون جزيء الكلوروفورم $CHCl_3$ قطبيًّا؛ لأن محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب فيه لا تساوي صفرًا، ويُوضِّح الشكل (٢–١٧) محصلة العزوم القطبية في هذه الجزيئات.



الشكل (٢ – ١٧/ أ): اتجاه عزوم ثنائيات الأقطاب في جزيء CF_4.



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

سؤال

- ارسم أشكال الجزيئات الآتية، مُبيِّنًا أيّ هذه الجزيئات له خصائص قطبية:
  $SiCl_4$، BF_3، PCl_3، H_2S، BeH_2.

ثانيًا

أنواع قوى التجاذب بين الجزيئات

تعرَّفت في الصف العاشر وجود روابط مختلفة تربط الذرات بعضها ببعض في المركَّبات، فجزيء الماء مثلًا يتكوَّن من ذرتي هيدروجين ترتبطان بروابط تساهمية مع ذرة أكسجين. ولكن، ما علاقة كل جزيء 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 التحكُّم في خصائص المادة؟ يمكن تصنيف قوى التجاذب بين الجزيئات إلى ثلاثة أنواع رئيسة، هي:

١ – قوى التجاذب بين الجزيئات ثنائيات الأقطاب

لتتعرَّف هذا النوع من قوى التجاذب، نفِّذ النشاط (٢ – ٥).

نشاط (٢–٥): تمييز المركَّبات التي تتكوَّن من جزيئات ثنائيات الأقطاب

المواد والأدوات المطلوبة

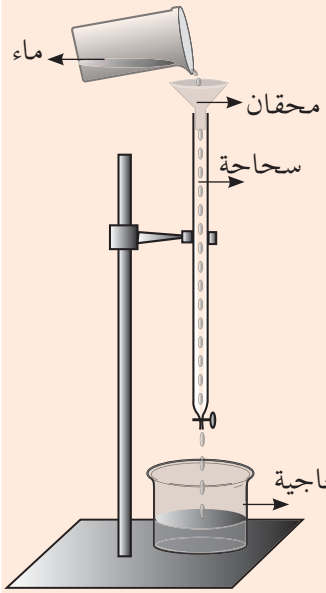
عبوة ماء بلاستيكية فارغة، سحاحة، حامل، ماسك، قمع ، ماء، CCl_4، كأس زجاجية.

الخطوات

١ – ثَبِّت 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).

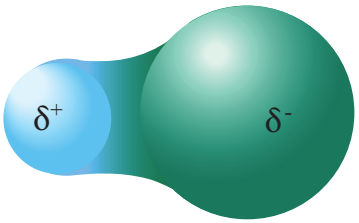


٤ – ادلك العبوة البلاستيكية بشعر رأسك، (أو بقطعة من الصوف)، ثم قَرِّبها من الماء، ماذا حصل لمسار الماء في أثناء نزوله؟ قَدِّم تفسيرًا لذلك.

٥ – كَرِّر الخطوات السابقة باستخدام CCl_4، ثم دَوِّن ملاحظاتك.

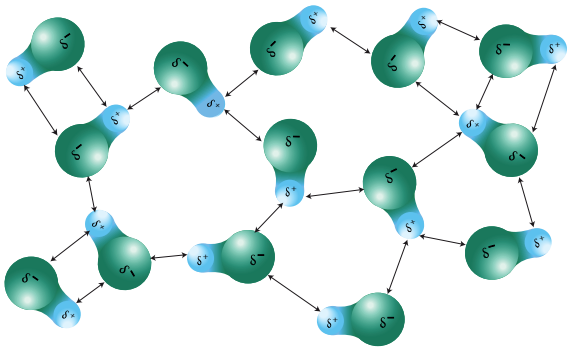
- أيّ المركَّبين انجذب نحو العبوة البلاستيكية؟
- أيّ المركَّبين السابقين قطبي؟ وأيّهما غير قطبي؟
- اكتب استنتاجك.

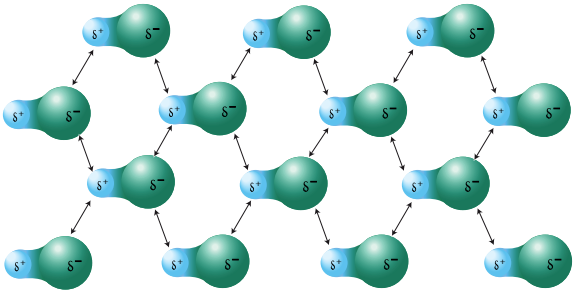
درست في هذا الفصل قطبية الجزيئات، وتعرَّفت أن الجزيء يكون قطبيًّا إذا كانت محصلة عزوم ثنائيات الأقطاب للروابط في الجزيء لا تساوي صفرًا، وهذا يعني أن الكثافة الإلكترونية تتوزَّع بشكل غير متناسق في الجزيء، بحيث تكون الكثافة الإلكترونية على أحد طرفي الجزيء أعلى منها على الطرف الآخر، فيحمل هذا الطرف شحنة جزئية سالبة (δ^-)، وتقل الكثافة الإلكترونية على الطرف الآخر، فيحمل شحنة جزئية موجبة (δ^+)؛ لذا تُسمّى 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 ثنائي القطب.

يَتبيَّن من النشاط السابق أن جزيء الماء يمتلك خصائص كهربائية تجعل جزيئاته تتأثر بعبوة البلاستيك المدلوكة، في حين لا تمتلك جزيئات CCl_4 مثل هذه الخصائص؛ لأنها غير قطبية. ولكن، ما نوع قوى التجاذب التي تربط جزيئات ثنائيات الأقطاب بعضها ببعض؟ لتتعرَّف ذلك، ادرس الشكل (٢ – ١٩) الذي يُمثِّل جزيئات ثنائيات الأقطاب لمادة ما في الحالتين: السائلة، والصُّلْبة.


(أ) الحالة السائلة.


(ب) الحالة الصُّلْبة.

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

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

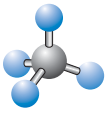
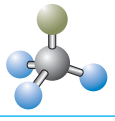
إن التنافـر بيـن الأقطاب المتشـابهة مُتوقَّع، ولكنّ الجزيئات تترتَّب بطريقة تجعل فرصـة التجاذب أكبر ما يمكن، ويظهر هذا الترتيب للجزيئات ثنائيات الأقطاب بشـكل واضـح في الحالة الصُّـلْبة، انظر الشـكل (٢–١٩/ ب)، وتظهر هذه القوى بوضوح عندما تكون المسافات البينية بين الجزيئات قليلة نسبيًّا.

سؤال

- في أيّ الحالتين المُوضَّحتين في الشكل (٢ – ١٩) تكون:
  - الجزيئات أكثر عشوائية في أوضاعها وحركاتها؟
  - المسافات بين الجزيئات أقل؟
  - قوى التجاذب بين الجزيئات أقوى؟
  - الطاقة الحركية للجزيئات أقل؟
- أيّ المركَّبـات الآتيـة تتوقَّع أن ترتبط جزيئاتها بقوى تجاذب ثنائيات الأقطاب في الحالة السائلة: Cl_2O ، CF_4 ، HBr ، NCl_3؟

لتتعـرَّف كيف تُؤثِّر قوى تجـاذب ثنائيات الأقطاب في الخصـائص الفيزيائية للجزيئات، ادرس الجدول (٢ – ١)، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة.

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

صيغة الجزيء	الشكل الفراغي	درجة الغليان (°س)
CH_4		١٦١–
CH_3F		٧٨–

- أيّ الجزيئين درجة غليانه أعلى: CH_4 أم CH_3F؟
- ما نوع قوى التجاذب في كلٍّ منهما؟

يَتبيَّـن من الجدول أن للجزيئـات القطبية درجات غليان أعلى منها للجزيئات غير القطبية؛ إذ تحتـاج إلـى كمية أكبر من الطاقة للتغلب على قوى التجاذب بين جزيئاتها، وهذا يؤدي إلى ارتفاع درجات غليانها مقارنةً بالجزيئات غير القطبية.

٢ – الرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond

عند مقارنة مركَّب الفلوروميثان CH_3F بالميثانول CH_3OH يُلاحَظ أن المركَّبين قطبيان، وأنهما متقاربان في كتلتيهما المولية (٣٤ للفلوروميثان، و٣٢ للميثانول)، وأنهما متقاربان أيضًا في العزم ثنائي القطب لكلٍّ منهما (١,٨١ ديباي للفلوروميثان، و١,٧٠ ديباي للميثانول)، وهذا يجعلنا نتوقَّع أن هذين المركَّبين 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°س)، وهو يوجد في الحالة الغازية في الظروف العادية، في حين أن درجة غليان الميثانول (٦٥°س)، وهو سائل في الظروف نفسها، وهذا يعني وجود قوى تجاذب أخرى في الميثانول تزيد من درجة غليانه.

لتتعرَّف هذا النوع من قوى التجاذب، نفِّذ النشاط (٢–٦).

نشاط (٢–٦): الترابط الهيدروجيني بين الجزيئات

ادرس الجدول (٢–٢) الذي يُمثِّل مقارنة بين درجة الغليان لثلاثة أزواج من المواد المتناظرة ، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

- حدِّد العناصر الثلاثة التي لها أعلى كهرسلبية بناءً على جدول الكهرسلبية في صفحة (٥٠)؟
- أيّ الجزيئات الواردة في هذا الجدول يحتوي على أحد العناصر التي توصَّلت إليها من السؤال الأول؟
- مثِّل بالرسم هذه الجزيئات، مُبيِّنًا عليها الشحنات الجزئية: الموجبة، والسالبة.
- ما الذرة المشتركة بين الجزيئات السابقة؟
- إلامَ يُعزى الفرق الكبير في درجتي غليان كل زوج من الجزيئات في الجدول؟

الجدول (٢ – ٢): مقارنة درجات غليان مواد متناظرة.

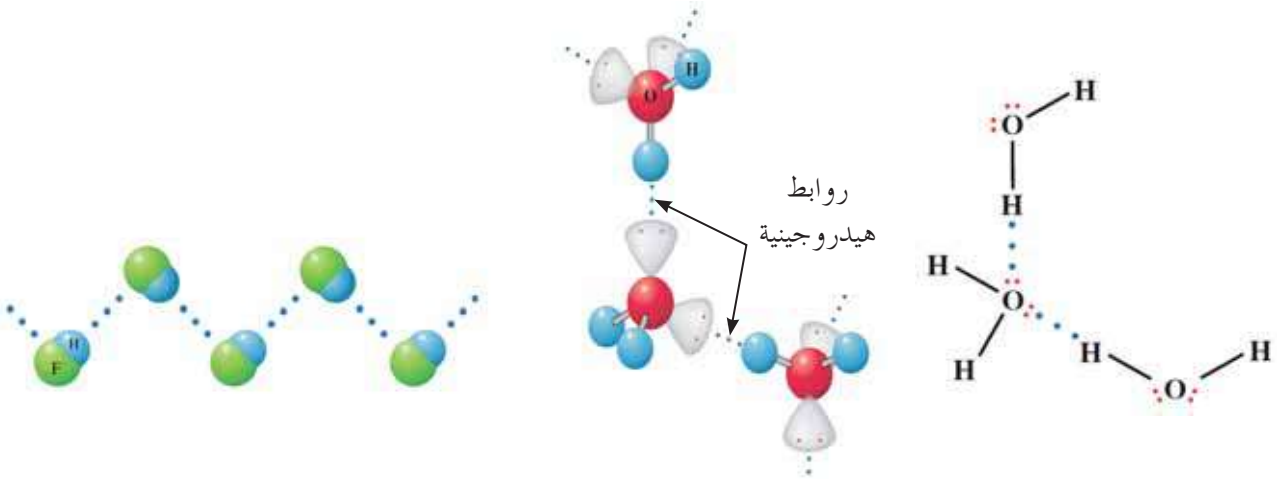
المادة	درجة الغليان (°س)	الحالة الفيزيائية في درجة الحرارة العادية
HF	٢٠	سائل
HCl	٨٥–	غاز
H_2O	١٠٠	سائل
H_2S	٦١–	غاز
NH_3	٣٣,٤–	غاز
PH_3	٨٧,٨–	غاز

يُبيِّن الجدول (٢ – ٢) أن للماء H_2O درجة غليان أعلى كثيرًا من مركَّب كبريتيد الهيدروجين H_2S بالرغم من أن عنصري الأكسجين والكبريت متتاليان في المجموعة نفسها من الجدول الدوري، وكلًّا منهما يرتبط بالهيدروجين فقط، وينطبق الوصف نفسه على المادتين HF وHCl، والمادتين NH_3 و PH_3 على التوالي. وبالرغم من أن المركَّبات السابقة جميعها قطبية فإن قوى التجاذب بين الجزيئات ثنائيات الأقطاب لا يمكن أن تُعطي تفسيرًا مُقنِعًا للفرق الكبير بين درجتي غليان كل زوج منها؛ إذ لا بُدَّ من وجود قوى تجاذب مختلفة في كلٍّ من: NH_3، وH_2O، وHF، فما هذه القوى؟ وكيف تنشأ؟

لا بُدَّ أنك لاحظت من دراستك جدول الكهرسلبية أن N، وO ، وF هي العناصر الثلاثة الأعلى كهرسلبية في الجدول الدوري؛ فعند ارتباط هذه الذرات صغيرة الحجم ذات الكهرسلبية العالية بذرة الهيدروجين لتكوين الروابط: H–F، وH–O، وH–N، فإن الكثافة الإلكترونية للرابطة التساهمية تنزاح نحو الذرة الأعلى كهرسلبية (F، O، N)، وهو ما يُكسِب هذه الذرات شحنة جزئية سالبة، ويُكسِب ذرة الهيدروجين شحنة جزئية موجبة، فتنشأ رابطة ذات استقطاب كبير، وتكون المحصلة الكلية لعزم ثنائي القطب للجزيء عالية، وهذا يُنتِج جزيئات عالية القطبية ترتبط بتجاذب ثنائيات الأقطاب الذي يفوق القوى الموجودة بين الجزيئات ثنائيات الأقطاب العادية، ولتمييزها من ثنائيات الأقطاب العادية؛ فقد سُمِّيت **روابط هيدروجينية**.

وبالرغم من أن الجزيئات التي ترتبط بالرابطة الهيدروجينية هي أصلًا جزيئات ثنائيات 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 ضروريًّا الحديث عن هذا النوع من قوى الترابط بوصفه نوعًا منفصلًا. ويمكن التعبير عن الرابطة الهيدروجينية بخط مُنقَّط كما في الشكل (٢ – ٢٠) لتمييزها من الرابطة التساهمية.

لاحِظ أن كل ذرة هيدروجين تتوسط ذرتي أكسجين في جزيئين متجاورين من جزيئات الماء، وتحاط برابطتين؛ إحداهما تساهمية، والأخرى هيدروجينية.



(أ) الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء. (ب) الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات HF.

الشكل (٢ – ٢٠): الرابطة الهيدروجينية.

سؤال

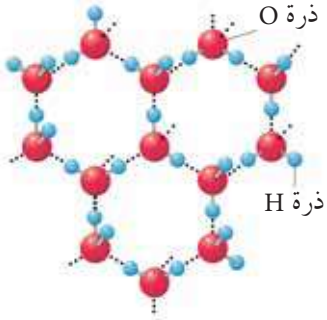
- اعتمادًا على الشكل (٢ – ٢٠)، فسِّر سبب ارتفاع درجة غليان الماء مقارنةً بدرجة غليان HF، بالرغم من أن الرابطة الهيدروجينية في HF أقوى منها في H_2O.
- أيّ المركَّبات الآتية يُكوِّن ترابطًا هيدروجينيًّا بين جزيئاته:

HCH (O فوق C بالرابطة المزدوجة) ، CH_3NH_2 ، CH_3F ، SiF_4 ، CH_3OH ، CH_3CH_3 ؟

الكيمياء في حياتنا

في أيام الشتاء الباردة، وعند حدوث الصقيع، تُحذِّر وزارة الزراعة المزارعين من تدني درجات الحرارة، وتطلب إليهم أخذ الحيطة والحذر؛ تجنُّبًا لتلف المزروعات، وذلك بإشعال النيران ليلًا في المزرعة، أو استخدام البيوت البلاستيكية، أو ريّ المزروعات ليلًا. فعند حدوث الصقيع تتدنى درجات الحرارة لتصل إلى ما دون الصفر، فيتجمَّد الماء داخل أوعية النبات، ويزداد حجمه بسبب تكوُّن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء، فيحاط كل جزيء ماء بأربعة جزيئات ماء أخرى في اتجاهات رؤوس رباعية الأوجه، وهذا يؤدي إلى تكوين بلورات تحوي فراغات كبيرة نسبيًّا بين الجزيئات، ممّا يجعل الجليد أكبر حجمًا، فتتمزَّق 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 يُشكِّل الجليد على السطح طبقة عازلة تمنع تجمُّد الماء أسفل منها.



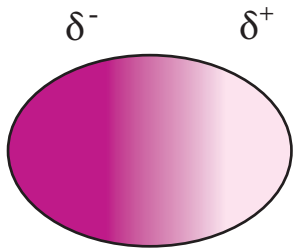
٣ – قوى لندن London Forces

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

إن افتراض عدم وجود قوى تجاذب بين جزيئات المادة غير القطبية يجعلنا نتوقَّع أن تكون هذه المواد في الحالة الغازية، وهذا منافٍ للحقيقة؛ إذ توجد جزيئات الكلور Cl_2 في الحالة الغازية، في حين يوجد البروم Br_2 في الحالة السائلة، واليود I_2 في الحالة الصُّلْبة في الظروف الطبيعية، بالرغم من أن جزيئات هذه المواد كلها غير قطبية، فكيف نُفسِّر ذلك؟

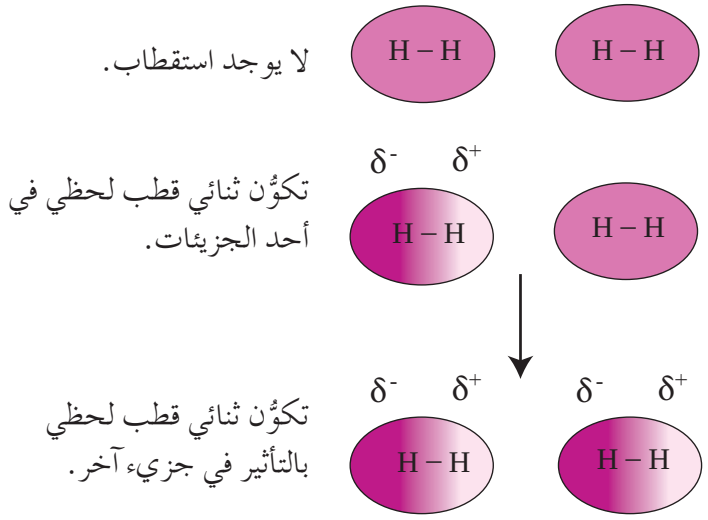
إن وجود الجزيئات غير القطبية في الحالة السائلة أو الصُّلْبة يتطلب وجود قوى تجاذب تربط تلك الجزيئات بعضها ببعض، فما هذه القوى؟ وكيف تنشأ؟

اقترح العالِم الألماني فرتز لندن تفسيرًا علميًّا لتلك القوى؛ إذ افترض أنه في أثناء حركة الإلكترونات في الذرات أو الجزيئات فإن الكثافة الإلكترونية في لحظة ما قد تتوزَّع بشكل غير متناسق في الجزيء، فتزداد الكثافة الإلكترونية على أحد طرفي الذرة أو الجزيء بصورة أكثر منها للطرف الآخر، ممّا يُحدِث استقطابًا لحظيًّا في الجزيء، انظر الشكل (٢ – ٢١).



الشكل (٢ – ٢١): ثنائي القطب اللحظي.

عنـد تكـوُّن ثنائي القطـب اللحظي في الجزيء فإنـه يُؤثِّر في الجزيئـات المجاورة، وفي الاتجاهـات جميعهـا، مُحدِثًا فيها اسـتقطابًا لحظيًّا، ممّا يؤدي إلـى تجاذب لحظي بينها يُسمّى قوى لندن، ويُبيِّن الشكل (٢ – ٢٢) تكوُّن ثنائي قطب لحظي بين جزيئات H_2.



الشكل (٢ – ٢٢): تكوُّن ثنائي قطب لحظي في جزيء H_2 بالتأثير.

جديـر بالذكر أن هذا الاسـتقطاب اللحظي لا يدوم؛ إذ تسـتمر الإلكترونات في حركتها ليتغير توزيع الكثافة الإلكترونية، ويُسـتقطَب الجزيء لحظيًّا بوضـع جديد، وتُسـتحدَث قطبية لحظية بالتأثير في جزيء آخر، وهكذا ليتولَّد تجاذب بين الجزيئات. وهذا التجاذب بين الجزيئات أو الذرات قد يكون كافيًا لإبقاء المادة في الحالة السائلة أو الصُّلْبة.

ونتيجةً لضعف التجاذب بين ثنائيات الأقطاب اللحظية؛ فإن قوى لندن تُعَدُّ أضعف أنواع قـوى التجاذب بين الجزيئـات، وهي موجودة في جميع المواد فـي الطبيعة عندما تكون الدقائق متقاربة؛ سـواء أكانت قطبية أم غير قطبية، ولكنّها تكتسـب أهمية خاصة في حالة الجزيئـات غير القطبيـة (أو ذرات الغازات النبيلة)؛ لأنها قوى التجـاذب الوحيدة العاملة بينها.

وقد أثبت العلماء وجود عوامل تزيد من مقدار هذه القوى نسبيًّا في بعض المواد. لتتعرَّف هذه العوامل، نفِّذ 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 (°س)
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؟
- رتِّب الجزيئات السابقة حسب حجمها.
- كيف تتغير درجة غليان المواد بزيادة الكتلة المولية والحجم؟
- رتِّب المواد السابقة حسب تزايد قوى التجاذب بين جزيئاتها.
- ما أثر زيادة الكتلة المولية والحجم للجزيئات في قوى التجاذب بينها؟ فسِّر إجابتك.

يتبيَّن من النشاط السابق أن درجة الغليان تزداد بازدياد الكتلة المولية للجزيئات؛ ذلك أن زيادة الكتلة المولية للجزيئات أو الذرات تعني زيادةً 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 بُعْد الإلكترونات عن النواة، فيقل جذب النواة للإلكترونات، وهذا يعني سهولة عدم التناسق في توزيع الإلكترونات، وتكوين ثنائي قطب لحظي في ما بعدُ، علمًا 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

- رتِّب المواد الآتية تبعًا لزيادة درجة غليانها:

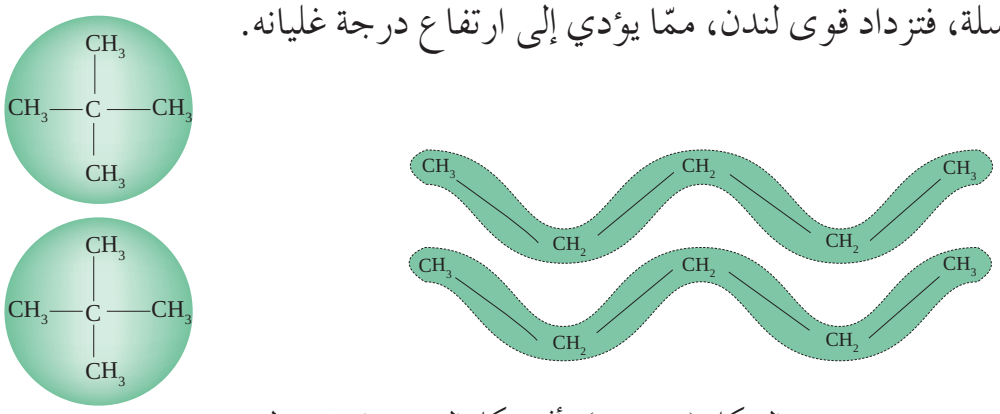
CH_3CH_3 ،CH_4 ،$CH_3CH_2CH_3$.

يُذكَر أن شـكل الجزيئات في الفراغ يُؤثِّـر في قوى لندن. ولتتعرَّف ذلك، ادرس الجدول (٢–٣).

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

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

يُبيِّـن الجـدول أن درجة غليـان المركَّب (أ) أعلـى منها للمركَّب (ب) بالرغم من تسـاوي كتلتيهما المولية، ويُعزى ذلك إلى الاختلاف في شـكل الجزيء؛ إذ إن شـكل الجزيء يُحدِّد مسـاحة سـطحه الخارجي، الذي بزيادته تزداد القطبية المستحدثة بين الجزيئات، ويبدو ذلك واضحًا في العديد من المركَّبات العضوية، انظر الشكل (٢ – ٢٣)؛ فكلما زاد طول السلسلة الكربونيـة فـي المركَّب العضـوي ازدادت نقاط التجـاذب بين جزيئـات المركَّب على طول السلسلة، فتزداد قوى لندن، ممّا يؤدي إلى ارتفاع درجة غليانه.



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

سؤال

◄ رتِّب الجزيئات الآتية تبعًا لزيادة درجة غليانها:

$CH_3CH_2CH_2CH_3$ ، $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$ ، $CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}HCH_3$.

أسئلة الفصل

١ – ما نوع قوى التجاذب الرئيسة بين جزيئات أو ذرات كلٍّ من المواد الآتية إذا كانت في الحالة السائلة: C_2H_5OH، C_8H_{18}، $C_3H_7NH_2$، O_2، NO، Ar، H_2S، I_2؟

٢ – فسِّر ما يأتي:

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

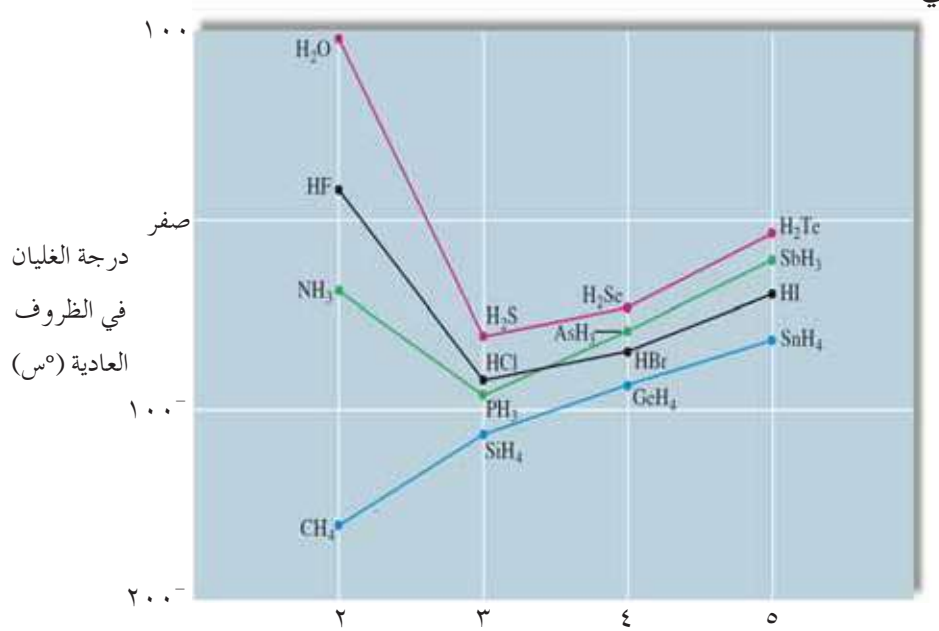
ب) درجة غليان المركَّب $HOCH_2CH_2OH$ أعلى من درجة غليان المركَّب $CH_3CH_2CH_2OH$ بالرغم من تقارب كتلتيهما المولية.

جـ) الروابط بين جزيئات CH_3F ليست روابط هيدروجينية.

٣ – رتِّب الجزيئات الآتية تبعًا لزيادة درجة غليانها:

$CH_3\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCH_3$، $CH_3CH_2CH_2CH_2NH_2$، $CH_3CH_2CH_2NH_2$، $CH_3CH_2CH_2CH_3$.

٤ – ادرس الشكل (٢ – ٢٤) الذي يُمثِّل درجات غليان مركَّبات الهيدروجين مع عناصر المجموعات: الرابعة، والخامسة، والسادسة، والسابعة من الجدول الدوري، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل (٢ – ٢٤): درجة غليان مركَّبات الهيدروجين مع عناصر المجموعات: الرابعة، والخامسة، والسادسة، والسابعة من الجدول الدوري.

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

ب) فسِّر:

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

(٢) ارتفاع درجة غليان المركَّب HF مقارنةً بمركَّبات عناصر المجموعة السابعة.

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

الفصل الثالث

٣

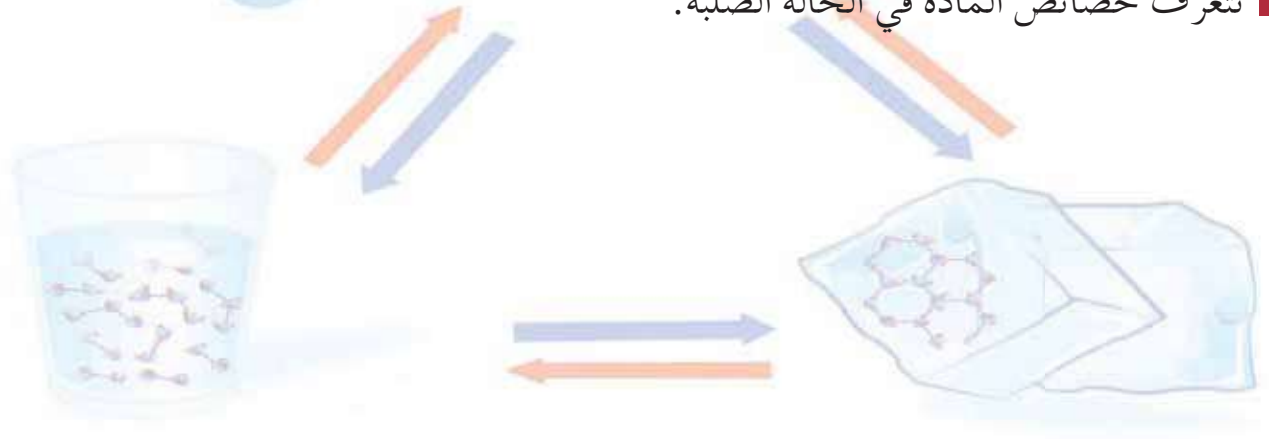
حالات المادة

States of Matter

إذا نظرت إلى الماء من حولك وجدته في حالات فيزيائية ثلاث، هي: الغازية مثل بخار الماء، والسائلة مثل مياه الأنهار والبحيرات، والصُّلْبة مثل الجليد، ولكنّها جميعًا 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 عيِّنة من الماء السائل ثابت، أمّا العيِّنة نفسها إذا تحوَّلت إلى بخار الماء فإنها تملأ الوعاء الذي توضع فيه، فما سبب هذا الاختلاف؟ وكيف توجد دقائق المادة في كل حالة؟ وكيف تتحوَّل المادة من حالة إلى أخرى؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُفسِّر الاختلاف في الخصائص الفيزيائية بين حالات المادة الثلاث.
- تجري حسابات مُستخدِمًا قوانين الغازات المختلفة.
- تُوضِّح المقصود بالمفاهيم الآتية: التبخر، التكاثف، درجة الغليان، الضغط البخاري.
- تتعرَّف العوامل التي تُؤثِّر في خصائص المادة في الحالة السائلة.
- تتعرَّف خصائص المادة في الحالة الصُّلْبة.



أولًا

الحالة الغازية

تمتاز المادة في الحالة الغازية بأن قوى التجاذب بين دقائقها تكاد تكون معدومة، ممّا يجعل المسافات بين دقائقها كبيرة جدًّا، وهذا يساعدها على أن تنتقل مسافات كبيرة قبل أن تصطدم بجزيئات أخرى تُعوِّق انتشارها، وعند تعرُّضها لضغط معين فإن جزيئاتها تقترب من بعضها، ممّا يؤدي إلى نقصان حجم الحيّز الذي تشغله، وهذا يعني أن المادة الغازية تكون قابلة للانضغاط والتمدد.

الكيمياء في حياتنا

من التطبيقات الحياتية المألوفة على سرعة انتشار الغازات إضافةُ نسب بسيطة من مركَّبات الثيول ذات الرائحة النفاذة إلى الغاز المستخدم في المنازل؛ لأن غازي البروبان والبيوتان (المُكوِّنان الرئيسان لغاز الطبخ) عديما الرائحة، ويصعب الإحساس بتسربهما؛ لذا فإن إضافة كميات قليلة من مادة الثيول إلى الغاز المنزلي يساعد على الكشف عن أيّ تسرب له، وتجنب مخاطره.

يمكن القول إن الغازات تسلك سلوكًا متشابهًا، وتخضع للقوانين نفسها التي تصف سلوك المادة في الحالة الغازية، والتي تُعرَف بقوانين الغازات، وقد تُوصِّل إلى هذه القوانين من خلال نتائج تجارب عملية قام بها عدد من العلماء؛ إذ درسوا العلاقة بين متغيرات عدَّة تصف سلوك الغاز المحصور، مُركِّزين على العلاقة بين ضغط الغاز (ض)، وحجمه (ح)، ودرجة حرارته المطلقة (ط)، وهذه القوانين هي:

١ – قانون بويل Boyle's Law

درس العالِم بويل العلاقة بين ضغط الغاز المحصور وحجمه عند درجة حرارة ثابتة، فتوصَّل إلى أن: «**حجم الغاز المحصور يتناسب عكسيًّا مع الضغط الواقع عليه، عند ثبوت درجة الحرارة**»، وقد سُمِّي ذلك قانون بويل للغازات، وهو يصاغ رياضيًّا على النحو الآتي:

$$\text{ح} \propto \frac{١}{\text{ض}} \quad \text{(عند ثبوت درجة الحرارة).}$$

ويمكن تحويل التناسب إلى العلاقة الرياضية الآتية:

$$\text{ح} = \frac{\text{ثابت}}{\text{ض}}$$

أي إن: $\text{ح} \times \text{ض} = \text{ثابتًا}$

وبناءً عليه، يمكن استنتاج أن: $\text{ح}_١ \times \text{ض}_١ = \text{ح}_٢ \times \text{ض}_٢$.

مثال (١)

عيِّنة غاز حجمها ٣٦ لترًا، وضغطها ١ ض.جـ. احسب حجم العيِّنة إذا أصبح ضغطها ٢ ض.جـ في درجة الحرارة نفسها.

الحل

$ح_١ = ٣٦$ لترًا $ض_١ = ١$ ض.جـ

$ح_٢ = ؟$ $ض_٢ = ٢$ ض.جـ

$ح_١ \times ض_١ = ح_٢ \times ض_٢$

$$ح_٢ = \frac{ح_١ \times ض_١}{ض_٢}$$

$$= \frac{١ \times ٣٦}{٢} = ١٨ \text{ لترًا.}$$

سؤال

◄ عيِّنة من غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 حجمها ١,٥٣ لتر عند ضغط ٥,٦ ض.جـ. إذا تغير الضغط إلى ١,٥ ض.جـ، فكم يصبح حجم الغاز عند درجة الحرارة نفسها؟

٢ – قانون شارل Charl's Law

وجد العالِم شارل أن حجم الغاز يزداد عند رفع درجة حرارته مع ثبوت الضغط، وقد صاغ شـارل هذه العلاقة في قانون ينص على الآتي: «**يتناسب حجم كمية ثابتة من الغاز تناسبًا طرديًّا مع درجة الحرارة المطلقة عند ثبوت الضغط**».

ويُعبَّر عن ذلك رياضيًّا على النحو الآتي:

ح α ط (عند ثبوت الضغط).

ويمكن تحويل التناسب إلى العلاقة الرياضية الآتية:

ح = ثابت × ط

$$\frac{ح}{ط} = \text{ثابت، حيث:}$$

ط هي درجة الحرارة المطلقة = درجة الحرارة سْ + ٢٧٣، وتقاس بوحدة كلڤن (ك)، ومنها:

$$\frac{ح_١}{ط_١} = \frac{ح_٢}{ط_٢}$$

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

توصَّل غاي– لوساك إلى وجود **علاقة تناسب طردي بين ضغط كمية ثابتة من الغاز ودرجة الحرارة المطلقة عند ثبوت الحجم**. ويُعبَّر عن هذه العلاقة رياضيًّا على النحو الآتي:

ض α ط (عند ثبوت الحجم).

ض = ثابت × ط

$$\frac{ض}{ط} = \text{ثابت}،$$

أو: $\frac{ض_١}{ط_١} = \frac{ض_٢}{ط_٢}$

تذكَّر

١ ض.جـ = ٧٦٠ مم زئبق.

١ ض.جـ = ١٠١,٣٢٥ باسكال.

سؤال

◄ عيِّنة غاز تشغل حجمًا مقداره ٢,٥٨ لتر عند ٢٥°س، و ١ ض.جـ، فكم يصبح حجم العيِّنة عند درجة حرارة ٣٨°س، وضغط ١ ض.جـ؟

٤ – القانون الجامع للغازات Combined Gas Law

تعرَّفت من خلال دراستك القوانين السابقة إلى أن حجم عيِّنة من الغاز المحصور (ح) يتناسب عكسيًّا مع ضغطه (ض)، وطرديًّا مع درجة حرارته المطلقة (ط). ويمكن الربط بين المتغيّرات الثلاثة (حجم الغاز، وضغطه، ودرجة الحرارة المطلقة) التي تصف سلوك الغاز بقانون يُسمّى **القانون الجامع للغازات**.

ويمكن التعبير عنه رياضيًّا على النحو الآتي:

$$\frac{ح_١ \times ض_١}{ط_١} = \frac{ح_٢ \times ض_٢}{ط_٢}$$

مثال (٢)

عيِّنة من غاز الهيليوم ضغطها يساوي ٢ ض.جـ، وحجمها ٥٠٠ مل في درجة حرارة ٢٧°س. كم يصبح حجم العيِّنة عند درجة حرارة (−٧ °س)، و١ ض. جـ؟

الحل

ح$_{١}$ = ٥٠٠ مل ، ض$_{١}$ = ٢ ض.جـ　　ط$_{١}$ = ٢٧ °س + ٢٧٣ = ٣٠٠ ك.

ح$_{٢}$ = ؟　　ض$_{٢}$ = ١ ض.جـ　　ط$_{٢}$ = −٧ °س + ٢٧٣ = ٢٦٦ ك.

بتطبيق القانون الجامع للغازات، يَتبيَّن أن:

$$\frac{\text{ح}_{١} \times \text{ض}_{١}}{\text{ط}_{١}} = \frac{\text{ح}_{٢} \times \text{ض}_{٢}}{\text{ط}_{٢}}$$

$$\frac{٥٠٠ \times ٢}{٣٠٠} = \frac{\text{ح}_{٢} \times ١}{٢٦٦}$$

ح$_{٢}$ = ٨٨٧ مل.

سؤال

◄ عيِّنة من غاز الهيدروجين المحصور في وعاء حجمه ٣٠٠ مل، ضغطها يساوي ٨٢,٥ مم زئبق في درجة حرارة ٢٥°س. كم يصبح ضغط العيِّنة إذا وُضِعت في وعاء حجمه ٥٠٠ مل في درجة الحرارة نفسها؟

٥ – قانون أفوغادرو Avogadro's Law

في القوانين السابقة كانت كمية الغاز في العيِّنة ثابتة، فماذا يحدث لو تغيّرت كمية الغاز في العيِّنة؟ درس العالِم أفوغادرو العلاقة بين حجوم مختلفة من الغازات وكمية الغاز في العيِّنة، فتوصَّل إلى أن الحجوم المتساوية من غازات مختلفة تحوي عدد الدقائق نفسه (جزيئات، أو ذرات منفصلة) في الظروف نفسها من الضغط ودرجة الحرارة، وقد وجد أن **حجم مول واحد من أيّ غاز في الظروف المعيارية (١ ض. جـ، و ٢٧٣ك) يساوي ٢٢,٤ لترًا، وتُدعى هذه الكمية الحجم المولي للغاز.**

يمكن التعبير عن قانون أفوغادرو رياضيًّا على النحو الآتي:

$\frac{ح_١}{ع_١} = \frac{ح_٢}{ع_٢}$ ، حيث:

$ع_١$: عدد المولات في العيِّنة الغازية الأولى.

$ع_٢$: عدد المولات في العيِّنة الغازية الثانية.

وهذا يعني أنه إذا تضاعفت كمية الغاز فإن حجمه يتضاعف.

ومنه يمكن التوصُّل إلى قانون عام للغازات **يُسمّى قانون الغازات العام** الذي يمكن اشتقاقه على النحو الآتي:

$ح \propto ع$

$ح \propto \frac{١}{ض}$

$ح \propto ط$

$ح \propto \frac{ط}{ض} ع$

أي إن: $ح = ثابت \times \frac{ع\ ط}{ض}$

ومنها: $ح = \frac{ر \times ع\ ط}{ض}$

وبإعادة ترتيب المعادلة تصبح:

$ح\ ض = ع\ ط\ ر$، حيث:

(ر): ثابت التناسب، ويُسمّى ثابت الغازات العام.

وتُسمّى العلاقة: $ح\ ض = ع\ ط\ ر$ 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 يُعرَف بالغاز المثالي، ولذلك أُطلِق على قانون الغازات العام اسم **قانون الغاز المثالي (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.جـ)، ولذلك نفترض أن الغازات الحقيقية تسلك سلوك الغاز المثالي عند حل المسائل المتعلقة بالغازات.

مثال (٣)

عيِّنة من غاز الهيدروجين H_2 تشغل حيّزًا مقداره ٨,٥٦ لترات في درجة حرارة صفر سْ، وضغط ١,٥ ض.جـ. احسب عدد مولات غاز الهيدروجين التي توجد في العيِّنة (افترض أن الغاز مثالي).

الحل

ر = ٠,٠٨٢٠٦ لتر.ض.جـ/ مول. ك، درجة الحرارة المطلقة = ٠ + ٢٧٣ = ٢٧٣ ك.

ح ض = ع ط ر

ومنها: $ع = \frac{ض\ ح}{ط\ ر}$

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

سؤال

◄ تفاعل كيميائي أنتج ٥٠ مل من غاز الهيدروجين H_2 عند ضغط ٣٨٠ مم زئبق، و٢٧ سْ، فما عدد مولات الغاز الناتج؟ وما كتلته؟

ثانيًا

نظرية الحركة الجزيئية

القوانين السابقة للغازات تصف سلوك الغاز في الظروف المختلفة من الضغط والحجم ودرجة الحرارة وكمية الغاز، لكنّها لا تُفسِّر 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 سُمِّيت نظرية الحركة الجزيئية.

يمكن تلخيص افتراضات هذه النظرية في ما يأتي:

١ – الغازات جميعها تتكوَّن من دقائق صغيرة جدًّا تتحرك حركة عشوائية مستمرة، ممّا يؤدي إلى اصطدام بعضها ببعض، وبجدران الوعاء الذي توضع فيه، وهذا يُسبِّب ضغط الغاز.

٢ – معظم حجم الغاز فراغ؛ أيْ إن الحجم الذي تشغله دقائق الغاز صغير جدًّا مقارنةً بحجم الحيّز المحصور فيه، ولا توجد قوى تجاذب أو تنافر بين دقائق الغاز، ممّا يجعلها تتحرك بحرية في الحيّز الذي توجد فيه.

٣ – تصادمات الدقائق بعضها ببعض أو بجدار الوعاء هي تصادمات مرنة؛ فقد تكتسب إحدى دقائق الغاز طاقة أو تفقدها نتيجة الاصطدام، ولكن يبقى مجموع الطاقة الحركية للدقائق ثابتًا.

٤ – متوسط الطاقة الحركية لجزيئات الغاز يتناسب طرديًّا مع درجة حرارته المطلقة.

من الواضح أن نظرية الحركة الجزيئية يمكنها تفسير القوانين المختلفة للغازات؛ فمثلًا، 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.

سؤال

◄ فسِّر قوانين الغازات وصفيًّا استنادًا إلى افتراضات نظرية الحركة الجزيئية.

ثالثًا الحالة السائلة

كيف تكون المسافة بين دقائق المادة في الحالة السائلة مقارنةً بالحالة الغازية؟ وكيف تُؤثِّر قوى التجاذب في خصائص المادة في الحالة السائلة؟ تكون جزيئات المادة السائلة في حالة حركة دائمة وعشوائية، وترتبط فيما بينها قوى تجاذب كافية لجعلها قريبة من بعضها بعضًا مقارنةً بالحالة الغازية، وهو ما يُعرِّضها لعدد كبير من التصادمات التي تساهم في تقليل حركتها، وتُعوِّق انتشارها، فضلًا عن أن المادة في حالتها السائلة تكون غير قابلة للانضغاط، ولكنّ هذه القوى لا تحدُّ من قدرة السائل على الجريان، فتتخذ المادة في الحالة السائلة شكل الوعاء الذي توضع فيه، ويبقى حجمها ثابتًا، وهذه أهم خصائص المادة في الحالة السائلة التي تتأثر بقوى التجاذب:

١ – التبخر

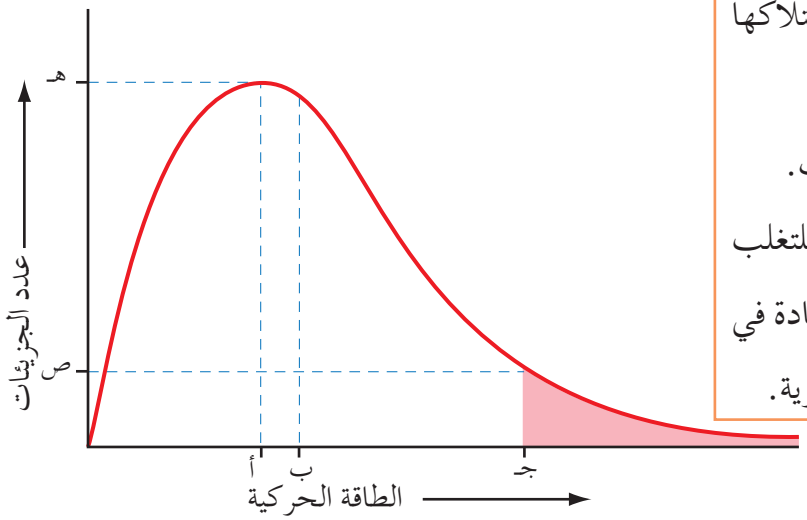
كيف تتبخر مياه البحار والمحيطات بالرغم من أن درجة حرارتها لا تصل إلى درجة غليان الماء؟ ومتى يتبخر السائل؟ وهل يحدث التبخر في درجة حرارة معينة؟

لتتعرَّف ذلك، ادرس الشكل (٢ – ٢٥) الذي يُمثِّل منحنى ماكسويل – بولتزمان لتوزُّع الطاقة الحركية لجزيئات السائل، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة.

أ = الطاقة الحركية الأكثر احتمالًا لامتلاكها من معظم الجزيئات.

ب = متوسط الطاقة الحركية للجزيئات.

جـ = الحد الأدنى من الطاقة اللازمة للتغلب على قوى التجاذب بين جزيئات المادة في الحالة السائلة، لتتحوَّل إلى الحالة الغازية.



الشكل (٢ – ٢٥): منحنى ماكسويل– بولتزمان لتوزُّع الطاقة الحركية لجزيئات السائل في درجة حرارة معينة.

- ماذا تُمثِّل المساحة المُظلَّلة في الشكل؟
- ما الشروط التي يجب توافرها في الجزيئات لكي تتبخر؟

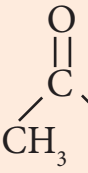
تكون جزيئات السائل في حالة حركة دائمة وعشوائية، ممّا يَتسبَّب في تصادمات مرنة بينها. ونتيجةً لهذه التصادمات؛ فإن بعض الجزيئات تفقد جزءًا من طاقتها، في حين يكتسب بعضها الآخر هذه الطاقة، بحيث تصبح طاقتها الحركية كافية للتغلب على قوى التجاذب مع الجزيئات الأخرى المحيطة بها في السائل، فتتمكَّن من الإفلات من سطح السائل (**أيْ تتبخر**)، وهذا يعني أن التبخر يحدث في أيّ درجة حرارة؛ نظرًا إلى وجود جزيئات تمتلك طاقة حركية كافية للتغلب على قوى التجاذب مع الجزيئات الأخرى.

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

للإجابة عن هذا السؤال، نفِّذ النشاط (٢–٨).

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

المواد والأدوات المطلوبة



أسيتون (CH_3COCH_3)، ماء، زجاجتا ساعة.

الخطوات

١ – ضع ٥ مل من كلٍّ من الأسيتون والماء في زجاجة ساعة مستقلة.

٢ – اترك الزجاجتين جانبًا مدَّة خمس دقائق، مُلاحِظًا كمية السائل المتبقية في كلٍّ منهما.

- أيّ السائلين كان عدد الجزيئات المتبخرة منه أكبر؟
- أيّ السائلين كان تبخره أسرع؟
- ما نوع قوى التجاذب لكلٍّ 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 التوصُّل إلى العلاقة بين الحد الأدنى من الطاقة اللازمة للتبخر وقوى التجاذب؟

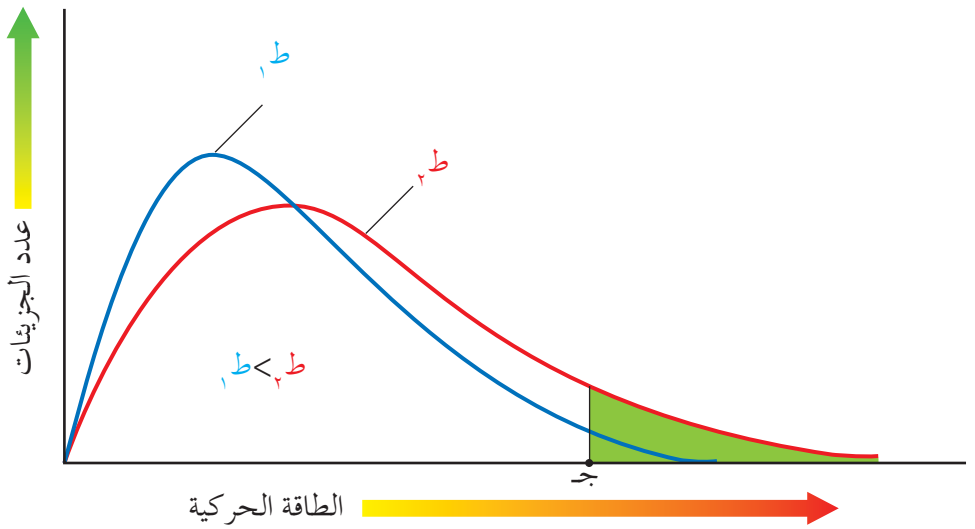
سؤال

◄ رتِّب المواد الآتية تصاعديًّا تبعًا لمعدل سرعة تبخرها:

CH_3CH_2Cl، CH_3CH_2OH، $CH_3CH_2CH_3$.

والآن، هل تُؤثِّر درجة الحرارة في معدل سرعة تبخر السوائل؟

لتتعرَّف ذلك، ادرس الشكل (٢ – ٢٦)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



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

- علامَ تدل النقطة جـ على المنحنى في الشكل؟
- عند أيّ درجة حرارة (ط١، أو ط٢) تكون نسبة عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة كافية للتبخر أكبر؟
- عند أيّ درجة حرارة (ط١، أو ط٢) يكون معدل التبخر أكبر؟

يَتبيَّن من الشكل السابق أن معدل سرعة تبخر 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 للتبخر، ويزداد معدل التبخر، «**وتُسمّى الطاقة اللازمة لتحويل مول واحد من جزيئات المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، في درجة الحرارة نفسها، طاقة التبخر المولية**».

٢ – التكاثف

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

$$H_2O_{(l)} + 40.1\ kJ \rightleftharpoons H_2O_{(g)}$$

- اكتب معادلة تُمثِّل تحوُّل الماء من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة. ماذا تُسمّي هذا التحول؟
- هل تُعَدُّ عملية التحوُّل ماصّة للطاقة أم طاردة لها؟
- ما مقدار فرق الطاقة المرافق لهذه العملية؟

تُسمّى **عملية تحوُّل المادة من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة عملية التكاثف**، وهي تحتاج إلى خفض الطاقة الحركية لجزيئات الغاز بالتبريد وتقريب بعضها من بعض بزيادة الضغط لتصبح في الحالة السائلة، ممّا يؤدي إلى انبعاث طاقة تُسمّى **طاقة التكاثف المولية**، وهي تساوي طاقة التبخر المولية للسائل في المقدار، ولكنّها تخالفها في الإشارة.

وبالرجوع إلى معادلة تبخر الماء، فإن مولًا واحدًا من بخار الماء يبعث طاقة مقدارها ٤٠,١ كيلوجول عند تحوُّله إلى الحالة السائلة.

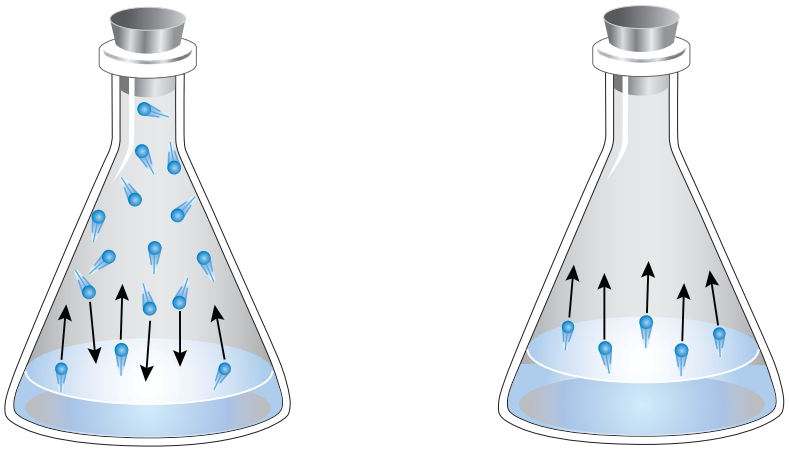
سؤال

- ما الشرطان الواجب توافرهما لحدوث التكاثف؟
- لماذا تكون الحروق الناتجة من بخار الماء في درجة حرارة ١٠٠ س° أشد من تلك الناتجة من الماء الساخن في درجة حرارة ١٠٠ س°؟

٣ – الضغط البخاري

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

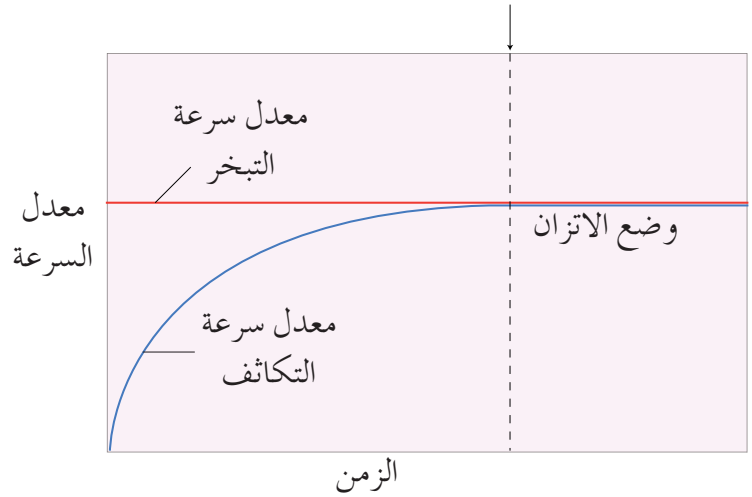
عند وضع سائل في وعاء مغلق فإن كمية السائل تبدأ بالتناقص بسبب تحوُّل بعض الجزيئات من الحالة السائلة إلى بخار، انظر الشكل (٢ – ٢٧/ أ)، وتحدث عملية التبخر هذه بمعدل ثابت عند درجة حرارة محددة. ونتيجةً لتصادم جزيئات البخار بجدار الوعاء المغلق؛ فإنها تفقد جزءًا من طاقتها، وتتحوَّل إلى الحالة السائلة مرة أخرى؛ أيْ تتكاثف كما في الشكل (٢–٢٧/ ب)، ويزداد معدل سرعة التكاثف تدريجيًّا مع مرور الزمن، إلى أن يصبح معدل سرعة التبخر مساويًا لمعدل سرعة التكاثف، عندئذٍ، يثبت عدد الجزيئات المتبخرة، وعدد الجزيئات المتكاثفة في وحدة الزمن، انظر الشكل (٢–٢٨)، وهذا يعني وجود حالة اتزان بين جزيئات السائل وبخاره، ويُسمّى **الضغط الناتج من جزيئات بخار السائل عند الاتزان الضغط البخاري للسائل.**



عمليتا التبخر والتكاثف للجزيئات حتى تصل إلى حالة الاتزان.
(ب)

عملية التبخر لبعض جزيئات السائل.
(أ)

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

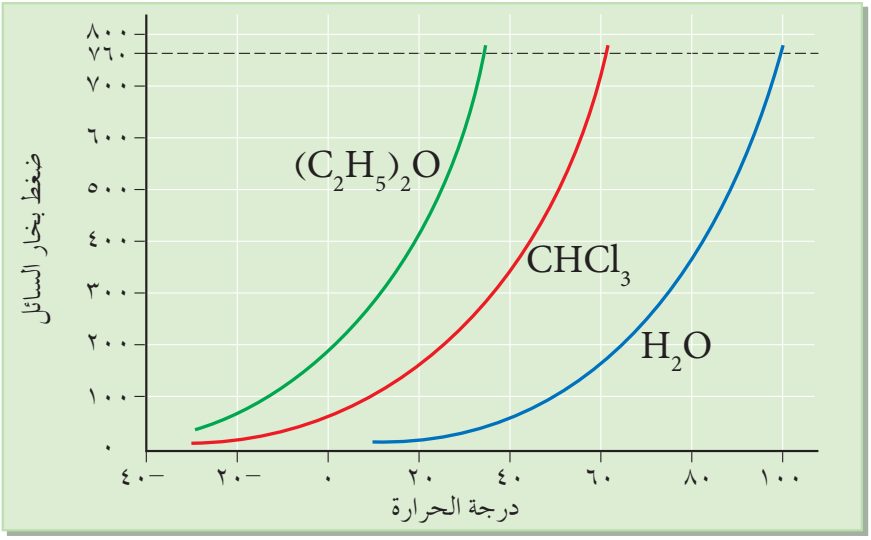


الشكل (٢ – ٢٨): معدل سرعة التبخر والتكاثف مع مرور الزمن لسائل ما في درجة حرارة معينة.

قضية للبحث

هل تُؤثِّر كمية السائل أو حجم الإناء في مقدار الضغط البخاري للسائل عند أيِّ درجةٍ للحرارة؟ ابحث في الشبكة المعلوماتية، مُستعينًا بالكلمتين المفتاحيتين الآتيتين: الضغط البخاري، ضغط بخار السائل.

لتتعرَّف العوامل التي يعتمد عليها الضغط البخاري لسائل ما، لاحِظ المنحنيات في الشكل (٢ – ٢٩)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



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

- رتِّب المواد الوارد ذكرها في الشكل (٢–٢٩) تصاعديًّا حسب قوى التجاذب بين جزيئاتها.
- ما مقدار الضغط البخاري لكلٍّ من السوائل الثلاثة في درجة حرارة ٢٠ °س؟
- ما علاقة الضغط البخاري للسائل بقوى التجاذب بين جزيئاته في درجة حرارة معينة؟
- أيّهما أعلى: الضغط البخاري للماء في درجة حرارة ٤٠ °س أم الضغط البخاري للماء في درجة حرارة ٦٠ °س؟ 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 $(C_2H_5)_2O$، 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

رتِّب المواد الآتية تصاعديًّا تبعًا لضغطها البخاري في درجة حرارة معينة:

H_2O، $CH_3\overset{O}{\overset{\diagup\diagdown}{}}CH_3$، C_2H_5OH.

٤ – درجة الغليان

ادرس الظاهرتين الآتيتين، مُحاوِلًا 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 عَمّان.

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

تُسمّى درجة الحرارة التي يتساوى 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 أيّ درجة حرارة نريدها إذا جعلنا الضغط المُؤثِّر في سطحه مساويًا لضغطه البخاري عند تلك الدرجة. يُذكَر أن درجة غليان السائل عند ضغط ١ ض. جـ و ٧٦٠ مم زئبق تُسمّى **درجة الغليان العادية (Normal Boiling Point)** لذلك السائل، وأن لكل سائل درجة غليان تُميِّزه عن غيره من السوائل.

سؤال

أجب عن السؤالين الآتيين مُستعينًا بالشكل (٢ – ٢٩):

- ما درجة الغليان العادية لكل سائل من السوائل المذكورة في الشكل؟
- كيف يمكن جعل الماء يغلي في درجة حرارة ٦٠ °س؟

رابعًا الحالة الصُّلْبة

ما خصائص المادة في الحالة الصُّلْبة؟ وما الذي يُميِّزها عن المادة في الحالتين: السائلة، والغازية؟

عند تحوُّل المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصُّلْبة فإن قوى التجاذب بين دقائقها تصبح كبيرةً جدًّا، ممّا يجعل الطاقة الحركية لدقائقها تنخفض، فتقترب الدقائق بعضها من بعض، وهذا يجعل الدقائق المُكوِّنة للمادة في الحالة الصُّلْبة ثابتة في أماكن محددة، وعندئذٍ، تترتَّب الوحدات الأساسية للمادة في حالتها الصُّلبة في أشكال هندسية منتظمة تُسمّى بلورات، وتُسمّى المادة في هذه الحالة المادة الصُّلْبة البلورية، علمًا بأن المادة في الحالة الصُّلْبة قد توجد على صورة مادة صُلْبة غير بلورية مثل الزجاج.

المواد متغيرة الانسيابية (Thixotropic Materials)

يرتبط التغير في الحالة الفيزيائية للمادة غالبًا بتغير درجة الحرارة، وعلى الرغم من ذلك فإن التغير في الحالة الفيزيائية يمكن أن يتأثر بعوامل أخرى. فالمواد متغيرة الانسيابية (Thixotropic Materials) هي مواد شبه صُلْبة تتحوَّل إلى حالة السيولة عندما تتعرّض لقوة تُسمّى القص الجانبية (shering force)؛ فعلى سبيل المثال تُعَدُّ معظم الدهانات مواد متغيرة الانسيابية؛ إذ تصبح رقيقة عندما تُدهَن على السطح أو الجدار، ويزداد سُمْكها عندما تتوقف الفرشاة، فتحول دون انسياب الدهان على السطح أو الجدار.

ومن الأمثلة أيضًا على المواد متغيرة الانسيابية معجون الأسنان، وجل الشعر، وخليط النشا والماء.

أسئلة الفصل

١ – وضِّح المقصود بالمفاهيم الآتية:

طاقة التبخر المولية، الضغط البخاري، درجة الغليان العادية، طاقة التكاثف المولية.

٢ – فسِّر قانون بويل للغازات اعتمادًا على نظرية الحركة الجزيئية.

٣ – تشغل عيِّنة غاز حجمًا مقداره ١,٥ لتر في ٢٧ °س، وضغط ١ ض.جـ. احسب حجم العيِّنة في درجة حرارة ١٠٠ °س، و٢ ض.جـ.

٤ – ما الحجم الذي تشغله عيِّنة من غاز ثاني أكسيد الكربون، كتلتها ٤,٤ غ في الظروف المعيارية؟

٥ – عيِّنة من غاز النيتروجين N_2 تشغل حيّزًا مقداره ١,٧٥ لتر في الظروف المعيارية. كم عدد مولات غاز النيتروجين في العيِّنة؟

٦ – رتِّب السوائل الآتية: CH_3Cl ، CH_3CH_2OH ، CH_3CH_3 ترتيبًا تصاعديًّا وفق:

أ) قِيَم ضغطها البخاري.

ب) سرعة تبخرها.

جـ) درجة غليانها العادية.

٧ – يُبيِّن الجدول الآتي الضغط البخاري لمادتين افتراضيتين (A،وB) في درجات حرارة مختلفة. ادرسه، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

درجة الحرارة (°س)	٢٠	٤٥	٦٠	٨٠
الضغط البخاري للمادة A (مم زئبق)	١١٥	٣٢٠	٥٢٠	٧٦٠
الضغط البخاري للمادة B (مم زئبق)	٤١٠	٥٦٠	٧٦٠	١١٠٠

أ) أيّ المادتين ترتبط وحداتها الأساسية بقوى تجاذب أقوى؟

ب) كيف تجعل المادة B تغلي في درجة حرارة ٤٥ °س؟

جـ) ما درجة الغليان العادية للمادة A؟

١ – اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

(١) إذا علمت أن العدد الذري للعنصر A = ٧ فإن الروابط التي يُكوِّنها A في الجزيء A_2 هي من النوع:

أ) 2σ و 1π ب) 3π جـ) 3σ د) 2π و 1σ

(٢) تتكوَّن الرابطة B – H في جزيء BH_3 من تداخل الأفلاك:

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

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

أ) H_2O ب) CH_4 جـ) NH_3 د) HF

(٤) الشكل البنائي المرتبط بالتهجين sp هو:

أ) هرمي ثلاثي ب) منحنٍ

جـ) خطي د) رباعي الأوجه منتظم

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

أ) التماثل في الاتجاه الفراغي ب) التماثل في الشكل

جـ) التماثل في الطاقة د) التماثل في السعة

(٦) أيّ الجزيئات الآتية غير قطبي:

أ) CH_3F ب) BCl_3 جـ) H_2S د) PCl_3

(٧) كمية من الغاز حجمها لتر واحد، إذا تضاعف كلٌّ من درجة الحرارة المطلقة وضغطها ٣ مرات فإن حجمها الجديد باللتر هو:

أ) ١ ب) $\frac{١}{٣}$ جـ) ٣ د) ٩

(٨) إذا علمت أن مقدار الزاوية F – P – F في الجزيء PF_3 هو ١٠٤° فإن الأفلاك المُكوِّنة للرابطة P – F هي:

أ) $sp^3 - s$ ب) $sp^3 - p$ جـ) $sp^3 - sp^3$ د) p – p

(٩) أيّ الحالات الآتية يغلي فيها سائل:

أ) ضغطه البخاري = ٧٦٠ مم زئبق.

ب) ضغطه البخاري ≤ الضغط الخارجي الواقع على سطحه.

جـ) درجة حرارته = ٢٧٣ درجة مطلقة.

د) درجة حرارته > درجة حرارة الغرفة.

(١٠) ترتيب الجزيئات: HCl ، H_2O ، CH_4 ، HF حسب تناقص قوى التجاذب بين جزيئاتها في الحالة السائلة هو:

أ) $CH_4<H_2O<HCl<HF$ ب) $CH_4<HF<H_2O<HCl$

جـ) $CH_4<HCl<H_2O<HF$ د) $CH_4<HCl<HF<H_2O$

٢ – اعتمادًا على نوع قوى الترابط بين دقائق السائلينِ: CH_3Cl، وH_2O، أجب عن الأسئلة الآتية:

أ) أيّ السائلينِ معدل سرعة التبخر لجزيئاته أكبر في درجة الحرارة نفسها؟

ب) أيّهما له ضغط بخاري أعلى؟

جـ) أيّ السائلين له درجة غليان أعلى؟

د) أيّ السائلين له طاقة تبخر مولية أعلى؟

٣ – اعتمادًا على مواقع العناصر الافتراضية في نموذج الجدول الدوري الآتي، أجب عن الأسئلة التي تليه:

H																	R
	M											E		A		Q	
Z	Y												D		G	B	

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

ب) ما التهجين المُتوقَّع للذرة المركزية عند اتحاد A مع $_{17}Cl$؟

جـ) ما الأفلاك المُكوِّنة للرابطة D – F عند اتحاد D مع الفلور $_9F$؟

د) ما نوع قوى التجاذب الرئيس بين جزيئات المركَّب GQ_2؟

هـ) أيّهما درجة غليانه أعلى: Q_2 أم B_2؟ ولماذا؟

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

(١) التهجين الذي تستخدمه الذرة المركزية.

(٢) الأفلاك المُكوِّنة للرابطتين: Q – M، و Q – E.

(٣) قطبية الجزيء.

(٤) الزاوية بين الروابط.

٤ – أ) احسب الكتلة المولية لغاز مجهول إذا علمت أن كتلة عيِّنة منه ٣,٢ غ وحجمها ٢,٢٤ لتر في الظروف المعيارية.

ب) كم يصبح حجم هذه العيِّنة إذا انخفض ضغطها إلى ٣٨٠ مم زئبق؟

٥ – عيِّنة من غاز الأمونيا NH_3 تشغل حيّزًا مقداره ٣,٥ لترات، في ضغط مقداره ١,٦٨ ض.جـ. إذا زيد ضغط العيِّنة حتى أصبح الحجم الذي تشغله ١,٣٥ لتر في درجة الحرارة نفسها، فما مقدار الضغط الذي أثَّر في العيِّنة؟

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

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

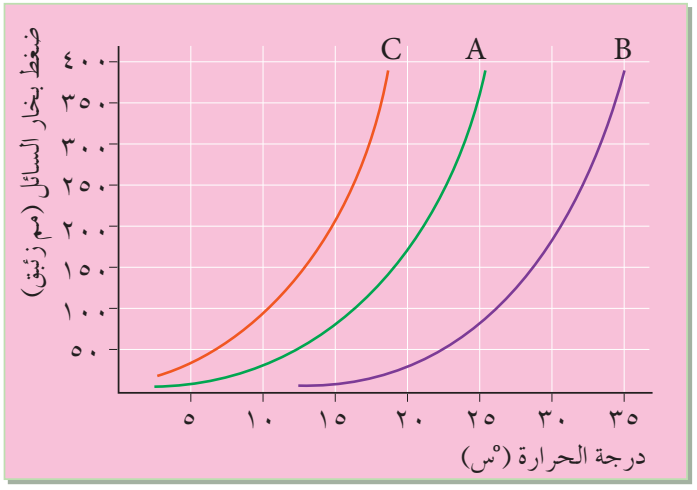
ب) أيّ الجزيئات يمتلك أقل درجة غليان؟

جـ) أيّ السوائل يوجد في الحالة الغازية عند درجة ١٥ °س إذا كان الضغط الواقع عليه ١٥٠ مم زئبق؟

د) رتِّب السوائل السابقة تبعًا لزيادة قوى التجاذب بين الجزيئات؟

هـ) أيّ السوائل السابقة يمتلك أكبر طاقة تكاثف؟

و) كيف يمكن جعل السائل B يغلي في درجة حرارة ٣٠ °س؟



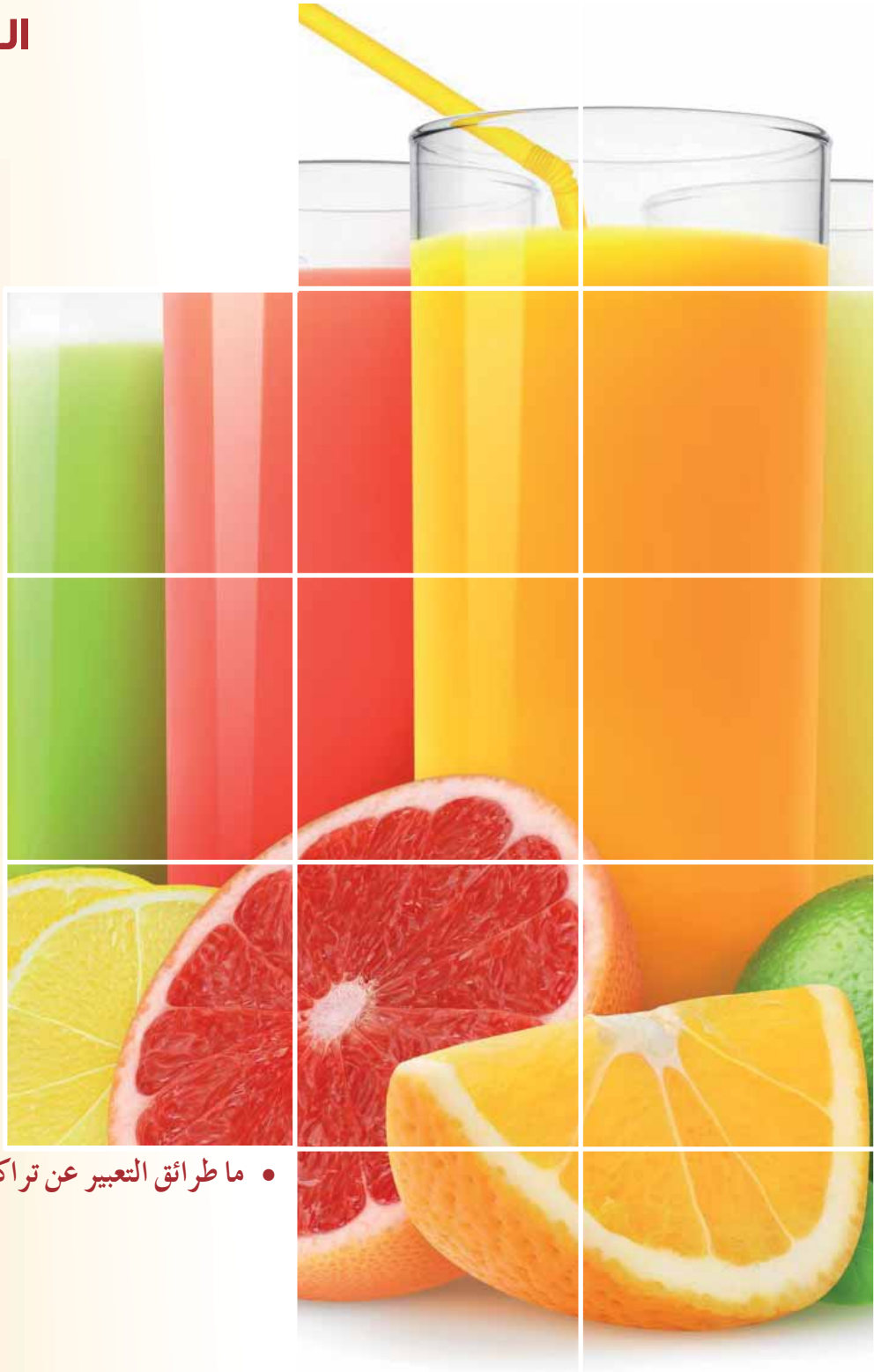
الشكل (٢ – ٣٠): منحنيات الضغط البخاري لسوائل مختلفة.

الفصل الدراسي الثاني

الوحدة الثالثة

٣

المحاليل



- الذوبان والذائبية
- تركيز المحلول
- خصائص المحاليل

- ما طرائق التعبير عن تراكيز 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 جميعًا، ويمكن تصنيف المحاليل تبعًا للحالة الفيزيائية للمذيب الذي يُمثِّل الجزء الأكبر من المحلول؛ سواء كان صُلْبًا، أو سائلًا، أو غازيًّا.

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

ستتمكَّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

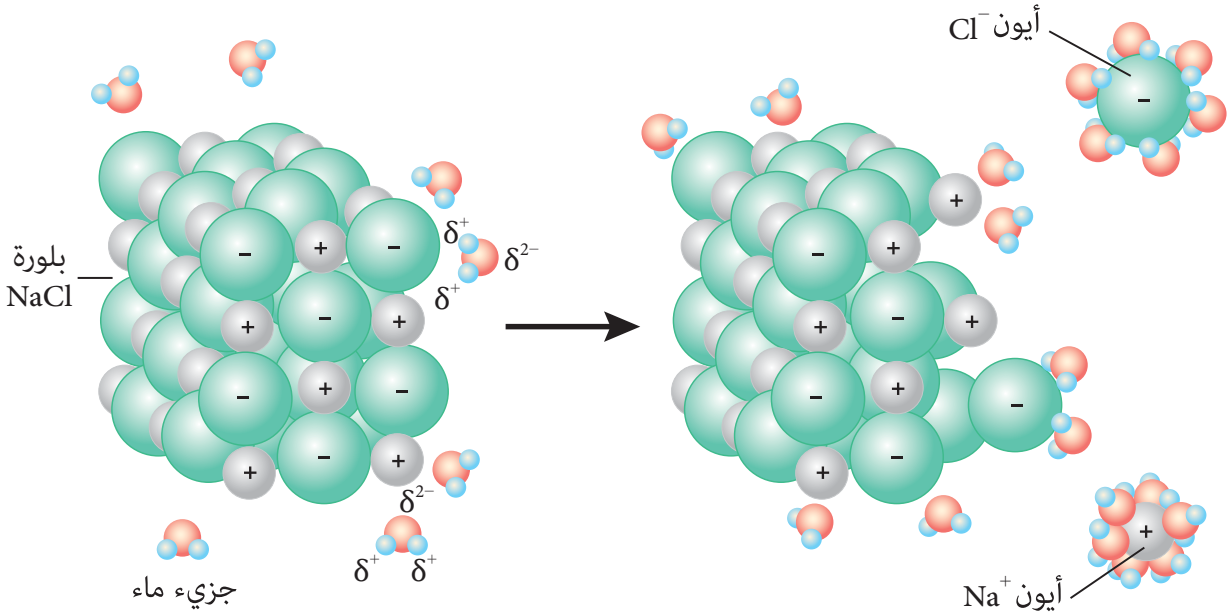
- تُفسِّر ذوبان المواد في الماء.
- تُصنِّف المحاليل المائية حسب حالة المذيب.
- تُبيِّن أثر العوامل المختلفة في ذائبية المواد في الماء.

أولًا

الذوبان

ماذا يحدث عند إذابة ملح كلوريد الصوديوم NaCl في الماء؟

للإجابة عن هذا السؤال، ادرس الشكل (٣–١) الذي يُمثِّل ذوبان بلورة من NaCl في الماء، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



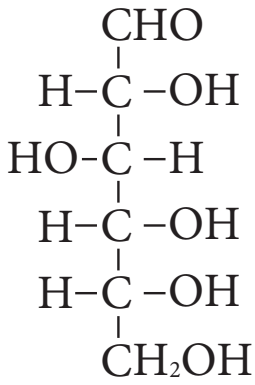
الشكل (٣–١): عملية ذوبان بلورة من كلوريد الصوديوم في الماء.

- ما الدقائق الأساسية المُكوِّنة لبلورة NaCl؟
- ما نوع الترابط بين الدقائق المُكوِّنة 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 الصُّلْبة، فينشأ نتيجةً لذلك عدد 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 والسالبة عن جسم البلورة الأيونية، فتتفكَّك البلورة إلى أيونات موجبة وأخرى سالبة تحيط بها جزيئات الماء القطبية كما في الشكل (٣–١)، وتتحرك هذه الأيونات بحرية في المحلول.

ولكن، هل ينطبق ما يحدث لبلورة كلوريد الصوديوم على بلورة سكر الغلوكوز عند إذابتها في الماء؟

للإجابة عن هذا السؤال، ادرس الشكل (٣-٢) الذي يُمثِّل تركيب جزيء سكر الغلوكوز، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



الشكل (٣-٢): تركيب جزيء سكر الغلوكوز.

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

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

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

إن كثيرًا من المواد الأيونية والمواد القطبية تذوب بسهولة في الماء. أمّا المواد غير القطبية، مثل الزيت والفازلين ومشتقات 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 بابتعاد دقائق المذاب بعضها عن بعض وانتشارها بشكل متجانس 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).

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

سؤال

- أيّ المواد الآتية تتوقَّع أن تذوب في الماء:

  C_6H_6 ، Br_2 ، NH_3 ، KCl ، CH_4 ، $AgNO_3$ ؟
- فسِّر: عدم ذوبان الزيت في الماء.
- معتمـدًا على ما تعلَّمته عن الذائبية، اقترح طريقة مناسبة لفصل خليط من النفثالين (مادة غير قطبية) والرمل وملح الطعام.

ثانيًا

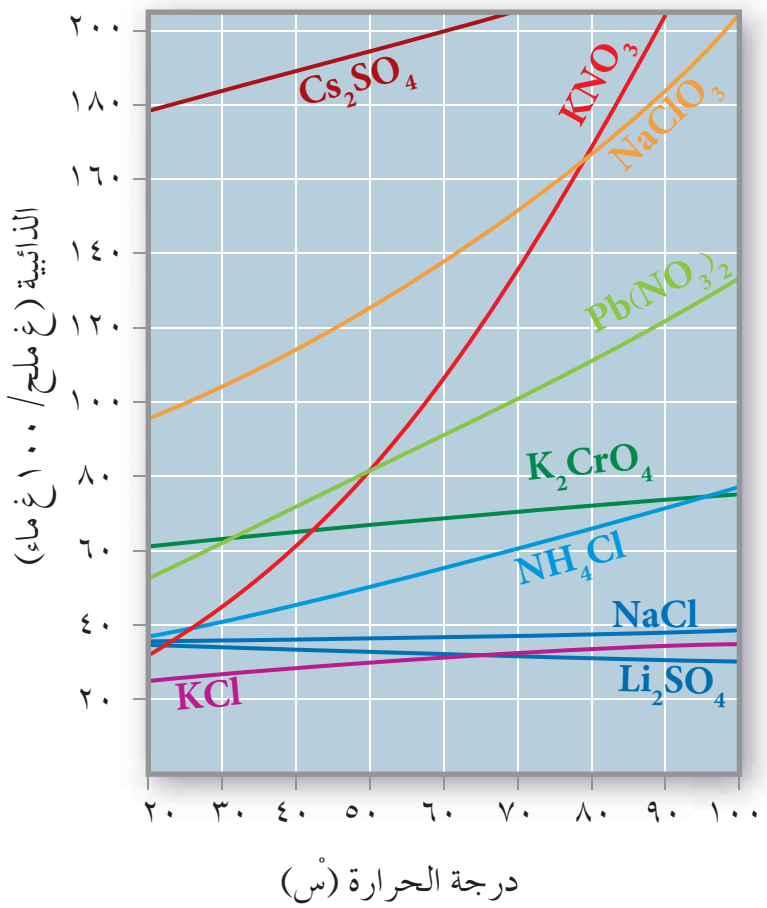
المحاليل السائلة

تُصنَّف المحاليل تبعًا لحالة المذيب الفيزيائية، فتكون سائلة، أوصُلْبة، أو غازية، وستتعرَّف في هذا الفصل أنواع المحاليل السائلة التي يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع، هي:

١ – محلول صُلْب في سائل

عرفت أنه يوجد حد أقصى من المذاب الصُّلْب الذي يمكن إذابته في كمية معينة من الماء عند درجة حرارة معينة، وهذا ما نسميه ذائبية المادة، وهي إحدى طرائق التعبير عن تركيز المحلول المشبَّع. تُعرَّف **الذائبية بأنها أكبر كتلة من المذاب يمكن أن تذوب في ١٠٠ غ من المذيب (الماء) في درجة حرارة معينة**. فما العوامل المُؤثِّرة في ذائبية المواد الصُّلْبة في الماء؟

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



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

- أيّ الأملاح أكثر ذائبيةً في درجة حرارة ٢٠ °س؟
- أيّ الأملاح أقل ذائبيةً في درجة حرارة ٢٠ °س؟
- اختر ملحين لهما الذائبية نفسها في درجة حرارة ٥٠ °س.
- ما الملح الذي تقل ذائبيته بزيادة درجة الحرارة؟
- ما كتلة نترات البوتاسيوم اللازم إذابتها في ٥٠٠ غ من الماء لعمل محلول مشبَّع منها في درجة حرارة ٥٠ °س؟

والآن، بعد دراستك الشكل (٣–٤)، وإجابة الأسئلة المتعلقة به، هل توصَّلت إلى العوامل المُؤثِّرة في ذائبية المواد الصُّلْبة 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 الصُّلْبة الأيونية في الماء باختلاف درجة الحرارة؛ فهي تزداد بازديادها، وهذا ينطبق على معظم المواد الصُّلْبة الأيونية عامة، ولكنّ بعض المواد قد تشذ عن هذه القاعدة، مثل ملح كبريتات الليثيوم Li_2SO_4؛ إذ تقل ذائبيته كلما زادت درجة الحرارة.

ابحث في المواقع الإلكترونية في الشبكة المعلوماتية عن قواعد ذائبية المواد الصُّلْبة الأيونية في الماء.

٢ – محلول سائل في سائل

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

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

المواد والأدوات المطلوبة

أنبوبا اختبار، مِخباران مدرَّجان سَعة كلٍّ منهما ١٠ مل، رابع كلوريد الكربون CCl_4، إيثانول C_2H_5OH، ماء.

الخطوات

١ – أضف ٣ مل من الماء إلى كلٍّ من الأنبوبين.

٢ – أضف ٣ مل من رابع كلوريد الكربون إلى الأنبوب الأول، و٣ مل من الإيثانول إلى الأنبوب الثاني. لاحِظ ما يحدث في كل حالة، ثم أجب عمّا يأتي:

- أيّ الأنبوبين (الأول أم الثاني) يمتزج فيه السائلان ليُكوِّنا محلولًا متجانسًا؟ وأيّهما يُكوِّن السائلان فيه طبقتين منفصلتين؟
- أيّهما يذوب في الماء: رابع كلوريد الكربون أم الإيثانول؟ فسِّر إجابتك.

إن رابع كلوريد الكربون CCl_4 لا يذوب في الماء لعدم امتلاكه خصائص قطبية، فلا يحدث تجاذب بين جزيئاته وجزيئات الماء؛ لذا فهما يُكوِّنان طبقتين منفصلتين، ولا يمتزجان.

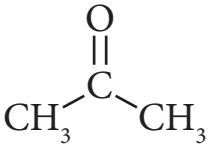
أمّا الإيثانول فيمتلك خصائص قطبية، بحيث ينشأ تجاذب هيدروجيني قوي بين جزيئاته وجزيئات الماء، فيمتزج السائلان ليُكوِّنا محلولًا متجانسًا.

الكيمياء في حياتنا

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

سؤال

أيّ المخاليط الآتية يُكوِّن محلولًا متجانسًا:

- الماء والميثانول CH_3OH.
- البنزين والماء.
- الأسيتون  والإيثانول C_2H_5OH؟

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 عدَّة، فما هذه العوامل؟ وكيف يُؤثِّر كلٌّ منها في ذائبية الغاز؟

أ – طبيعة الغاز المذاب: ادرس الجدول (٣–١) الذي يُبيِّن ذائبية بعض الغازات في الماء في ١ض.جـ، و٢٥°س، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

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

صيغة الغاز	الكتلة المولية (غ/ مول)	الذائبية (غ غاز/لتر ماء)
He	٤	٠,٠٠١٦
O_2	٣٢	٠,٠٤٠
Ar	٤٠	٠,٠٦٠
CO_2	٤٤	٠,١٤٠

- أيّ الغازات في الجدول أكثر ذائبيةً؟ وأيّها أقل ذائبيةً؟
- كيف تتغير الذائبية بزيادة الكتلة المولية؟
- اقترح تفسيرًا مناسبًا للانخفاض الكبير في ذائبية غاز He في الماء مقارنةً بذائبية غاز CO_2 في الماء.

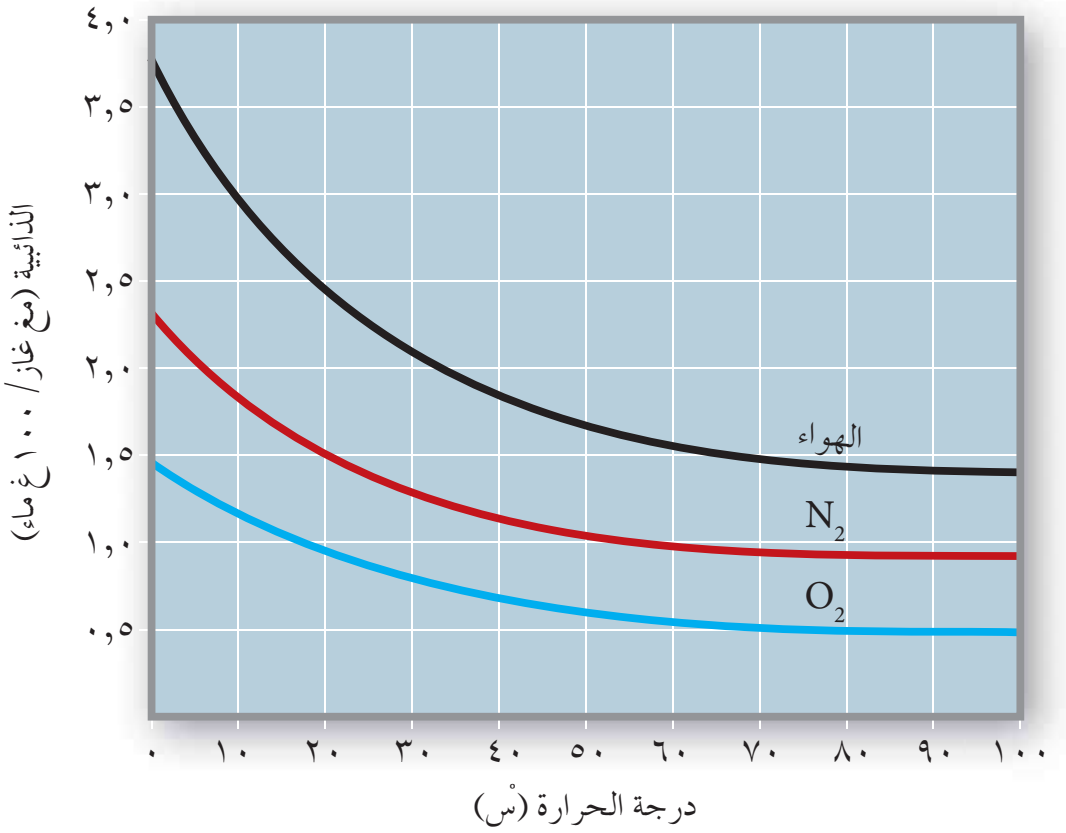
لاحِظ أن ذائبية الغازات في الماء منخفضة بصفة عامة، وأنها تزداد –كما هو واضح من الجدول– بزيادة الكتلة المولية للغاز، ويُعزى ذلك إلى زيادة قوة التجاذب بين دقائق الغاز وجزيئات الماء؛ نظرًا إلى زيادة قوى لندن التي تزداد بزيادة الكتلة المولية للغاز.

سؤال

◄ أيّ الغازين تتوقَّع أن يكون أعلى ذائبية في الماء: CO_2 أم HCl؟ فسِّر إجابتك.

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

للإجابة عن هذا السؤال، ادرس الشكل (٣–٥) الذي يُبيِّن 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 كلٍّ من غاز O_2 ، وN_2 في درجة حرارة: ١٠°س، و٣٠°س، و٦٠°س؟
- كيف تتغير ذائبية كلٍّ من الغازين بزيادة درجة الحرارة؟

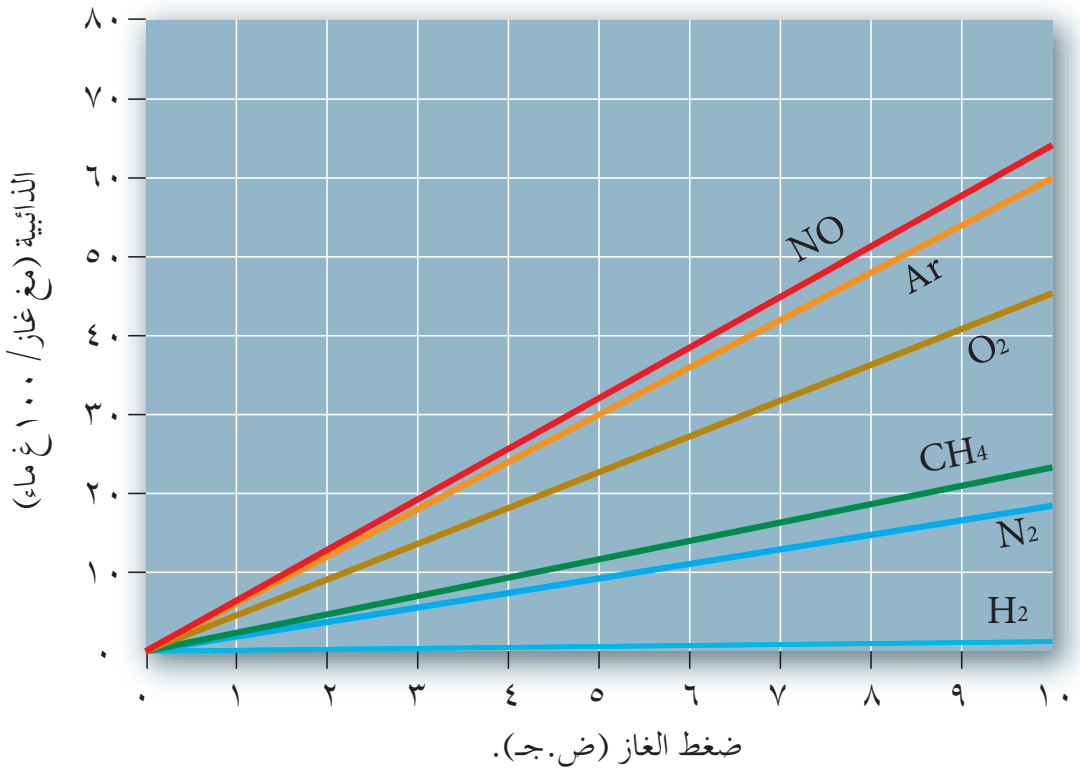
من الواضح أن ذائبية الغاز تقل بزيادة درجة الحرارة؛ فعند ذوبان الغاز في الماء تنشأ قوى تجاذب بين دقائق الغاز وجزيئات الماء، وعند زيادة درجة الحرارة يزداد معدل التصادم بين مكوِّنات المحلول، وتزداد الطاقة الحركية لدقائق الغاز إلى حدٍّ كافٍ للتغلب على قوى الترابط بين دقائق الغاز وجزيئات الماء، فتتحرَّر دقائق الغاز مغادرةً المحلول، فتقل الذائبية.

سؤال

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

جـ – ضغط الغاز: إذا وُجِدَ غاز فوق سطح كمية من الماء، فما العلاقة بين ضغط هذا الغاز وذائبيته في الماء؟

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



الشكل (٣–٦): منحنيات الذائبية لبعض الغازات في الماء عند ضغوط مختلفة.

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

تمكَّن العالِم هنري من إيجاد علاقة بين ذائبية الغاز ومقدار ضغطه المُؤثِّر في سطح السائل، وقد عبَّر عن ذلك بالقانون الآتي:

ذائبية الغاز = الثابت × ضغط الغاز

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

كما يتضح من الجدول (٣–٢).

الجدول (٣–٢): ثابت هنري لبعض الغازات الذائبة في الماء في درجات حرارة مختلفة (ملي مول / لتر.ض.جـ).

الغاز	٠ْس	٢٥ْس	٣٠ْس
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 ٣٠ْس، علمًا بأن مقدار ما يُسهِم به N_2 من ضغط يساوي ٠,٧٨ ض.جـ.
- ما سبب انطلاق فقاقيع غاز CO_2 عند فتح زجاجة المشروبات الغازية؟

أسئلة الفصل

١ – هل تتوقَّع 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؟ فسِّر ذلك.

٢ – يوضِّح الجدول الآتي ذائبية بعض المواد الصُّلْبة الأيونية في الماء (غ مذاب/١٠٠ غ ماء) في درجات حرارة مختلفة. ادرسه جيدًا، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة:

الذائبية عند درجة حرارة / المـــادة	٠س°	٢٠س°	٤٠س°	٦٠س°	٨٠س°
كبريتات النحاس (II) $CuSO_4$	١٤	٢١	٢٩	٤٠	٥٥
نترات البوتاسيوم KNO_3	١٣	٣٢	٦٤	١١٠	١٦٩
كلوريد الصوديوم NaCl	٣٦	٣٦	٣٦	٣٧	٣٨

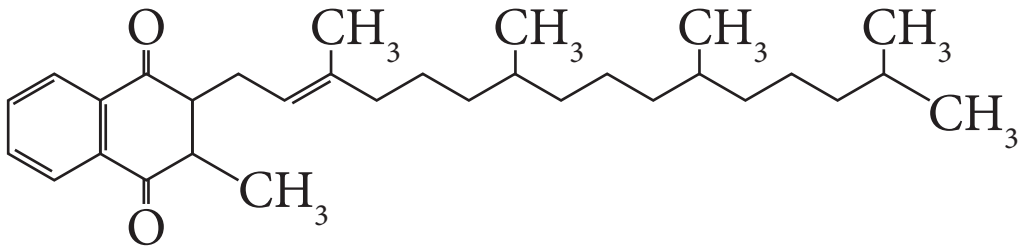
أ) ارسم منحنيات الذائبية للمواد المذكورة في الجدول، مُحدِّدًا ذائبيتها عند درجة حرارة ٧٠°س.

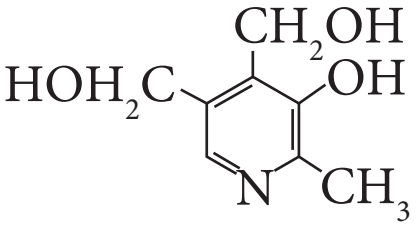
ب) رتِّب المواد التي في الجدول حسب تأثُّر ذائبيتها بدرجة الحرارة من الأكثر تأثُّرًا إلى الأقل تأثُّرًا.

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

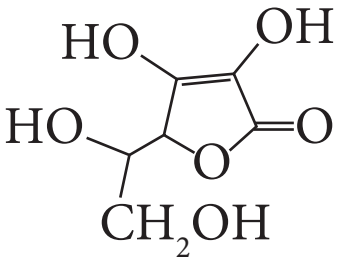
٤ – تقسم الفيتامينات التي يحتاج إليها الجسم في العمليات الحيوية قسمين: فيتامينات ذائبة في الدهون، وفيتامينات ذائبة في الماء. صَنِّف الفيتامينات المُبيَّنة في الشكل (٣–٧) إلى فيتامينات ذائبة في الدهون، وأخرى ذائبة في الماء، بناءً على معرفتك بمبادئ الذائبية.

(أ)





(ب)



(جـ)

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

الفصل الثاني

٢

تركيز المحلول
Concentration of Solution

عرفت سابقًا أنواع المحاليل، وتصنيفها، ومفهوم الذائبية، وأهمية تحديد النسبة بين كمية المذاب والمذيب؛ فزيادة كمية الملح في الطعام مثلًا تكون مزعجة، وزيادة نسبة المادة الفاعلة في الدواء قد تكون قاتلة أحيانًا؛ لذا تراعى الدقة في مزج المواد في الصناعات الدوائية، وذلك بالتحكم في تراكيز هذه المحاليل.

فما المقصود بتركيز المحلول؟ وما الطرائق المختلفة للتعبير عن تركيز محلول ما؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُوضِّح المقصود بتركيز المحلول.
- تَحُلَّ أسئلة تتعلق بتركيز المحلول (النسبة الكتلية المئوية للمذاب، والتركيز المولاري، والتركيز المولالي).
- تُحضِّر محاليل تراكيزها مختلفة.
- تُحضِّر محاليل مخففة من محاليل معلومة التركيز.
- تُقدِّر أهمية التعبير الكَمّي عن المقادير المختلفة، ولا سيما تراكيز المحاليل.

أولًا تحضير المحاليل وطرائق التعبير عن تراكيزها

نحتاج كثيرًا في حياتنا العملية إلى تحضير بعض المحاليل لاستخدامها في مجالات ذات صلة كبيرة بغذائنا ودوائنا وصناعاتنا، ولكنّ مزج كميات غير مُحدَّدة من المذاب والمذيب في هذه المحاليل يُؤثِّر في فاعليتها وخصائصها، فربَّة البيت مثلًا لا تستطيع أن تضيف أيّ كمية من الملح إلى الطعام الذي تريد طهيه بشكل عشوائي؛ لأن زيادة الملح أو نقصه عن حدٍّ معين يجعل الطعام غير مستساغ، وكذا الحال بالنسبة إلى المنظفات الكيميائية المنزلية والأصباغ والأدوية وغيرها؛ إذ تُخلَط مكوِّناتها بدقة.

الكيمياء في حياتنا

الدم محلول غروي يحتوي على غازات وأيونات وجزيئات 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 الكلى على تركيز الفضلات الذائبة في الدم بأقل مستوى ممكن.

يُعبَّر عن كمية المذاب والمذيب في المحاليل بتراكيز المحاليل، ولتحضير محلول تركيزه مُحدَّد، فإنه يلزم توافر أدوات قياس مناسبة لقياس كمية المواد الداخلة في تحضيره، ويُبيِّن الشكل (٣–٨) عددًا من هذه الأدوات.

لاحِظ أن بعض هذه الأدوات تقيس الكتل، وأن بعضها الآخر يقيس الحجوم، لكنّها جميعًا تساعدنا على تحديد نسبة تركيز المحلول، فكيف نُعبِّر عن تراكيز المحاليل كَمّيًّا باستخدام هذه الأدوات وغيرها؟

ميزان كتلة.

ماصّة.

دورق حجمي.

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

توجد طرائق عدَّة تستخدم للتعبير عن تركيز المحلول، منها:

١ – النسبة المئوية الكتلية للمذاب Mass Percent

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

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

المواد والأدوات المطلوبة

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

الخطوات

١ – زِنِ الكأس الزجاجية الفارغة باستخدام الميزان، ثم زِنْ كتلة ٠,٩ غ تقريبًا من الملح NaCl، ثم ضعها في الكأس.

٢ – أضف قليلًا من الماء إلى الملح الموجود في الكأس الزجاجية، ثم حرِّك المحلول جيدًا.

٣ – استمر في إضافة الماء تدريجيًّا إلى الكأس حتى تصبح كتلة المحلول (الملح + الماء) ١٠٠ غ، مراعيًا وزن الدورق.

- احسب نسبة كتلة الملح إلى كتلة المحلول.

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

$$\text{النسبة المئوية الكتلية} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times ١٠٠ ٪$$

حيث كتلة المحلول = كتلة المذاب + كتلة المذيب.

مثال (١)

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

الحل

$$\text{النسبة المئوية الكتلية} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times ١٠٠ ٪$$

$$٤\ ٪ = \frac{\text{كتلة } KNO_3}{٢٠} \times ١٠٠\ ٪$$

$$\text{كتلة } KNO_3 = \frac{٤\ ٪}{١٠٠\ ٪} \times ٢٠\ \text{غ}$$

$$\text{كتلة } KNO_3 = ٠,٨\ \text{غ}.$$

مثال (٢)

كم غرامًا من حمض الكبريتيك H_2SO_4 يوجد في ٠,٢ لتر من محلول الحمض الذي تركيزه ٤٠٪ نسبة كتلية، إذا علمت أن كثافة المحلول ١,٢٥ غ/ مل؟

الحل

يمكن حساب كتلة المذاب H_2SO_4 على النحو الآتي:

حجم المحلول $\times$ كثافة المحلول ← كتلة المحلول $\times$ التركيز ← كتلة H_2SO_4

كتلة المحلول = كثافة المحلول $\times$ حجم المحلول (حجم المحلول بوحدة مل = ٢٠٠ مل)

$$= \frac{١,٢٥\ \text{غ}}{\text{مل}} \times ٢٠٠\ \text{مل}$$

$$= ٢٥٠\ \text{غ}.$$

ثم نستخدم قانون النسبة المئوية الكتلية الذي يشير إلى تركيز المحلول الكتلي لحساب كتلة H_2SO_4:

$$\text{النسبة المئوية الكتلية} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times ١٠٠\ ٪$$

$$٤٠\ ٪ = \frac{\text{كتلة } H_2SO_4}{٢٥٠\ \text{غ}} \times ١٠٠\ ٪$$

$$\text{كتلة } H_2SO_4 = ١٠٠\ \text{غ}.$$

سؤال

◄ احسب كتلة الماء اللازمة لتحضير محلول من سكر المائدة تركيزه ٤٪ نسبة كتلية، علمًا بأن كتلة السكر المذابة ٨ غ.

٢ – المولارية (Molarity)

يهتم الكيميائيون في التفاعلات الكيميائية بمعرفة عدد مولات المواد المتفاعلة، وهذا يتطلب استخدام طريقة أخرى للتعبير عن تركيز المحلول تُسمّى **المولارية**، وتُعرَّف المولارية بأنها **عدد مولات المذاب في لتر من المحلول**. ولتحضير محلول تركيزه ١ مول/ لتر من KCl الذائب في الماء، نفِّذ النشاط (٣–٣).

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

المواد والأدوات المطلوبة

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

الخطوات

١ – زِنْ ٧٤,٥ غ (١ مول) تقريبًا من الملح KCl، ثم ضعها في الكأس الزجاجية.

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

٣ – كـرِّر الخطـوة الثانيـة مرات عـدَّة حتى يقترب مستوى المحلول من العلامة الموجودة على عنق الدورق.

٤ – اسـتمر بإضـافة المـاء إلى الـدورق باسـتخدام القطارة، حتى يصبح مستوى تقعر السائل عند مستوى العلامة الموجودة على عنق الدورق.

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

يُطلَق على **كمية المذاب (المُعبَّر عنها بعدد المولات الذائبة من المذاب) في لتر من المحلول اسم المولارية (التركيز المولاري)**، وتستخدم الصيغة الرياضية الآتية للتعبير عن المولارية:

$$\text{المولارية} = \frac{\text{عدد مولات المذاب (مول)}}{\text{حجم المحلول (لتر)}}$$

وبالنظـر إلـى المعادلة السـابقة، يمكن القـول إن التركيز المولاري هو معامل تحويل ينسـب عدد المولات إلى حجم المحلول، 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:

كتلة NaOH ÷ الكتلة المولية ← عدد المولات ÷ الحجم باللتر ← التركيز المولاري

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

الكتلة المولية NaOH = الكتلة المولية H + الكتلة المولية O + الكتلة المولية Na

= ١ + ١٦ + ٢٣ = ٤٠ غ/ مول.

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

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

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

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

مثال (٤)

احسب كتلة اليوريا $CO(NH_2)_2$ اللازمة لتحضير محلول حجمه ٥٠٠ مل بتركيز (٠,٥مول/ لتر).

الحل

يمكن حساب كتلة المذاب (اليوريا) على النحو الآتي:

التركيز × حجم المحلول (لتر) ← عدد المولات × الكتلة المولية ← الكتلة (غ)

عدد مولات $CO(NH_2)_2$ اللازم لتحضير المحلول:

عدد المولات = التركيز المولاري (مول/ لتر) × الحجم (لتر)

$$= ٠,٥ \frac{\text{مول}}{\text{لتر}} \times ٠,٥ \text{ لتر} = ٠,٢٥ \text{ مول } CO(NH_2)_2$$

كتلة المذاب $CO(NH_2)_2$ = عدد مولات $CO(NH_2)_2$ × الكتلة المولية لـ $CO(NH_2)_2$

$$= ٠,٢٥ \text{ مول} \times ٦٠ \frac{\text{غ}}{\text{مول}}$$

= ١٥ غ.

سؤال

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

٣ - المولالية Molality

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

نشاط (٣-٤): تحضير محلول سكري تركيزه ٠,١ مول/ كغ

المواد والأدوات المطلوبة

سكر الغلوكوز $C_6H_{12}O_6$، ماء، ميزان كتلة، كأسان زجاجيتان سَعة كلٍّ منهما ٢٠٠ مل، ملعقة، ورق ترشيح.

الخطوات

١ – زِنْ ٣,٦ غرامات من سكر الغلوكوز على ورق ترشيح، ثم ضعه في كأس زجاجية سَعتها ٢٠٠ مل.

٢ – زِنْ ٢٠٠ غرام من الماء في الكأس الزجاجية الأخرى.

٣ – أضف الماء تدريجيًّا إلى الكأس الزجاجية التي تحوي سكر الغلوكوز حتى تتأكد من ذوبان كمية السكر جميعها.

- احسب كتلة الماء بالكيلوغرام.
- احسب عدد مولات سكر الغلوكوز.
- احسب نسبة عدد مولات سكر الغلوكوز إلى كتلة الماء بالكيلوغرام.
- ماذا يُطلَق على هذه النسبة؟

يُعبِّر **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 محاليل تركيزها المولالي معلوم.

مثال (٥)

احسب التركيز المولالي لمحلول مُكوَّن من إذابة ٥,٦ غ من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH في ٢٠٠ غ من الماء.

الحل

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

كتلة KOH (غ) ← (÷ الكتلة المولية) ← عدد المولات ← (÷ كتلة المذيب (كغ)) ← المولالية

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

$$= \frac{٥,٦ \text{ غ}}{٥٦ \text{ غ/ مول}} = ٠,١ \text{ مول.}$$

$$\text{كتلة الماء (كغ)} = \frac{٢٠٠ \text{ غ}}{١٠٠٠ \text{ غ / ١ كغ}} = ٠,٢ \text{ كغ.}$$

$$\text{المولالية} = \frac{\text{عدد مولات KOH}}{\text{كتلة المذيب بالكغ}} = \frac{٠,١ \text{ مول}}{٠,٢ \text{ كغ}}$$

$$= ٠,٥ \text{ مول/ كغ.}$$

سؤال

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

ثانيًا

تحضير المحاليل بالتخفيف

يمكن تخفيف أيّ محلول عن طريق إضافة المذيب إليه، فيقل تركيزه، ومن المشاهدات العملية لذلك تخفيف العصير المُركَّز الذي تشربه بإضافة كمية من الماء إليه، فيصبح لونه أخف، وحلاوته أقل، فيختلف طعمه. ولكن، هل تتغير كمية العصير مثلًا في حال زيادة الماء؟ وماذا يحدث لتركيز العصير؟ للإجابة، نفِّذ 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 سَعته ٥٠ مل، دورق حجمي سَعته ١ لتر، قمع.

الخطوات

١ – زِنْ ١ غ تقريبًا من دايكرومات البوتاسيوم باستخدام الميزان الحساس.

٢ – ضع الكتلة في الدورق الحجمي الذي سَعته ٥٠ مل، ثم أضف الماء إلى العلامة المُبيَّنة على عنق الدورق.

٣ – احسب تركيز المحلول بالمول/ لتر.

٤ – انقل محتويات الدورق إلى الدورق الآخر الذي سَعته ١ لتر باستخدام القمع، ثم أكمل الحجم (بإضافة الماء) إلى العلامة المُبيَّنة 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؟
- أيّ المحلولين أعلى تركيزًا: الأول أم الثاني؟

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

بالتخفيف، 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 $ت_{١}$ ، و $ح_{١}$ إلى التركيز المولاري والحجم، على التوالي، للمحلول قبل تخفيفه، وترمز $ت_{٢}$، و $ح_{٢}$ إلى التركيز المولاري والحجم، على التوالي، للمحلول بعد التخفيف.

مثال (٦)

احسب تركيز محلول KOH الذي حُضِّر بإضافة ١٥٠ مل من الماء المقطَّر إلى ٥٠ مل من محلول KOH الذي تركيزه ٠,٤ مول/ لتر.

الحل

حجم المحلول $ح_{٢}$ = ١٥٠ مل + ٥٠ مل

= ٢٠٠ مل.

$ت_{١} \times ح_{١} = ت_{٢} \times ح_{٢}$

٠,٤ مول/ لتر × ٥٠ مل = $ت_{٢}$ × ٢٠٠ مل

$ت_{٢}$ = ٠,١ مول/ لتر.

سؤال

- ما الحجم اللازم أخذه من محلول هيدروكسيد الصوديوم ذي التركيز ٠,٥ مول/ لتر لتحضير ٦٠٠ مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم المُخفَّف الذي تركيزه ٠,١ مول/ لتر؟

أسئلة الفصل

١ – عرِّف ما يأتي:

المولارية، المولالية، الذائبية، المحلول، التخفيف.

٢ – احسب التركيز المولاري لمحلول تركيزه ٧٥٪ بالكتلة من H_3PO_4، وكثافته ١,٥٨ غ/ مل. (الكتلة المولية لـ H_3PO_4 = ٩٨ غ/ مول).

٣ – ما كتلة الميثانول CH_3OH المذابة في ٤٠٠ غ ماءً التي تلزم لتحضيرمحلول تركيزه ٠,٢٤ مول/ كغ؟ (الكتلة المولية لـ CH_3OH = ٣٢ غ/ مول)؟

٤ – ادرس الشكل (٣–٩)، ثم أجب عمّا يأتي:

أ) ما عدد مولات HCl؟

ب) احسب كتلة HCl.

علمًا بأن الكتلة المولية HCl = ٣٦,٥ غ/ مول.

محلول HCl
(٠,٤) مول/ لتر
(١٥٠) مل

الشكل (٣–٩): وعاء يحوي محلول HCl.

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

الفصل الثالث

٣

خصائص المحاليل
Properties of Solutions

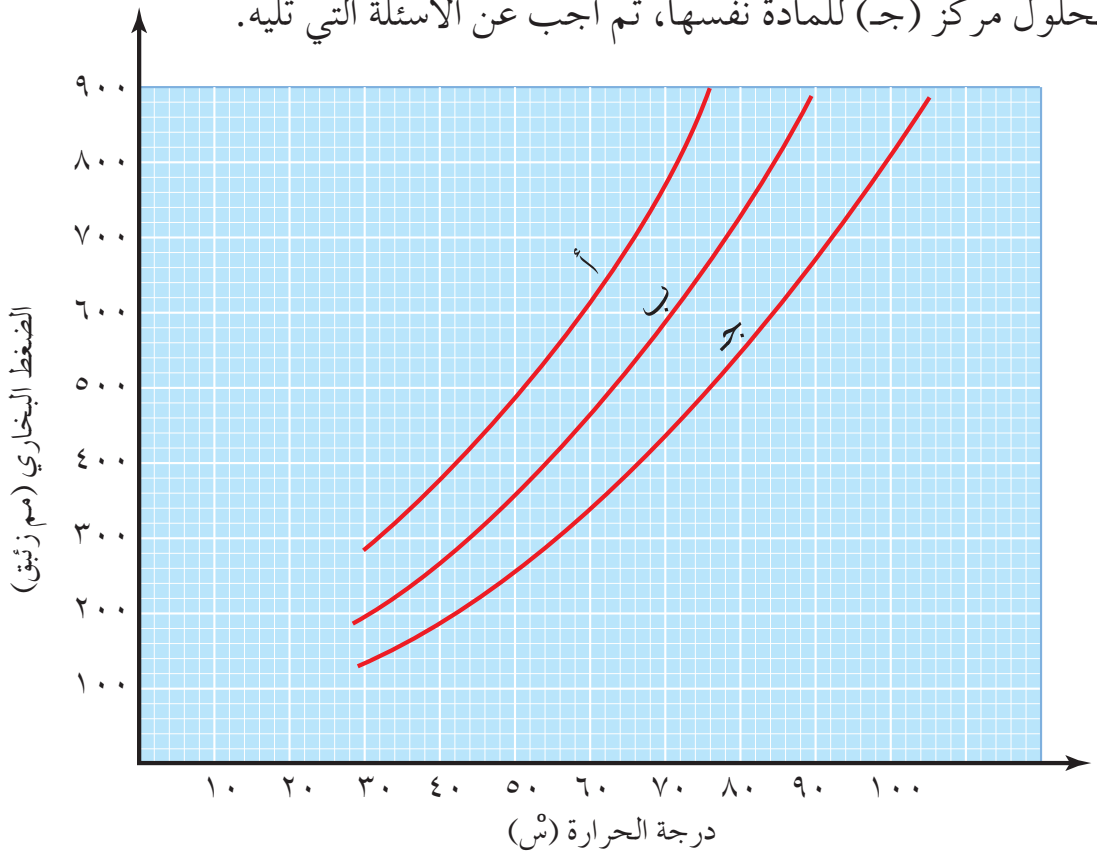
عرفت سابقًا أن الماء النقي يغلي في درجة حرارة ١٠٠ °س، ويتجمد في درجة حرارة صفر °س عندما يكون الضغط الواقع على سطحه ١ ض.جـ، وأن للماء ضغطًا بخاريًّا ثابتًا في درجة حرارة معينة. فهل تختلف خصائص الماء عند إذابة مادة ما فيه؟ وكيف يكون هذا الاختلاف؟ وما التطبيقات العملية المفيدة لذلك في حياتنا؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُوضِّح تأثير تركيز المذاب في تغيير خصائص المذيب، مثل: الضغط البخاري، ودرجة الغليان، ودرجة التجمد.
- تحسب درجة غليان المحلول، ودرجة تجمده إذا علمت نوع المذاب وتركيزه.
- تقارن بين أثر المركَّبات الكهرلية والمركَّبات غير الكهرلية في تغيير خصائص المذيب النقي.
- تُوضِّح بعض التطبيقات العملية المفيدة المرتبطة بخصائص المحلول.

أولًا الضغط البخاري للمحلول

يُعـرَّف **الضغط البخـاري للسائـل** (Vapor Pressure of Solution) **بأنه الضغـط الذي ينتج من جزيئـات بخـار السائل في وعـاء مغلق**، والذي يكون ثابتًا عند درجة حـرارة معينة، وهنا يتبادر إلى الذهن السـؤال الآتي: ماذا يحدث للضغط البخاري لسائل ما عند إضافة كمية من المذاب إليه؟ إذا أضـفنا كمية من السـكر إلى ماء في وعاء مغلق، فهل تختلف قيمة الضغط البخاري للمحلول عنها للماء النقي؟ لتتعرَّف ذلك، ادرس الشكل (٣–١٠) الذي يُمثِّل مقارنةً بين الضغط البخاري لمذيـب نقـي (أ) والضـغط البخـاري لمحلول مخفَّف (ب) مـن مادة غير متطايرة، والضـغط البخاري لمحلول مركَّز (جـ) للمادة نفسها، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

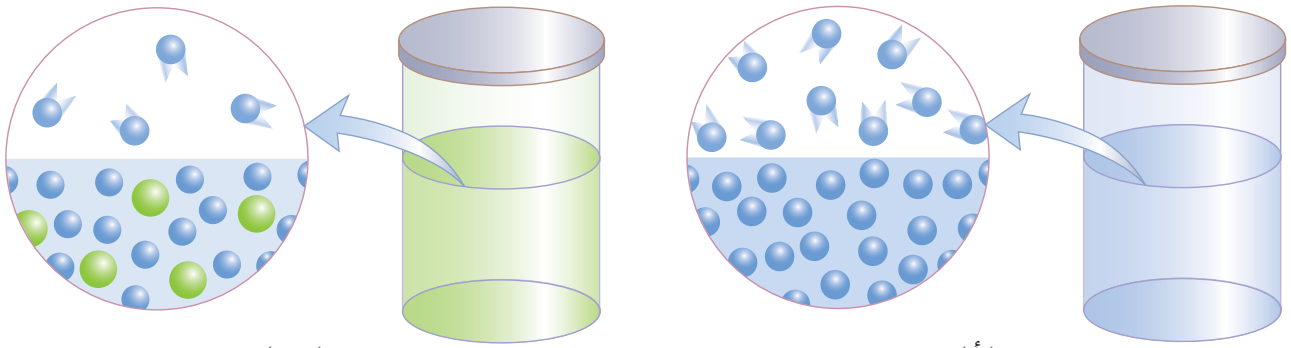


الشكل (٣–١٠): قِيَم الضغط البخاري لمذيب نقي (أ)، ومحلول مخفَّف (ب)، ومحلول مركَّز (جـ).

- أيّهمـا أعلى قيمةً: الضـغط البخاري للمحلول (ب) أم الضـغط البخـاري للمذيب النقي في درجة حرارة ٦٠ سْ؟
- أيّهما أعلى قيمةً: الضغط البخاري للمحلول (جـ) أم الضغط البخاري للمذيب النقي في درجة حرارة ٦٠ سْ؟

- رتِّب قِيَم الضغط البخاري للمواد (أ، ب، جـ) تصاعديًّا عند درجة حرارة ٦٠ْس.
- ما العلاقة بين تركيز المحلول وقيمة الضغط البخاري له عند درجة حرارة معينة؟ فسِّر ذلك.

من الواضح أن الضغط البخاري لمحلول مادة غير متطايرة يكون دائمًا أقل من الضغط البخاري للمذيب النقي عند أيّ 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 الحجوم يكون أقل بسبب وجود دقائق المذاب التي ترتبط مع دقائق المذيب بقوى تجاذب، وهو ما يُقلِّل عدد دقائق المذيب التي يمكن أن تفلت من سطح السائل، وتتحول إلى الحالة الغازية، فتقل قيمة الضغط البخاري للمحلول عنها للمذيب النقي، ويوضِّح الشكل (٣-١١) انخفاض عدد دقائق المذيب المتبخرة في المحلول عنها في المذيب النقي.

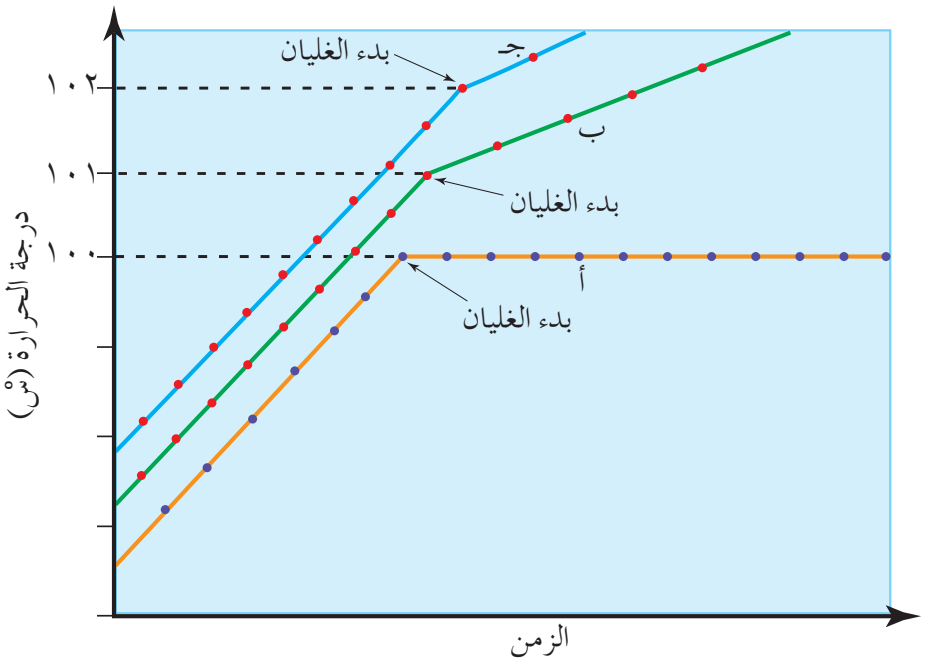


الشكل (٣-١١): انخفاض عدد دقائق المذيب المتبخرة في المحلول (ب) عنها في المذيب النقي (أ).

ثانيًا درجة غليان المحلول

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؟

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



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

- ما التغيرات التي طرأت على درجة غليان الماء عند إذابة مادة فيه مقارنةً بالماء النقي؟
- حدِّد درجة غليان كلٍّ من محلول السكر، ومحلول كلوريد الصوديوم، علمًا بأن لهما التركيز نفسه.
- كيف تُفسِّر الاختلاف في درجة غليان كلٍّ من محلول السكر (لا كهرلي)، ومحلول كلوريد الصوديوم (كهرلي)؟

يتضح ممّا سبق أن درجة غليان المحلول الكهرلي (كلوريد الصوديوم) هي أعلى من درجة غليان المحلول اللاكهرلي (محلول السكر) المساوي له في التركيز، وهما أعلى من درجة غليان الماء النقي، ويُعزى ذلك الاختلاف إلى ما يحدث عند إذابة مادة ما (جزيئية، أو أيونية) في الماء؛ إذ يقل عدد دقائق المذيب في وحدة الحجوم، فيقل عدد الدقائق الموجودة على سطح السائل، وهذا يُقلِّل عدد دقائق المذيب القادرة على الإفلات من سطح السائل، فيقل الضغط البخاري، وتزيد درجة الغليان. ولمّا كان عدد دقائق المذاب في المركَّبات الكهرلية أكبر مقارنةً بالمركَّبات اللاكهرلية فإن عدد دقائق المذيب الموجودة على السطح يكون أقل في حالة المركَّبات الكهرلية، وهذا يُقلِّل من عدد جزيئاته المتبخرة، ثم من قيمة الضغط البخاري للمحلول، فتزيد درجة غليان المحلول الكهرلي مقارنةً بدرجة غليان المحلول اللاكهرلي.

لتوضيح ذلك، ادرس المعادلتين الآتيتين اللتين تُمثِّلان تفكُّك محلولين في الماء بالتركيز المولالي نفسه، أحدهما كلوريد الصوديوم NaCl، والآخر السكر $C_6H_{12}O_6$، ثم أجب عن الأسئلة التي تليهما.

$$NaCl_{(S)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

$$C_6H_{12}O_{6\,(s)} \xrightarrow{H_2O} C_6H_{12}O_{6\,(aq)}$$

- ما عدد مولات الدقائق الناتجة من إذابة مول من كلوريد الصوديوم؟
- ما عدد مولات الدقائق الناتجة من إذابة مول من سكر الغلوكوز؟
- احسب التركيز المولالي لمحلول سكر الغلوكوز 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 الغلوكوز (مادة لا كهرلية غير متطايرة) في كيلوغرام من الماء فإن عدد دقائق السكر في المحلول تساوي مولًا واحدًا من جزيئات السكر، وعند إذابة مول من كلوريد الصوديوم (مادة كهرلية غير متطايرة) في كيلوغرام من الماء فإن الملح يتفكَّك لينتج مولين من الأيونات في المحلول، وهو ما يجعل درجة غليان المحلول الكهرلي أعلى منها للمحلول اللاكهرلي.

وقد تَبيَّن أن مقدار الارتفاع في درجة غليان المحلول يتناسب طرديًّا مع التركيز المولالي للمحلول، وفق العلاقة الآتية:

الارتفاع في درجة الغليان = ثابت × تركيز المحلول (مول/ كغ)

$$\Delta غ = ك_غ \times م$$

ويُسمّى الثابت $ك_غ$ **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.**

سؤال

◄ ما وحدة قياس ثابت الارتفاع في درجة الغليان (ك غ)؟

يُبيِّن الجدول (٣–٣) قِيَم ثابت الارتفاع لدرجة غليان بعض المذيبات السائلة.

الجدول (٣–٣): قِيَم ثابت الارتفاع لدرجة غليان بعض المذيبات السائلة.

المذيب	درجة الغليان (سْ) عند ضغط ١ ض.جـ	قِيَم ثابت الارتفاع لدرجة الغليان (سْ. كغ/ مول)
الماء	١٠٠	٠,٥٢
البنزين	٨٠,١	٢,٦١
الإيثانول	٧٨	١,٠٧
حمض الإيثانويك	١١٨,٥	٢,٦١

مثال (١)

احسب درجة غليان محلول ناتج من إذابة ٢٤,٤ غ من حمض البنزويك (كتلته المولية = ١٢٢ غ/ مول) في ٥٠٠ غ من الإيثانول، علمًا بأن درجة غليان الإيثانول ٧٨سْ، وثابت غليانه ك غ = ١,٠٧سْ. كغ/ مول.

الحل

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

$$= \frac{٢٤,٤}{١٢٢} = ٠,٢ \text{ مول.}$$

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

$$= \frac{٠,٢}{٠,٥} = ٠,٤ \text{ مول / كغ.}$$

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

= ١,٠٧ × ٠,٤

= ٠,٤٢٨ °س.

درجة غليان المحلول = درجة غليان المذيب النقي + Δ غ

= ٧٨ + ٠,٤٢٨

= ٧٨,٤٢٨ °س.

سؤال

◄ احسب درجة غليان محلول ناتج من إذابة ١٨,٤ غ غليسرول في كيلوغرامين من الماء، علمًا بأن ك$_{غ}$ للماء ٠,٥٢ °س. كغ / مول، والكتلة المولية للغليسرول ٩٢ غ/مول.

مثال (٢)

أُذيب ٧,٤٥ غ من كلوريد البوتاسيوم KCl في ٣٦٠ غ من الماء. احسب درجة غليان المحلول، علمًا بأن الكتلة المولية لكلوريد البوتاسيوم ٧٤,٥ غ/ مول، وأن ك$_{غ}$ للماء ٠,٥٢ °س. كغ/ مول.

الحل

KCl مادة أيونية تتفكَّك كليًّا في الماء كما في المعادلة: $KCl_{(s)} \xrightarrow{H_2O} K^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$

فيكون عدد دقائق المذاب في المحلول مولين من الأيونات.

عدد مولات KCl = $\frac{٧,٤٥}{٧٤,٥}$ = ٠,١ مول.

م = $\frac{٠,١}{٠,٣٦}$ = ٠,٢٨ مول/ كغ.

التركيز الكلي للأيونات = ٢ × ٠,٢٨ = ٠,٥٦ مول/ كغ

Δ غ = ك$_{غ}$ × م

= ٠,٥٢ × ٠,٥٦

= ٠,٢٩ °س.

درجة غليان المحلول = ١٠٠ + ٠,٢٩ = ١٠٠,٢٩ °س.

سؤال

- أيّ المحلولين الآتيين له أعلى درجة غليان: Na_2CO_3 أم NaBr، علمًا بأن تركيزهما المولالي متساوٍ، والضغط المُؤثِّر فيهما هو نفسه (بافتراض التفكُّك التام لكلٍّ منهما)؟
- اكتب معادلة تُفكِّك K_2SO_4 إلى أيونات عند إذابته في الماء، ثم احسب التركيز الكلي للأيونات في محلول تركيزه ٠,٠٠٣ مول/ كغ من K_2SO_4، مُفترِضًا التفكُّك التام للمحلول.

ثالثًا درجة تجمد المحلول

لماذا يحرص الناس في بداية فصل الشتاء على إضافة مادة غلايكول الإيثيلين $C_2H_6O_2$ إلى الماء الموجود في مِشْعاع السيارة؟ وما أثر هذه المادة في خصائص الماء؟

من المعروف أن درجة تجمد الماء النقي هي صفر°س عند ١ ض.جـ، وأنه عندما تنخفض درجة الحرارة إلى الصفر أو تحت الصفر يتجمد الماء، ويزداد حجمه في مِشْعاع السيارة، فتتعطل. وقد ثبت أنه عند إذابة مول واحد من غلايكول الإيثيلين في كيلوغرام من الماء فإن درجة تجمد المحلول تنخفض إلى (– ١,٨٦°س)، وبذلك لا يتجمد الماء في مِشْعاع السيارة في فصل الشتاء عندما تنخفض درجة الحرارة إلى صفر°س.

وقد ثبت أيضًا أن مقدار الانخفاض في درجة تجمد المحلول يتناسب طرديًّا مع تركيز المحلول، ويمكن التعبير عن التركيز المولالي بالعلاقة الآتية:

مقدار الانخفاض في درجة التجمد = ثابت × التركيز المولالي

$$\Delta ت = ك_ت \times م$$

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

ويُبيِّن الجدول (٣–٤) قِيَم ثابت الانخفاض في درجة التجمد لبعض المذيبات السائلة.

الجدول (٣–٤): قيم ثابت الانخفاض في درجة التجمد لبعض المذيبات السائلة.

المذيب	درجة التجمد (°س)	قيم 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 المحلول أيام الشتاء، وذلك برشِّ الطرقات ببعض المركَّبات، 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 الغلوكوز $C_6H_{12}O_6$، مذابة في ٢٥٠ غ من الماء، علمًا بأن الكتلة المولية للسكر ١٨٠ غ/ مول، و $ك_ت$ للماء ١,٨٦ °س.كغ/ مول.

الحل

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

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

$$= ٠,٠٦٩ \text{ مول من الغلوكوز.}$$

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

$$= ٠,٢٧٦ \text{ مول/ كغ.}$$

$$\text{مقدار الانخفاض في درجة التجمد } (\Delta ت) = م \times ك_ت$$

$$= ٠,٢٧٦ \times ١,٨٦$$

$$= ٠,٥١ \text{ °س.}$$

$$\text{درجة تجمد المحلول} = \text{صفر} - ٠,٥١$$

$$= - ٠,٥١ \text{ °س.}$$

يُطلَق 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؛ أيْ على عدد دقائق المذاب، ولهذه الخصائص أهمية في التطبيقات العملية مثل تعيين الكتلة المولية للمذاب كما يتضح في المثال الآتي.

مثال (٤)

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

الحل

$\Delta غ$ = درجة غليان المحلول − درجة غليان المذيب النقي

$\Delta غ$ = ٨٠,٢٣ − ٨٠,١ = ٠,١٣°س

$\Delta غ = م \times ك_{غ}$

٠,١٣ = م × ٢,٦١

$$م = \frac{٠,١٣}{٢,٦١}$$

= ٠,٠٤٩٨ مول/ كغ.

عدد مولات المذاب = م × كتلة المذيب

= ٠,٠٤٩٨ × ٠,١ = ٠,٠٠٤٩٨ مول.

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

$$= \frac{٠,٦٤}{٠,٠٠٤٩٨}$$

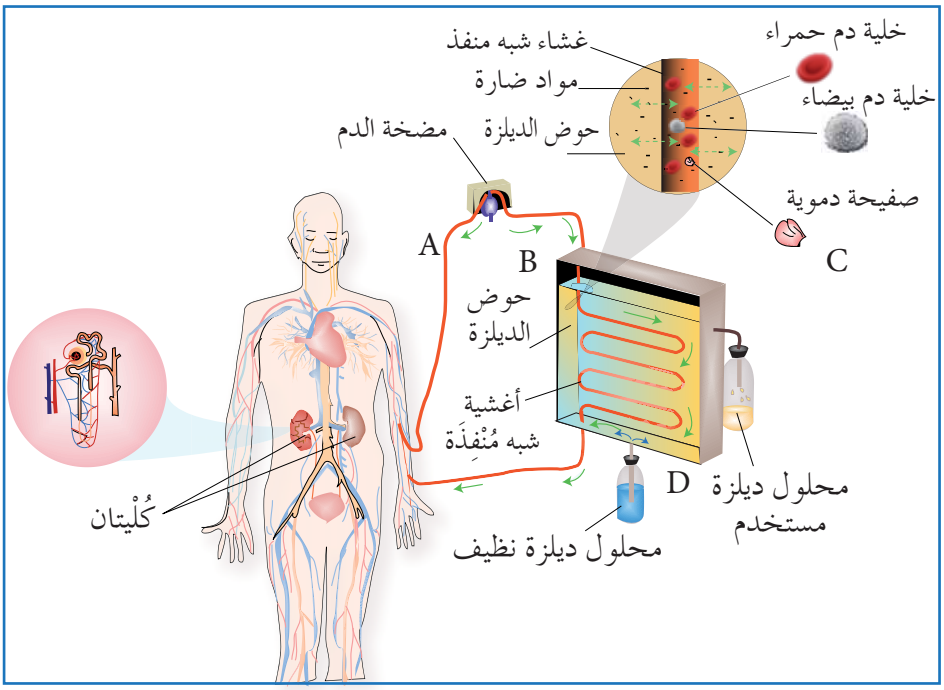
= ١٢٨,٥ غ/ مول.

سؤال

◄ أُذيب ٩٩ غ من مركَّب لا كهرلي في ٦٦٩ غ ماءً، فوُجِدَ أن درجة تجمد المحلول الناتج (− ٠,٩٦°س). احسب الكتلة المولية للمركَّب.

محاليل غسل الكلى لمرضى الفشل الكلوي

ينقل دمك الأكسجين والمواد المغذية الأخرى إلى الخلايا، ويساعد على التخلص من المواد الضارة من هذه الخلايا بنقلها إلى الكلية؛ لأن الوظيفة الرئيسة للكلية هي تصفية المواد السامة من الدم وإخراجها مع البول، علمًا بأن الدم جميعه يمر بالكليتين كل ٤٥ دقيقة، وفي حال فشلت الكلية في عملها فإن السموم تتراكم داخل الجسم، وعندئذٍ يمكن تنقية الدم خارج الجسم باستخدام جهاز تنقية خاص يمر بمراحل عدَّة في ما يُعرَف بعملية الديلزة (Hemodialysis)، انظر الشكل (٣-١٤).



الشكل (٣-١٤): مراحل عملية الديلزة.

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

أمّا المرحلة B فتشمل الأنابيب التي داخل جهاز الديلزة، والتي تحتوي على أغشية شبه مُنْفِذَة تسمح بتبادل المواد خلالها في الاتجاهين اعتمادًا على الاختلاف في التركيز، فتنتقل المواد الضارة من الوسط الأعلى تركيزًا (دم المريض) إلى الوسط الأقل تركيزًا (جهاز الديلزة).

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

وتتمثَّل المرحلة D في إضافة محلول ديلزة نقي، وإزالة المحلول الذي يحوي المواد الضارة.

جدير بالذكر أن هذه المراحل من عملية الديلزة تُكرَّر إلى أن يُنقَّى الدم، ويستغرق ذلك ساعات عدَّة، فسبحان الله الذي أبدع خلقه، فقال: ﴿وَفِيٓ أَنفُسِكُمۡۚ أَفَلَا تُبۡصِرُونَ﴾.

أسئلة الفصل

١ – رتِّب المحاليل ذات التراكيز الآتية تصاعديًّا وفق درجة غليانها، مُفترِضًا التفكُّك التام للمركَّبات الكهرلية منها:

أ) محلول السكروز $C_{12}H_{22}O_{11}$ (سكر المائدة) الذي تركيزه ٠,١ مول/ كغ.

ب) محلول كلوريد الصوديوم NaCl الذي تركيزه ٠,١ مول/ كغ.

جـ) محلول كلوريد المغنيسيوم $MgCl_2$ الذي تركيزه ٠,٠٨ مول/ كغ.

د) محلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 الذي تركيزه ٠,٠٤ مول/ كغ.

٢ – ضع إشارة (√) إزاء العبارة الصحيحة، وإشارة (X) إزاء العبارة غير الصحيحة في ما يأتي:

أ) تعتمد الخصائص الجمعية للمحاليل على عدد دقائق المذاب بغض النظر عن نوعها.

ب) إذا كانت درجة تجمد المحلول المائي تحت الصفر°س فإن درجة غليانه تكون أعلى من ١٠٠°س.

جـ) مقدار الانخفاض في درجة التجمد لمحلول ملح الطعام ٠,١ مول/ كغ يساوي نصف مقدار الانخفاض في درجة التجمد لمحلول السكر ٠,١مول/ كغ.

٣ – احسب درجة تجمد محلول مائي من كلوريد الباريوم $BaCl_2$ يحتوي على ٠,٠١ مول من $BaCl_2$ في ٥٠٠ مل من الماء، علمًا بأن كلوريد الباريوم مادة متأينة تتفكَّك كليًّا إلى أيونات في المحلول، وكثافة الماء ١ غ/ مل.

٤ – أُذيب ١,٢ غ من مادة غير متطايرة في ٦٠ غ من البنزين، وقد وُجِدَ أن درجة غليان المحلول ٨٠,٩٦°س. إذا علمت أن درجة غليان البنزين النقي هي ٨٠,١°س، وأن ك$_{غ}$ للبنزين ٢,٦١°س. كغ/ مول، فاحسب الكتلة المولية للمادة المذابة.

٥ – كم غرامًا يجب إضافته من مركَّب صيغته الجزيئية $C_4H_{10}O_3$ إلى ٤٠٠ غ من الماء لينتج محلول درجة تجمده (–١٠°س)، علمًا بأن ثابت انخفاض درجة التجمد للماء هو ١,٨٦ °س كغ/ مول، والكتلة المولية للمركَّب ١٠٦ غ/ مول.

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

(١) المادة التي لا تذوب في الماء هي:

أ) CH_3CH_2OH ب) HCl جـ) Na_2CO_3 د) CCl_4

(٢) ذائبيـة غـاز الأرغـون عند درجة حرارة ٢٥°س وضغط جوي ٠,٤ ض جـ بوحـدة ملي مول/ لتر هي:

أ) ٠,٢٦ ب) ٠,٦ جـ) ٠,٠٦ د) ٣,٧٥

(٣) عدد مولات $MgCO_3$ الموجودة في لترين من محلوله ذي التركيز ٠,٠٢ مول/ لتر هو:

أ) ٠,٠١ ب) ٠,٠٤ جـ) ٠,٤ د) ١,٠

(٤) محلول KOH حجمه ٣٠٠ مل، وتركيزه ٠,٢ مول/ لتر، خُفِّف بإضافة ٢٠٠ مل ماء، فأصبح تركيزه الجديد:

أ) ٠,٣ ب) ١,٢ جـ) ٠,١٢ د) ٠,٠٣

(٥) النسبة المئوية الكتلية لمحلول ناتج من إذابة ٤٠ غ KNO_3 في ١٦٠ غ من الماء هي:

أ) ٢٠٪ ب) ٢٥٪ جـ) ٤٠٪ د) ١٠٪

(٦) المحلول الذي درجة غليانه أعلى من بين المحاليل الآتية، بعد إذابة مول واحد من المذاب من كلٍّ منها في كيلوغرام من الماء هو:

أ) السكر ب) NaCl جـ) $CaCl_2$ د) $MgSO_4$

٢ – احسب النسبة المئوية الكتلية لحمض الفورميك HCOOH (الحمض المسؤول عن الوخزة المؤلمة من لدغة النمل) في محلوله المائي الذي تركيزه ١,١ مول/ لتر، وحجمه لتر، علمًا بأن كثافة المحلول ١,٠١ غ/ مل، والكتلة المولية لـ HCOOH = ٤٦ غ/ مول.

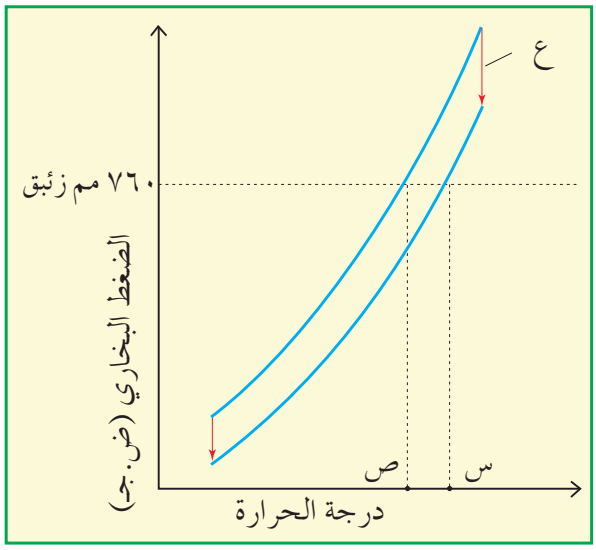
٣ – يوجد سكر الغلوكوز $C_6H_{12}O_6$ في الفاكهة، ويُسمّى سكر الدم لأنه موجود أيضًا في الدم، وهو مصدر رئيس للطاقة في جسم الإنسان. ما التركيز المولالي لمحلول منه يحوي ٥ غ من الغلوكوز المذاب في ٢٥ غ من الماء، علمًا بأن الكتلة المولية لـ $C_6H_{12}O_6$ = ١٨٠ غ/ مول؟

٤ – إذا كان التركيز المولالي لمحلول KCl يساوي ٠,٢ مول/ كغ، فاحسب التركيز المولاري لهذا المحلول إذا علمت أن كثافة المحلول ١,١ غ/ مل، والكتلة المولية لـ KCl = ٧٤,٥ غ/ مول.

٥ – محلول مائي يحوي ٠,٩ مول/ لتر من $Pb(NO_3)_2$. احسب التركيز المولالي لهذا المحلول، علمًا بأن كثافته ١,٢٥ غ/ مل، والكتلة المولية لـ $Pb(NO_3)_2$ = ٣٣١ غ/ مول.

٦ – الهرمونات مواد كيميائية تعمل على ضبط عمليات الأيض في أجسام الكائنات الحية. فإذا أُذيبت عيِّنة من هرمون كتلتها ٠,٥٤٦ غ في ١٥ غ من البنزين، وكان مقدار الانخفاض في درجة التجمد ٠,٢٤ °س، فاحسب الكتلة المولية للهرمون، علمًا بأن $ك_ت$ للبنزين ٥,٠٦ °س. كغ/ مول، ودرجة تجمد البنزين ٥,٥ °س.

٧ – ادرس الشكل (٣–١٣) الذي يوضِّح منحنى الضغط البخاري للماء النقي، ومنحنى الضغط البخاري لمحلول مادة غير متطايرة ولا كهرلية، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



الشكل (٣–١٣): منحنى الضغط البخاري للماء النقي، ومحلول مادة غير متطايرة ولا كهرلية.

أ) عيِّن منحنى الضغط البخاري للمحلول.

ب) ماذا تُمثِّل الرموز: س، ص، ع؟

جـ) فسِّر سبب الاختلاف في قِيَم الضغط البخاري للمحلول عنها للماء النقي.

د) كيف تكون قِيَم الضغط البخاري لمحلول مادة كهرلية مقارنةً بمحلول مادة لاكهرلية (أقل، أعلى، متساوية) إذا كان للمحلولين التركيز نفسه؟

٨ – إذا كانت كمية الماء في مِشْعاع سيارة ٤,٥ كغ:

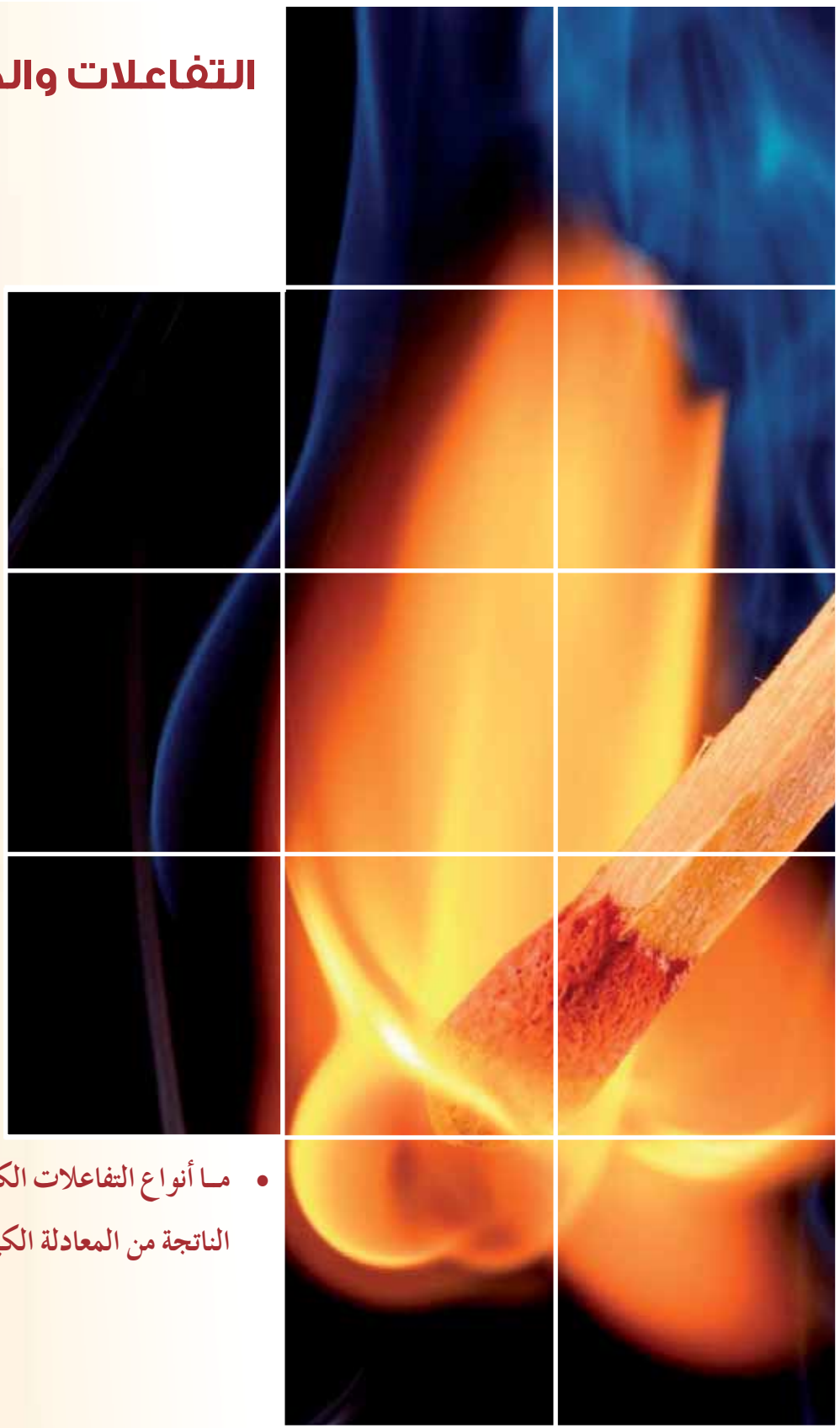
أ) جد كتلة غلايكول الإيثيلين $C_2H_6O_2$ اللازم إضافتها لمنع تجمد الماء في مِشْعاع السيارة حتى درجة (–٥ °س) (الكتلة المولية لـ $C_2H_6O_2$ = ٦٢ غم/ مول).

ب) ما درجة الغليان للمحلول الناتج؟

الوحدة الرابعة

٤

التفاعلات والحسابات الكيميائية



- أنواع التفاعلات الكيميائية
- الحسابات الكيميائية
- الاتزان

- مـا أنواع التفاعلات الكيميائيـة؟ وكيف تُحسَب كميات المواد الناتجة من المعادلة الكيميائية الموزونة؟

الفصل الأول

١

أنواع التفاعلات الكيميائية

Types of Chemical Reactions

تكتسب التفاعلات الكيميائية أهمية كبيرة في حياتنا؛ إذ يحترق الوقود في محرك السيارة مُولِّدًا الطاقة التي تحركها، وينتج النبات غذاؤه من خلال عملية البناء الضوئي بتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء. وتُعَدُّ 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، وتُمكِّن من التنبؤ بنواتج تفاعلات أخرى من جهة أخرى.

فما أنواع التفاعلات الكيميائية؟ وكيف يمكن التعبير عنها؟ وكيف نُميِّز بعضها من بعض؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُصنِّف التفاعلات إلى أنواعها الرئيسة.
- تُبيِّن الفروق بين أنواع التفاعلات الكيميائية المختلفة.
- تعطي أمثلة على أنواع التفاعلات الكيميائية.
- تتنبأ بنواتج بعض التفاعلات الكيميائية قياسًا على التفاعلات المشابهة.
- تعي أهمية التفاعلات الكيميائية في الحياة اليومية.

أولًا

تفاعلات الاتحاد

ما تفاعلات الاتحاد؟ وما أنواعها؟ وكيف يمكن التعبير عنها؟ وكيف نُميِّزها من غيرها من التفاعلات؟ للإجابة، نفِّذ النشاط (٤–١).

نشاط (٤–١): تفاعل الاتحاد

المواد والأدوات المطلوبة

شريط مغنيسيوم، لهب بنسن، ملقط، جَفْنة.

صمِّم نشاطًا يؤدي إلى إحداث تفاعل كيميائي مُستخدِمًا المواد السابقة، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

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

إن ما قمت به يُعَدُّ مثالًا على تفاعل اتحاد (Combination Reaction)؛ إذ يتفاعل المغنيسيوم وغاز الأكسجين لإنتاج مركَّب جديد هو أكسيد المغنيسيوم كما في المعادلة الآتية:

$$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2MgO_{(s)}$$

الشكل (٤–١): قطع من الحديد يعلوها الصدأ.

ومن المشاهدات الحياتية لتفاعلات الاتحاد تكوُّن الصدأ على قطع الحديد، انظر الشكل (٤–١)، الذي ينتج من اتحاد عنصر الحديد مع غاز الأكسجين بوجود الماء، والذي تُمثِّله المعادلة الآتية:

$$4Fe_{(S)} + 3O_{2(g)} + nH_2O \longrightarrow 2Fe_2O_3.nH_2O_{(s)}$$

تُعَدُّ تفاعلات غاز الأكسجين مع الفلزات واللافلزات لإنتاج أكاسيدها أحد تفاعلات الاتحاد كما في المعادلتين الآتيتين:

$$2Ca_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2CaO_{(s)}$$

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)}$$

تقسَّم تفاعلات الاتحاد إلى أنواع عدَّة تبعًا لطبيعة المواد المتفاعلة. ولتتعرَّف هذه الأنواع، ادرس التفاعلات الآتية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها.

$2CO_{(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2CO_{2(g)}$ .....

$2Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \longrightarrow 2NaCl_{(s)}$ .....

$N_2O_{5(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow 2HNO_{3(aq)}$ .....

$BaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow Ba(OH)_{2(aq)}$ .....

$CO_{2(g)} + MgO_{(s)} \longrightarrow MgCO_{3(s)}$ .....

- أيّ المعادلات السابقة تُمثِّل تفاعل عنصر مع عنصر؟
- أيّ المعادلات السابقة تُمثِّل تفاعل عنصر مع مركَّب؟
- أيّ المعادلات السابقة تُمثِّل تفاعل مركَّب مع مركَّب؟
- بناءً على ما توصَّلت إليه، اذكر أنواع تفاعلات الاتحاد.

يَتبيَّن ممّا سبق أن تفاعلات الاتحاد يمكن أن تتم بتفاعل عنصر مع عنصر، أو عنصر مع مركَّب، أو مركَّب مع مركَّب لإنتاج مركَّب جديد.

ومن الجدير بالذكر أن هيدروكسيدات الفلزات تنتج من تفاعلات الأكاسيد الفلزية مع الماء، وأن الحموض تَنتج من تفاعلات الأكاسيد اللافلزية مع الماء.

سؤال

- اكتب معادلة عامة تُمثِّل تفاعل الاتحاد.
- هل تختلف الأكاسيد الناتجة من تفاعل الأكسجين مع الفلزات عن تلك الناتجة من تفاعله مع اللافلزات من حيث خصائصها الحمضية والقاعدية؟ فسِّر إجابتك.

الكيمياء في حياتنا

تُستخدم الأكاسيد في صناعة الدهانات بسبب ألوانها الجميلة، مثل أكسيد التيتانيوم ذي اللون الأبيض، وأكسيد الحديد ذي اللون الأحمر.

ثانيًا

تفاعلات التحلُّل

كيف يمكن إنتاج غاز الأكسجين من الماء؟ وما نوع التفاعل الذي يحصل للماء عندما تتفكَّك جزيئاته إلى مكوِّناته الرئيسة كما في المعادلة الآتية:

$$2H_2O_{(l)} \xrightarrow{\text{تحليل كهربائي}} 2H_{2\,(g)} + O_{2\,(g)}$$

يُسمّى هذا النوع من التفاعل تفاعل التحلُّل (Decomposition Reaction)؛ إذ يتحلَّل مركَّب واحد إلى مادتين أو أكثر، وقد تكون النواتج عناصر أو مركَّبات، ويُعبَّر عن عملية تحلُّل مركَّب افتراضي BC إلى العناصر المُكوِّنة له بالمعادلة الآتية:

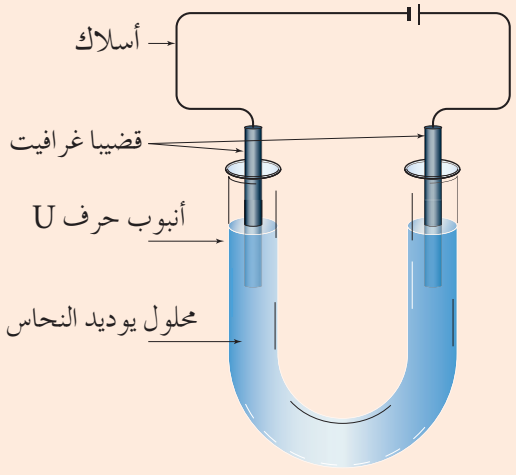
$$BC \longrightarrow B + C$$

ولكي تتعرَّف تفاعلات التحلُّل، نفِّذ النشاط (٤-٢).

نشاط (٤-٢): تفاعلات التحلُّل

المواد والأدوات المطلوبة

محلول يوديد النحاس CuI_2 أو (بروميد النحاس $CuBr_2$)، أنبوب زجاجي على شكل حرف U، قضيبا غرافيت، أسلاك، بطارية ٩ فولت.



الخطوات

١ – ركِّب جهاز التحليل الكهربائي كما في الشكل المجاور.

٢ – شغِّل الجهاز مدَّة خمس دقائق، مُلاحِظًا ما يحدث على القطبين، ثم دَوِّن ملاحظاتك.

٣ – اكتب معادلة التفاعل الحاصل.

توجد أنواع كثيرة من تفاعلات التحلُّل، مثل تحلُّل حمض الكربونيك إلى غاز ثاني أكسيد الكربون والماء كما في المعادلة الآتية:

$$H_2CO_{3\,(aq)} \longrightarrow H_2O_{\,(l)} + CO_{2\,(g)}$$

تتحلَّل الأكاسيد إلى مكوِّناتها الرئيسة، ويبيِّن الشكل (٤–٣) تحلُّل أكسيد الزئبق(II) HgO ذي اللون الأحمر بالحرارة إلى عناصره حسب المعادلة الآتية:

$$2HgO_{\,(s)} \xrightarrow{\text{حرارة}} 2Hg_{\,(l)} + O_{2\,(g)}$$

الشكل (٤–٣): تحلُّل أكسيد الزئبق(II) بالحرارة.

الكيمياء في حياتنا

الخنفساء المدفعية تحتوى في جسمها على مادة H_2O_2 التي تتحلَّل بوجود الإنزيمات إلى أكسجين وبخار ماء وطاقة مُولِّدةً ضغطًا، فتنطلق من جسم الخنفساء على شكل غازات تساعدها في الدفاع عن نفسها عند مواجهة الأعداء.

سؤال

◄ يتحلَّل بروميد الفضة AgBr (المستخدم في طلاء الأفلام الفوتوغرافية) بتأثير الضوء إلى عناصره. اكتب معادلة موزونة لهذا التفاعل.

وتتحلَّل كربونات الفلز أيضًا بالحرارة إلى أكسيد الفلز، وغاز ثاني أكسيد الكربون، ومن الأمثلة على ذلك تحلُّل كربونات الكالسيوم بالحرارة إلى أكسيد الكالسيوم وغاز ثاني أكسيد الكربون كما في المعادلة الآتية:

$$CaCO_{3\,(s)} \xrightarrow{\text{حرارة}} CaO_{\,(s)} + CO_{2\,(g)}$$

سؤال

◄ اكتب معادلة كيميائية لفظية عامة تُمثِّل تفاعل تحلُّل كربونات الفلز بالحرارة.

وتتحلَّل كربونات الفلز الهيدروجينية بالحرارة إلى كربونات الفلز والماء وثاني أكسيد الكربون كما في المعادلة العامة الآتية:

كربونات الفلز الهيدروجينية $\xleftarrow{\text{حرارة}}$ كربونات الفلز + الماء + ثاني أكسيد الكربون

ومن الأمثلة على ذلك تحلُّل كربونات الصوديوم الهيدروجينية بالحرارة إلى كربونات الصوديوم والماء وثاني أكسيد الكربون كما في المعادلة الآتية:

$$2NaHCO_{3\,(s)} \xrightarrow{\text{حرارة}} Na_2CO_{3\,(s)} + CO_{2\,(g)} + H_2O_{\,(g)}$$

سؤال

اكتب معادلات موزونة تُمثِّل التفاعلين الآتيين:

- تحلُّل كربونات المغنيسيوم الهيدروجينية $Mg(HCO_3)_2$ بالحرارة.
- تحلُّل كربونات الخارصين $ZnCO_3$ بالحرارة.

قد يتحلَّل المركَّب إلى عنصر ومركَّب واحد أو أكثر؛ فمثلًا تتحلَّل كلورات العناصر القلوية إلى كلوريد الفلز وغاز الأكسجين، ويستخدم هذا التفاعل لتحضير غاز الأكسجين في المختبر.

سؤال

- تتحلَّل كلورات البوتاسيوم $KClO_3$ بالحرارة، فينتج كلوريد البوتاسيوم وغاز الأكسجين. اكتب معادلة موزونة تُمثِّل التفاعل السابق.

الكيمياء في حياتنا

توجد مادة كلورات البوتاسيوم $KClO_3$ ومادة ثلاثي كبريتيد رباعي الفسفور P_4S_3 في رؤوس أعواد الثقاب. عند شخط رأس عود الثقاب بسطح العلبة يحدث التفاعل، وتنطلق الشرارة.

ومن التفاعلات الممتعة ما يحدث عند تسخين دايكرومات الأمونيوم؛ إذ تُسبِّب الغازات الناتجة من تحلُّل هذه المادة فورانًا يشبه فوران البركان، انظر الشكل (٤-٤).

$$\underset{\text{برتقالي}}{(NH_4)_2Cr_2O_{7\,(s)}} \xrightarrow{\text{حرارة}} \underset{\text{أخضر}}{Cr_2O_{3\,(s)}} + 4H_2O_{\,(g)} + N_{2\,(g)}$$

الشكل (٤-٤) تسخين دايكرومات الأمونيوم.

ابحث في أحد مراجع الكيمياء، أو في الشبكة المعلوماتية عن سبب حاجة معظم تفاعلات التحلُّل إلى ضوء أو حرارة، ثم اكتب تقريرًا عن ذلك.

ثالثًا تفاعلات الإحلال الأحادي

تفاعلات الإحلال الأحادي (Single Displacement Reactions) هي تفاعلات يحل فيها العنصر الأكثر نشاطًا محل العنصر الأقل نشاطًا في أحد مركَّباته، ويُطلَق عليها أيضًا اسم تفاعلات التنافس كما مَرَّ بك في الصف التاسع. ولتوضيح هذا النوع من التفاعلات، نفِّذ النشاط (٤-٣).

نشاط (٤-٣): تفاعلات الإحلال الأحادي

المواد والأدوات المطلوبة

قطع من الخارصين، كبريتات النحاس $CuSO_4$، نترات الفضة $AgNO_3$، سلك نحاس، ماء مقطَّر، ملعقة، كأسان زجاجيتان، مخبار مدرَّج.

الخطوات

١ – حضِّر محلول كبريتات النحاس بوضع نصف ملعقة صغيرة من كبريتات النحاس في الكأس الزجاجية، ثم أضف إليها ١٥ مل من الماء المقطَّر.

٢ – أضف قطع الخارصين إلى المحلول. ماذا تلاحظ؟ هل تَكوَّن راسب؟ ما لونه؟ ما اسم المادة الراسبة؟

- اكتب معادلة موزونة تمثِّل هذا التفاعل.

٤ – ضع سلك النحاس في كأس زجاجية أخرى تحتوي على محلول نترات الفضة. ماذا تلاحظ؟ هل تَكوَّن راسب؟ ما لونه؟ ما اسم المادة المترسبة؟

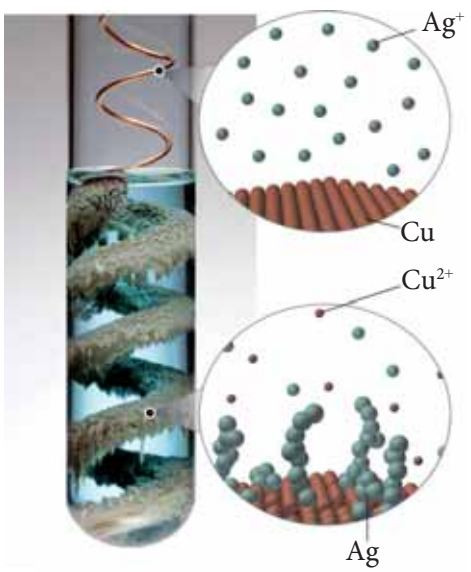
- اكتب معادلة موزونة تمثِّل التفاعل.

تُعَدُّ التفاعلات التي توصَّلت إليها في النشاط السابق تفاعلات إحلال أحادي، ويمكن التعبير عنها بالمعادلتين الآتيتين:

$$Zn_{(s)} + CuSO_{4\,(aq)} \longrightarrow ZnSO_{4\,(aq)} + Cu_{(s)}$$

$$Cu_{(s)} + 2AgNO_{3\,(aq)} \longrightarrow Cu(NO_3)_{2\,(aq)} + 2\,Ag_{(s)}$$

- ما الفلز الأكثر نشاطًا في كل معادلة؟
- ما الفلز الأقل نشاطًا؟
- اكتب معادلة عامة تمثِّل تفاعل الإحلال الأحادي.



الشكل (٤–٥): تفاعل نترات الفضة مع النحاس.

لاحِظ في المعادلة الأولى أن فلز الخارصين (الأكثر نشاطًا) قد حل محل فلز النحاس (الأقل نشاطًا)، وأن فلز النحاس (الأكثر نشاطًا) في المعادلة الثانية، قد حل محل الفضة. ويوضِّح 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

مركَّباتها؛ إذ يُحضَّر غاز الهيدروجين مثلًا في المختبر بتفاعل بعض الفلزات مع الحموض مثل H_2SO_4، HCl، ومن ذلك وضع الخارصين في محلول حمض الكبريتيك، حيث يحل الخارصين محل الهيدروجين كما في المعادلة الآتية:

$$Zn_{(s)} + H_2SO_{4\,(aq)} \longrightarrow ZnSO_{4\,(aq)} + H_{2\,(g)}$$

سؤال

◄ أكمل المعادلتين الآتيتين:

$$2Al_{(s)} + 3CuCl_{2\,(aq)} \longrightarrow$$

$$Mg_{(s)} + Pb(NO_3)_{2\,(aq)} \longrightarrow$$

رابعًا تفاعلات الإحلال المزدوج

يحدث هذا النوع من التفاعلات عند مزج محلولين لمركَّبين أيونيين، فتتبادل الأيونات في المركَّبين أماكنها مُكوِّنةً مركَّبات جديدة يمكن أن تظهر على شكل مادة راسبة أو غازات، ويمكن التعبير عن هذا النوع من التفاعلات بالمعادلة العامة الآتية:

$$AB + CD \longrightarrow AD + CB$$

ولكي تتعرَّف تفاعلات الإحلال المزدوج، نفِّذ النشاط (٤-٤).

نشاط (٤-٤): تفاعلات الإحلال المزدوج

المواد والأدوات المطلوبة

كأس زجاجية سَعتها ١٢٥ مل، محلول كربونات الصوديوم Na_2CO_3 تركيزه ٠,٥ مول/لتر، محلول كلوريد النحاس(II) $CuCl_2$ تركيزه ٠,٥ مول/لتر.

الخطوات

١ - ضع ٢٥ مل من محلول كربونات الصوديوم Na_2CO_3، و٢٥ مل من محلول كلوريد

النحاس(II) $CuCl_2$ في الكأس الزجاجية، ثم دَوِّن ملاحظاتك حول لون كل محلول.

٢ – حرِّك المحلول الناتج بلطف. ماذا تلاحظ؟

- اكتب معادلة كيميائية موزونة تُمثِّل التفاعل الحاصل.
- ناقش ما توصَّلت إليه من نتائج مع زملائك.

تُصنَّف تفاعلات الإحلال المزدوج (Double Displacement Reactions) إلى الأنواع الآتية:

١ – تفاعلات الترسيب

تحدث هذه التفاعلات عند مزج محلولين لمركَّبين أيونيين، فيتحد الأيون الموجب من أحدهما مع الأيون السالب من الآخر، ليتكوَّن مركَّب أيوني غير ذائب يترسَّب في وعاء التفاعل. ومن الأمثلة على تفاعلات الترسيب ما يحدث عند مزج محلولي نترات الفضة $AgNO_3$ وكلوريد الصوديوم NaCl لإنتاج راسب كلوريد الفضة AgCl الذي تُمثِّله المعادلة الأيونية الآتية:

$$AgNO_{3\,(aq)} + NaCl_{\,(aq)} \longrightarrow AgCl_{\,(s)} + NaNO_{3\,(aq)}$$

$$Ag^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \longrightarrow AgCl_{(s)} + Na^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$$

معادلة أيونية صافية

$$Ag^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \longrightarrow AgCl_{\,(s)}$$

لاحِظ أن بعض الأيونات لا تدخل في التفاعل، مثل Na^+، و NO_3^-. أمّا أيونات Ag^+، وأيونات Cl^- فتتفاعل لتُكوِّن راسبًا هو AgCl، وتُسمّى معادلة التفاعل النهائية المعادلة الأيونية الصافية.

سؤال

◀ عند مزج محلول نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$ مع محلول يوديد البوتاسيوم KI يظهر راسب أصفر من يوديد الرصاص PbI_2 كما في الشكل (٤–٦). اكتب معادلة موزونة تُمثِّل هذا التفاعل.

الشكل (٤–٦): تفاعل محلول نترات الرصاص مع محلول يوديد البوتاسيوم.

٢ – تفاعلات التعادل

هي تفاعلات تحدث بين حمض وقاعدة، وتؤدي إلى تكوين الملح والماء كما في المعادلتين الآتيتين:

$$Ba(OH)_{2\,(aq)} + 2HBr_{\,(aq)} \longrightarrow BaBr_{2\,(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

$$2NaOH_{\,(aq)} + H_2SO_{4\,(aq)} \longrightarrow Na_2SO_{4\,(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

سؤال

- اكتب معادلة أيونية صافية لكلٍّ من التفاعلين السابقين.
- اكتب معادلة تفاعل حمض النيتريك HNO_3 مع هيدروكسيد الليثيوم LiOH.

٣ – تفاعلات منتجة للغازات

يُطلِق 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 يتفكَّك إلى الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، وتُمثِّل المعادلة الآتية التفاعل الحادث:

$$CaCO_{3\,(s)} + 2\,HCl_{\,(aq)} \longrightarrow CaCl_{2\,(aq)} + CO_{2\,(g)} + H_2O_{(l)}$$

ومن الأمثلة الأخرى على التفاعلات التي تؤدي إلى إنتاج غازٍ 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.

تجـدر الإشـارة إلى أن تفاعـلات الاتحـاد والتحلُّل والإحـلال الأحادي هي تفاعلات تأكسـد واختزال. ادرس المعادلة الآتية التي تُمثِّل تفاعل إحلال أحادي، مُلاحِظًا عمليتي التأكسد والاختزال الحاصلتين فيها:

$$Zn_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2\,(g)}$$

تُكوِّن ذرة Zn في التفاعل الحاصل أيون Zn^{2+} نتيجة فقدها الإلكترونات في عملية التأكسد، وذلك على النحو الآتي:

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

ويكتسب أيونا الهيدروجين الإلكترونين الناتجين في عملية الاختزال؛ إذ يكتسب كل أيون H^{+} إلكترونًا واحدًا ليتحوَّل إلى ذرة هيدروجين، وتتحد الذرتان لتكوين جزيء الهيدروجين H_2 على النحو الآتي:

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

وعند جمع المعادلتين السابقتين ينتج التفاعل الكلي على النحو الآتي:

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

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

$$Zn_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2\,(g)}$$

سؤال

لديك التفاعلان الآتيان:

$$Mg_{(s)} + O_{2\,(g)} \longrightarrow MgO_{(s)}$$

$$CaCO_{3\,(s)} \xrightarrow{\Delta} CaO_{(s)} + CO_{2\,(g)}$$

- حدِّد نوع كل تفاعل.
- عبِّر عن عمليتي التأكسد والاختزال في التفاعل الأول بمعادلة أيونية.

أسئلة الفصل

١ – عرِّف ما يأتي:

تفاعل الإحلال الأحادي، تفاعلات الترسيب، تفاعل التحلُّل، المعادلة الأيونية الصافية، الإحلال المزدوج، التفاعل الكيميائي، تفاعلات التعادل.

٢ – حدِّد نوع التفاعل (تحلُّل، اتحاد، إحلال أحادي، إحلال مزدوج) الذي تُمثِّله كلٌّ من المعادلات الآتية:

$$N_2O_{4\,(g)} \longrightarrow 2NO_{2\,(g)}$$

$$2Fe_{\,(s)} + O_{2\,(g)} \longrightarrow 2FeO_{\,(s)}$$

$$2Al_{\,(s)} + 3Cl_{2\,(g)} \longrightarrow 2AlCl_{3\,(s)}$$

$$Ni_{\,(s)} + CuCl_{2\,(aq)} \longrightarrow Cu_{\,(s)} + NiCl_{2\,(aq)}$$

$$BaCl_{2\,(aq)} + Na_2SO_{4\,(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{\,(aq)} + BaSO_{4\,(s)}$$

٣ –أكمل المعادلات الآتية، ثم زِنها:

$$MgCO_{3\,(s)} + HCl_{\,(aq)} \longrightarrow \ldots\ldots + \ldots\ldots + \ldots\ldots$$

$$H_2SO_{4\,(aq)} + BaCl_{2\,(aq)} \longrightarrow \ldots\ldots + HCl_{\,(aq)}$$

$$Li_{(s)} + O_{2\,(g)} \longrightarrow \ldots\ldots$$

$$FeCO_{3\,(s)} \xrightarrow{\Delta} \ldots\ldots + \ldots\ldots$$

٤ –لماذا لا يُعَدُّ تفاعل الإحلال المزدوج تفاعل تأكسد واختزال؟

الفصل الثاني

٢

الحسابات الكيميائية

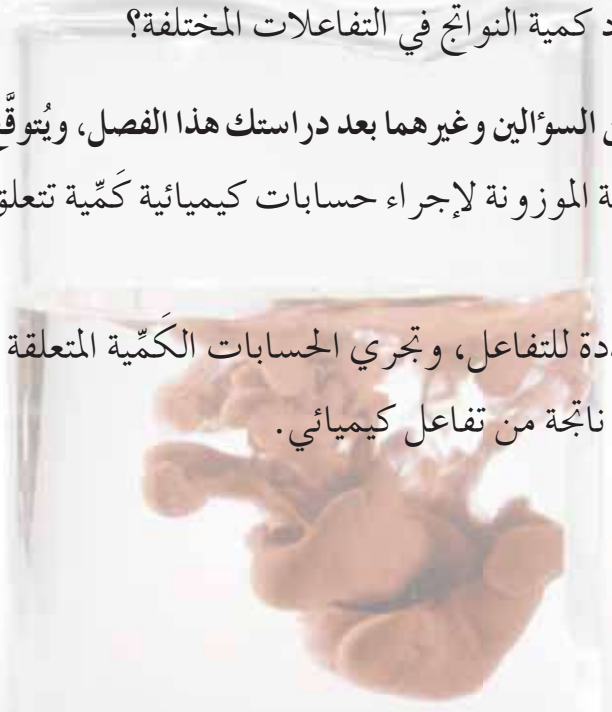
Chemical Calculations

عرفت في الصف العاشر أن المعادلة الكيميائية الموزونة هي تعبير بالرموز والصيغ الكيميائية يعطي وصفًا كَميًّا ونوعيًّا للتفاعلات الكيميائية، وأنها تساعد على حساب كميات المواد الداخلة والناتجة من التفاعل الكيميائي.

يُمثِّل حساب كتل المواد المتفاعلة والناتجة في التفاعلات الكيميائية أهمية كبيرة في الأنشطة الحياتية والصناعية؛ إذ يستخدمه الكيميائيون في المصانع والمختبرات لتحديد الكميات المناسبة من المواد المتفاعلة للحصول على كميات مُحدَّدة 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؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تستخدم المعادلة الكيميائية الموزونة لإجراء حسابات كيميائية كَمِّية تتعلق بالتركيز والكتلة والحجم.
- تُوضِّح مفهوم المادة المُحدِّدة للتفاعل، وتجري الحسابات الكَمِّية المتعلقة بها.
- تحسب المردود المئوي لمادة ناتجة من تفاعل كيميائي.



أولًا
استخدام المعادلات الكيميائية الموزونة في الحسابات الكيميائية

تستخدم ربَّة المنزل مقادير مُحدَّدة من المواد الغذائية عند إعداد الطعام، وإذا احتاجت إلى زيادة كمية الطعام فإنها تُضاعِف المقادير المستخدمة. وبالمثل، يستخدم مُصنِّعو الأدوية مقادير مُحدَّدة من المواد الكيميائية عند تصنيع الدواء، وكذلك يستخدم الكيميائيون مقادير مُحدَّدة لتحضير كميات معينة من المواد الكيميائية المختلفة، فما العلاقة الكَمِّية بين تلك المواد؟ لمعرفة ذلك، نفِّذ النشاط (٤–٥).

نشاط (٤–٥): العلاقة الكَمِّية بين المواد في المعادلة الكيميائية

ادرس المعادلة الكيميائية الموزونة التي تُمثِّل تفاعل الهيدروجين مع النيتروجين لإنتاج الأمونيا:

$$N_{2\,(g)} + 3H_{2\,(g)} \longrightarrow 2NH_{3\,(g)}$$

- ما عدد جزيئات كلٍّ من: NH_3، و N_2 ، و H_2 في المعادلة؟
- ما عدد مولات كلٍّ من: NH_3، و N_2 ، و H_2 في المعادلة؟
- لحساب الكتل، جد حاصل ضرب عدد المولات لكلٍّ 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 نُسمّي هذا القانون؟

تدل الأرقام التي تسبق الصيغ الكيميائية في المعادلة الموزونة على عدد الجزيئات، وتدل أيضًا على عدد المولات كالآتي:

$N_{2\,(g)}$	+	$3H_{2\,(g)}$	⟶	$2NH_{3\,(g)}$
N_2 ١ جزيء	+	H_2 ٣ جزيء	⟶	NH_3 ٢ جزيء
N_2 ١ مول	+	H_2 ٣ مول	⟶	NH_3 ٢ مول
N_2 ١ × ٢٨ غ	+	H_2 ٣ × ٢ غ	⟶	NH_3 ٢ × ١٧ غ
		٣٤ غ	⟶	٣٤ غ الكتلة:

لاحِظ أن مجموع كتل المواد المتفاعلة يساوي كتلة المادة الناتجة من التفاعل، وهذا يتفق مع قانون حفظ المادة، وينطبق على أيّ تفاعل كيميائي.

تفيدنا المعادلة الكيميائية الموزونة في تحديد نسب المواد الداخلة في التفاعل أو الناتجة منه، أو نسبة أيّ 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:

$$4Al_{(s)} + 3O_{2(g)} \longrightarrow 2Al_2O_{3(s)}$$

١- احسب عدد مولات أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 الناتج من تفاعل ١٠ مول من الألمنيوم Al تفاعلًا تامًّا مع كمية كافية من الأكسجين.

٢- احسب كتلة أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 الناتجة من تفاعل ٥٤٠ غ من الألمنيوم Al تفاعلًا تامًّا مع كمية كافية من الأكسجين.

الحل

١- في بداية الحل نتأكَّد أن المعادلة الكيميائية موزونة.

من المعادلة الموزونة يمكننا تحديد النسبة بين مولات المادة المطلوبة Al_2O_3 ومولات Al المعلومة على النحو الآتي:

$$\frac{\text{عدد مولات المادة المطلوبة } Al_2O_3}{\text{عدد مولات المادة المعلومة Al}} = \frac{\text{٢ مول } Al_2O_3}{\text{٤ مول Al}}$$

وبذا، فإن:

$$\text{عدد مولات } Al_2O_3 \text{ (المطلوبة)} = \text{عدد مولات Al (المعلومة)} \times \frac{\text{٢ مول } Al_2O_3}{\text{٤ مول Al}}$$

$$= ١٠ \text{ مول } \cancel{Al} \times \frac{\text{٢ مول } Al_2O_3}{\text{٤ مول } \cancel{Al}} = ٥ \text{ مول } Al_2O_3$$

٢- بدايةً، نحسب عدد مولات Al كالآتي:

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

$$= \frac{٥٤٠ \text{ غ Al}}{٢٧ \text{ غ Al/ مول}}$$

$$= ٥٤٠ \text{ غ Al} \times \frac{١ \text{ مول Al}}{٢٧ \text{ غ Al}} = ٢٠ \text{ مول Al}$$

من النسبة بين المولات في المعادلة الموزونة نحسب عدد مولات Al_2O_3 على النحو الآتي:

$$\text{عدد مولات } Al_2O_3 = \text{عدد مولات Al} \times \frac{٢ \text{ مول } Al_2O_3}{٤ \text{ مول Al}}$$

$$\text{عدد مولات } Al_2O_3 = ٢٠ \text{ مول Al} \times \frac{٢ \text{ مول } Al_2O_3}{٤ \text{ مول Al}} = ١٠ \text{ مول } Al_2O_3$$

والآن، نحسب كتلة Al_2O_3 الناتجة = عدد مولات Al_2O_3 × الكتلة المولية Al_2O_3

$$= ١٠ \text{ مول } Al_2O_3 \times \frac{١٠٢ \text{ غ } Al_2O_3}{\text{مول } Al_2O_3} = ١٠٢٠ \text{ غ } Al_2O_3$$

سؤال

ينتج أكسيد المغنيسيوم MgO من تفاعل المغنيسيوم Mg والأكسجين O_2 وفقًا للمعادلة الآتية:

$$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2MgO_{(s)}$$

- ما عدد مولات Mg اللازمة لإنتاج ١٠٠ مول من MgO عند تفاعلها تفاعلًا تامًّا مع كمية كافية من O_2؟
- احسب كتلة Mg اللازمة للتفاعل تمامًا مع ٣٢٠ غ O_2.
- احسب كتلة MgO الناتجة من تفاعل ٤,٨ كغ Mg عند تفاعلها تفاعلًا تامًّا مع كمية كافية من O_2، علمًا بأن الكتلة المولية لـ Mg = ٢٤، و O = ١٦ غ/ مول.

ثانيًا المردود المئوي للتفاعل

تعرَّفت سابقًا كيف تُجري نظريًّا حسابات كيميائية لحساب كتل المواد الناتجة من التفاعل، وأن الكتلة المحسوبة تُمثِّل أكبر كتلة يمكن الحصول عليها من استهلاك كتلة معلومة من إحدى المواد المتفاعلة في ما يُعرَف **بالناتج النظري** (Theoretical Yield) للمادة، فهل هذه الكتلة تساوي ما تحصل عليه عمليًّا في المختبر أو الصناعة (**الناتج الفعلي**) (Actual Yield)؟ للإجابة عن هذا السؤال، نفِّذ النشاط الآتي.

نشاط (٤-٦): حساب كتلة CO_2 الناتجة من التفاعل:

$$CaCO_{3\,(s)} + 2HCl_{\,(aq)} \longrightarrow CaCl_{2\,(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2\,(g)}$$

المواد والأدوات المطلوبة

كربونات الكالسيوم $CaCO_3$، دورق مخروطي، مخبار مدرَّج، حمض الهيدروكلوريك المركز، ملعقة، ميزان كتلة رقمي.

تحذيرٌ

حمض الهيدروكلوريك المركز يُحْدِثُ ضررًا بالجلد؛ لذا ارتدِ قفازين في أثناء تنفيذ التجربة.

الخطوات

١ – قِسْ ٢٠ مل من حمض الهيدروكلوريك المركز باستخدام المخبار المدرَّج.

٢ – زِنْ ٣ غ من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$، ثم ضعها في الدورق الفارغ.

٣ – ضع الدورق على الميزان، ثم أضف إليه الحمض، ودَوِّن قراءة الميزان ($ك_١$ = ...).

٤ – دَوِّن قراءة الميزان ($ك_٢$ = ...) بعد انتهاء التفاعل.

- احسب كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عمليًّا 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 نظريًّا من التفاعل كما تعلَّمت في الدرس السابق.
- هل القيمة التي حصلت عليها فعليًّا تساوي ما حسبته نظريًّا؟ ما السبب برأيك؟

يحرص الكيميائيون على حساب **النسبة المئوية للناتج الفعلي إلى الناتج النظري للتفاعل**، ويُعرَف ذلك **بالمردود المئوي للتفاعل** (Percentage Yield of Reaction)، ويمكن تمثيله في المعادلة الآتية:

$$\text{المردود المئوي} = \frac{\text{كتلة الناتج الفعلي}}{\text{كتلة الناتج النظري}} \times ١٠٠\,٪$$

يحاول الكيميائيون دائمًا تحسين ظروف التفاعل، وصولًا إلى ناتج فعلي قريب من الناتج النظري، بَيْدَ 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 إناء إلى آخر، فضلًا عن الخطأ التراكمي في القياس.

سؤال

◀ احسب المردود المئوي للتفاعل في النشاط (٤–٦)، مُحدِّدًا العوامل المتوقَّعة التي جعلت الناتج الفعلي أقل من الناتج النظري.

مثال (٢)

سُخِّن ١٢٠ غ من ثاني أكسيد السليكون SiO_2 مع كمية كافية من الكربون C حسب المعادلة الآتية:

$$SiO_{2\,(s)} + 3C_{\,(s)} \longrightarrow SiC_{\,(s)} + 2CO_{\,(g)}$$

فإذا نتج عمليًّا في المختبر ٥٠ غ من كربيد السليكون SiC، فاحسب المردود المئوي للتفاعل.

الحل

نحسب أولًا الناتج النظري من SiC على النحو الآتي:

$$\text{عدد مولات } SiO_2 = \frac{\text{كتلة } SiO_2}{\text{الكتلة المولية } SiO_2} = \frac{١٢٠ \text{ غ } \cancel{SiO_2}}{٦٠ \text{ غ } \cancel{SiO_2}} \times \frac{١ \text{ مول } SiO_2}{} = ٢ \text{ مول } SiO_2$$

بالرجوع إلى المعادلة الكيميائية الموزونة، يَتبيَّن أن عدد مولات SiC = عدد مولات SiO_2

كتلة SiC النظرية = عدد مولات SiC × الكتلة المولية SiC

$$= ٢ \text{ مول } \cancel{SiC} \times \frac{٤٠ \text{ غ SiC}}{١ \text{ مول } \cancel{SiC}} = ٨٠ \text{ غ SiC}$$

$$\text{المردود المئوي} = \frac{\text{كتلة الناتج الفعلي}}{\text{كتلة الناتج النظري}} \times ١٠٠\,٪ = \frac{٥٠}{٨٠} \times ١٠٠\,٪ = ٦٢,٥\,٪.$$

سؤال

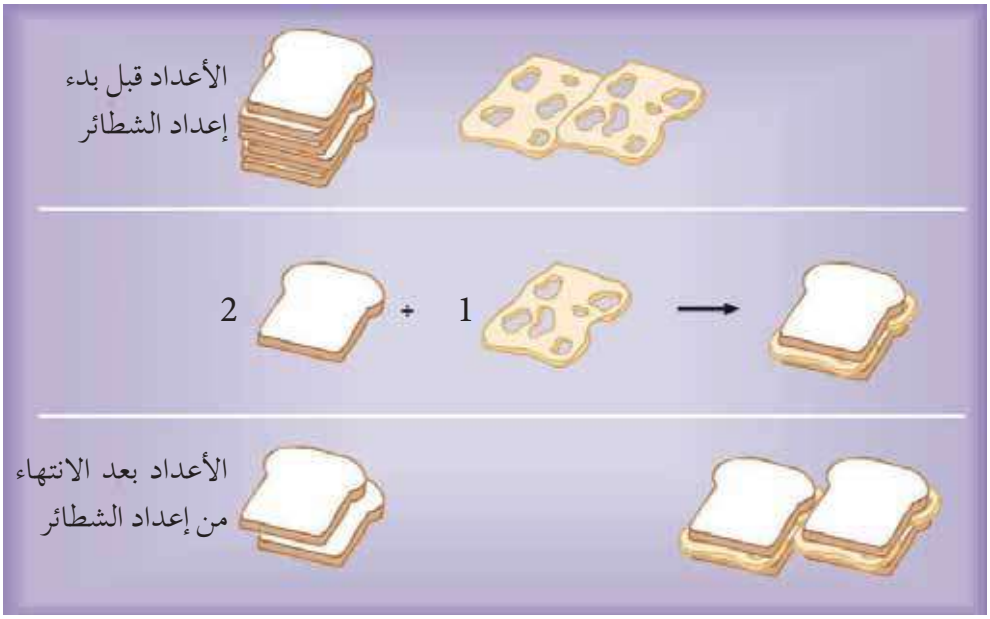
◄ يُحضَّر الميثانول CH_3OH في الصناعة حسب المعادلة الآتية:

$$CO_{(g)} + 2H_{2\,(g)} \longrightarrow CH_3OH_{(l)}$$

فإذا تفاعل ١٠٠ غ من H_2 مع كمية كافية من CO، ونتج ٧٠٠ غ من الميثانول CH_3OH في المصنع، فاحسب المردود المئوي للتفاعل (الكتلة المولية لـ C = ١٢، H = ١، و O = ١٦ غ/ مول).

ثالثًا الحسابات الكيميائية المبنية على أساس المادة المُحدِّدة

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 سَتُعِدُّ؟ وما الذي يُحدِّد عدد الشطائر؟



الشكل (٤–٧): المادة المُحدِّدة.

يَتبيَّن من الشكل أنه يمكنك إعداد شطيرتين فقط. ولمّا كانت كل قطعة من الجبن تحتاج إلى قطعتين من الخبز لإعداد الشطيرة، فإنك ستستهلك قطع الجبن جميعها، ولكن سيزيد لديك قطعتان من الخبز. تُمثِّل قطع الجبن في هذا المثال المادة التي حَدَّدت كمية الناتج (المادة المُحدِّدة)، في حين تُمثِّل قطع الخبز المادة الزائدة (الفائضة).

تُعرَّف **المادة المُحدِّدة للتفاعل** (Limiting Reactant) **بأنها المادة التي تُستهلَك كلها في التفاعل، وتُحدِّد كمية الناتج المُتكوِّن.**

وقد اعتمدت الحسابات التي درستها سابقًا على وجود كتلة معلومة من إحدى المواد المتفاعلة، مع افتراض وجود كتلة وافرة من المواد المتفاعلة الأخرى تكفي لاستهلاك تلك الكتلة المعلومة تمامًا. ولكن في بعض التفاعلات قد تُخلَط كتل من المواد المتفاعلة بنسب تختلف عن تلك التي تُحدِّدها المعادلة الموزونة، فكيف يمكن إجراء حسابات كيميائية لمعرفة المادة المُحدِّدة للتفاعل، ثم حساب كمية الناتج وكمية المادة الفائضة من التفاعل؟

لتتعرَّف ذلك، ادرس المثال الآتي.

مثال (٣)

يتفاعل غاز الأكسجين O_2 مع غاز الهيدروجين H_2، فينتج بخار الماء H_2O حسب المعادلة الآتية:

$$O_{2\,(g)} + 2H_{2\,(g)} \longrightarrow 2H_2O_{\,(g)}$$

إذا خُلِط ٥ مول من O_2 مع ٦ مول من H_2، فأجب عن الأسئلة الآتية:

١ – ما المادة المُحدِّدة للتفاعل؟

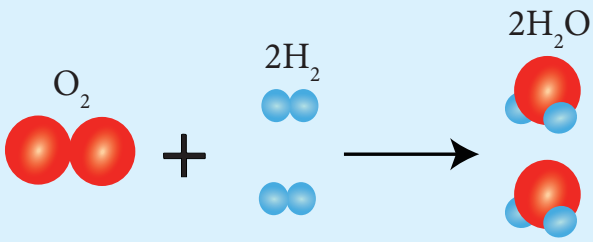
٢ – ما عدد مولات بخار الماء الناتجة؟

٣ – ما عدد مولات المادة الفائضة؟

الحل

من المعادلة الموزونة نجد أن النسبة بين مولات O_2 و H_2 هي:

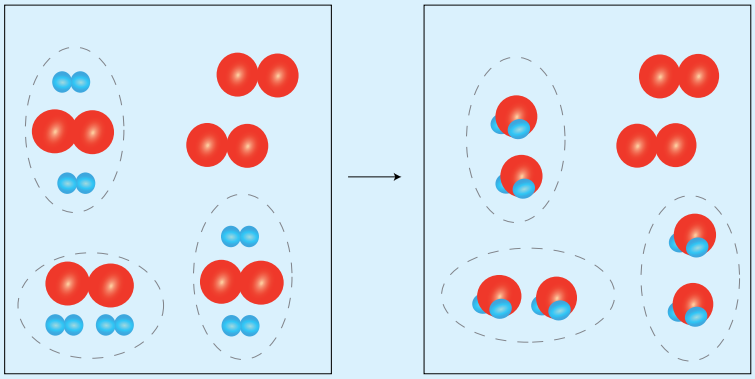
$$\frac{\text{عدد مولات } O_2}{\text{عدد مولات } H_2} = \frac{\text{١ مول } O_2}{\text{٢ مول } H_2}$$



أي إن عدد مولات O_2 اللازمة للتفاعل = $\frac{١}{٢}$ عدد مولات H_2

$$\text{عدد مولات } O_2 \text{ اللازمة للتفاعل} = \frac{\text{١ مول } O_2}{\text{٢ مول } H_2} \times \text{٦ مول } H_2 = \text{٣ مول } O_2$$

ولمّا كانت كمية O_2 الموجودة هي ٥ مول، وهي أكبر ممّا يلزم للتفاعل، فإن المادة المتفاعلة الفائضة هي O_2، والمادة المُحدِّدة للتفاعل التي ستُستهلَك كلها هي H_2 كما في الشكل الآتي:



تُمثِّل H_2 المادة المُحدِّدة للتفاعل التي ستُحدِّد كمية الناتج؛ لذا نستخدمها في حسابه على النحو الآتي:

من المعادلة الموزونة نجد أن: $\frac{\text{عدد مولات } H_2}{\text{عدد مولات } H_2O} = ١$

أي إن عدد مولات H_2 المتفاعلة = عدد مولات H_2O الناتجة = ٦ مول H_2O

عدد مولات O_2 الفائضة = عدد مولات O_2 الموجودة – عدد مولات O_2 المتفاعلة

= ٥ – ٣ = ٢ مول.

سؤال

◄ ينتج غاز الإستيلين C_2H_2 بإضافة الماء إلى كربيد الكالسيوم CaC_2 وفقًا للمعادلة الآتية:

$$CaC_{2\,(s)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow C_2H_{2\,(g)} + Ca(OH)_{2\,(aq)}$$

فإذا خُلِط ١٠٠ غ من CaC_2 مع ٥٠ غ من الماء، فاحسب كتلة C_2H_2 الناتجة من التفاعل، ثم احسب كتلة المادة الفائضة، علمًا بأن الكتلة المولية لـ Ca = ٤٠، وC = ١٢، وH = ١، وO = ١٦ غ/ مول.

رابعًا الحسابات المتعلقة بالتفاعلات في المحاليل المائية

عند إذابة بعض المركَّبات الأيونية في الماء مثل NaCl، فإنها تتفكَّك إلى أيونات موجبة (Na^+) وأخرى سالبة (Cl^-) تنتشر في المحلول، فما العلاقة بين تركيز الملح الأصلي في المحلول 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 ٠,١ مول/ لتر.

الحل

١- نكتب أولًا معادلة تفكُّك الملح $MgCl_2$ على النحو الآتي:

$$MgCl_{2\,(aq)} \longrightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)}$$

٢- نحسب عدد مولات $MgCl_2$:

عدد مولات $MgCl_2$ = التركيز (مول/ لتر) × الحجم (لتر)

$$= ٠,١ \frac{\text{مول } MgCl_2}{\cancel{\text{لتر}}} \times ٠,٣ \cancel{\text{لتر}} = ٠,٠٣ \text{ مول } MgCl_2$$

يتضح من المعادلة أن عدد مولات Mg^{2+} = عدد مولات $MgCl_2$، وأن عدد مولات Cl^- هو ضعفا عدد مولات $MgCl_2$.

∴ عدد مولات Mg^{2+} = ٠,٠٣ مول،

وعدد مولات Cl^- = ٢ × ٠,٠٣ = ٠,٠٦ مول.

سؤال

◄ احسب عدد مولات الأيونات الناتجة من تفكُّك ملح نترات الألمنيوم $Al(NO_3)_3$ الموجودة في محلول حجمه ٥٠٠ مل، وتركيزه ٠,٠٥ مول/ لتر.

يُمثِّل حساب عدد مولات الأيونات الموجودة في المحلول خطوة ضرورية لإجراء الحسابات الكيميائية للتفاعلات في المحاليل المائية التي تعتمد على المعادلة الأيونية الصافية، والمثالان الآتيان يوضِّحان ذلك.

مثال (٥)

يتفاعل محلول نترات الفضة $AgNO_3$ مع محلول كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 لإنتاج كرومات الفضة الصُّلْبة Ag_2CrO_4 كما في الشكل (٤–٨).

احسب حجم محلول $AgNO_3$ الذي تركيزه ٠,١ مول/لتر، والذي يجب إضافته إلى ١٠٠ مل من محلول K_2CrO_4 الذي تركيزه ٠,٢ مول/لتر، لترسيب أيونات الكرومات جميعها على شكل كرومات الفضة Ag_2CrO_4، ثم احسب كتلة كرومات الفضة الناتجة.

الشكل (٤–٨): تفاعل محلول نترات الفضة مع محلول كرومات البوتاسيوم.

الحل

١ – من المعادلة الكلية للتفاعل نُحدِّد المعادلة الأيونية الصافية على النحو الآتي:

$$2AgNO_{3\,(aq)} + K_2CrO_{4\,(aq)} \longrightarrow Ag_2CrO_{4\,(s)} + 2KNO_{3\,(aq)}$$

$$2Ag^+_{(aq)} + 2NO^-_{3\,(aq)} + 2K^+_{(aq)} + CrO_4^{2-}{}_{(aq)} \longrightarrow Ag_2CrO_{4\,(s)} + 2K^+_{(aq)} + 2NO^-_{3\,(aq)}$$

وبذلك تكون المعادلة الأيونية الصافية:

$$2Ag^+_{(aq)} + CrO_4^{2-}{}_{(aq)} \longrightarrow Ag_2CrO_{4\,(s)}$$

٢ – نحسب حجم محلول K_2CrO_4 باللتر: $100\ \text{مل} \times \frac{1\ \text{لتر}}{1000\ \text{مل}} = 0,1$ لتر.

٣ – نحسب عدد مولات كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 على النحو الآتي:

عدد مولات K_2CrO_4 = التركيز (مول/لتر) × الحجم (لتر).

$$= \frac{0,2\ \text{مول}\ K_2CrO_4}{\text{لتر}} \times 0,1\ \text{لتر} = 0,02\ \text{مول}\ K_2CrO_4$$

٤ – نحسب عدد مولات CrO_4^{2-}:

من معادلة تفكُّك K_2CrO_4:

$$K_2CrO_{4\,(aq)} \longrightarrow 2K^+_{(aq)} + CrO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

نلاحظ أن عدد مولات CrO_4^{2-} = عدد مولات K_2CrO_4 = ٠,٠٢ مول CrO_4^{2-}

٥ – نحسب عدد مولات Ag^+:

من المعادلة الصافية نلاحظ أن عدد مولات Ag^+ = ٢ × عدد مولات CrO_4^{2-}

= ٢ × ٠,٠٢ = ٠,٠٤ مول Ag^+

٦ – نحسب عدد مولات $AgNO_3$:

من معادلة تفكُّك $AgNO_3$: $AgNO_{3\,(aq)} \longrightarrow Ag^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$

نلاحظ أن عدد مولات $AgNO_3$ = عدد مولات Ag^+ = ٠,٠٤ مول $AgNO_3$

٧ – نحسب حجم $AgNO_3$:

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

حجم $AgNO_3$ = ٠,٠٤ ~~مول~~ × $\frac{\text{لتر}}{٠,١\ \text{~~مول~~}}$ $AgNO_3$ = ٠,٤ 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:

عدد مولات Ag_2CrO_4 = $\frac{١}{٢}$ عدد مولات Ag^+

= $\frac{٠,٠٤}{٢}$ = ٠,٠٢ مول Ag_2CrO_4

∴ كتلة Ag_2CrO_4 المترسبة = عدد المولات (مول) × الكتلة المولية (غ/مول)

= ٠,٠٢ ~~مول Ag_2CrO_4~~ × $\frac{٣٣٢\ \text{غ}\ Ag_2CrO_4}{١\ \text{~~مول Ag_2CrO_4~~}}$ = ٦,٦٤ غ Ag_2CrO_4

مثال (٦)

ما تركيز محلول من KOH حجمه ٤٠ مل، يلزم للتفاعل تمامًا مع ٢٠ مل من محلول H_2SO_4 الذي تركيزه ٠,١٥ مول/لتر؟

الحل

١ – نكتب المعادلة الأيونية الصافية للتفاعل:

$$2H^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2K^+_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)} + 2K^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$2H^+_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)}$$

تُسمّى هذه المعادلة معادلة التعادل: $H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \longrightarrow H_2O_{(l)}$

٢ – نحسب عدد مولات H_2SO_4:

عدد مولات H_2SO_4 = التركيز (مول/ لتر) × الحجم (لتر)

$$= \frac{\text{٠,١٥ مول } H_2SO_4}{\text{لتر}} \times \text{٢٠ مل} \times \frac{\text{١ لتر}}{\text{١٠٠٠ مل}} = \text{٠,٠٠٣ مول } H_2SO_4$$

٣ – من معادلة تفكُّك H_2SO_4:

$$H_2SO_{4\,(aq)} \longrightarrow 2H^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

نلاحظ أن عدد مولات H^+ هو ضعفا عدد مولات H_2SO_4 = ٢ × ٠,٠٠٣ = ٠,٠٠٦ مول H^+

نستنتج من المعادلة الصافية أن:

عدد مولات H^+ = عدد مولات OH^- = ٠,٠٠٦ مول OH^- = عدد مولات KOH

٤ – تركيز $KOH = \frac{\text{عدد المولات (مول)}}{\text{الحجم (لتر)}}$

$$\text{تركيز KOH} = \frac{\text{٠,٠٠٦ مول KOH}}{\text{٠,٠٤ لتر}} = \text{٠,١٥ مول/ لتر KOH}$$

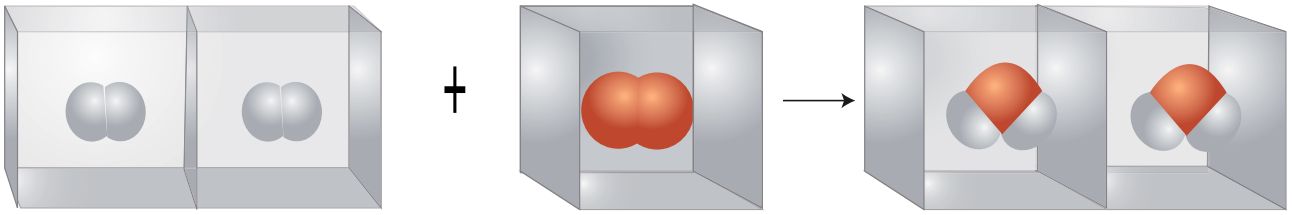
سؤال

◄ احسب كتلة كلوريد الفضة AgCl المترسبة الناتجة من إضافة ١٠٠ مل من محلول نترات الفضة $AgNO_3$، بتركيز ٠,٣ مول/ لتر، إلى ٥٠ مل من محلول كلوريد المغنيسيوم $MgCl_2$ بتركيز ٠,٢ مول/ لتر، علمًا بأن الكتلة المولية لـ Ag = ١٠٨ ، وCl = ٣٥,٥ غ / مول.

خامسًا الحسابات المتعلقة بحجوم الغازات

تعرَّفت في ما مضى كيفية إجراء حسابات كيميائية تتعلق بالمواد الصُّلْبة والمحاليل المائية في التفاعلات الكيميائية. فكيف يمكن إجراء حسابات كيميائية لحساب حجوم الغازات؟ وما العلاقة بين حجوم الغازات وعدد المولات في المعادلة الكيميائية؟

توصَّل العلماء إلى أن حجمين من غاز الهيدروجين يتفاعلان تمامًا 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.

لاحِظ معادلة التفاعل الحاصل، واستنتج العلاقة بين حجوم الغازات وعدد المولات المتفاعلة.

$$O_{2\,(g)} + 2H_{2\,(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(g)}$$

من الواضح أن النسبة بين عدد المولات في المعادلة الموزونة تساوي النسبة بين الحجوم، ولمّا 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: «**الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تحوي العدد نفسه من الدقائق في الظروف نفسها من الحرارة والضغط**».

وقد وُجِدَ عمليًّا أن حجم المول الواحد من أيّ غاز = ٢٢,٤ لترًا تقريبًا في الظروف المعيارية (درجة الحرارة صفر سلسيوس، والضغط الجوي واحد)، ويُعرَف هذا الحجم بالحجم المولي للغاز.

فعند قياس الحجوم في الظروف المعيارية نجد أن:

حجم مول واحد (٦,٠٢٢ × ١٠^{٢٣} جزيء) من غاز الهيدروجين H_2 (٢ غ) = ٢٢,٤ لترًا تقريبًا،

وأن حجم مول واحد من غاز النيتروجين N_2 = ٢٢,٤ لترًا تقريبًا.

وأن حجم ٢ مول من غاز الأمونيا NH_3 = ٢ × ٢٢,٤ = ٤٤,٨ لترًا تقريبًا.

ولأن حجم مول واحد من أيّ غاز في الظروف المعيارية ثابت؛ فإنه يمكن استنتاج علاقة حجوم الغازات بعدد المولات على النحو الآتي:

١ مول من أيّ غاز ⟵ الحجم المولي (٢٢,٤ لترًا)

عدد من المولات ⟵ حجم الغاز

١ × حجم الغاز = عدد المولات × الحجم المولي

حجم الغاز = عدد المولات × الحجم المولي

سؤال

◄ احسب حجم ٥ مول من غاز الأكسجين O_2 في الظروف المعيارية.

لتتعرَّف كيفية حساب حجوم الغازات في التفاعل، ادرس المثال الآتي.

مثال (٧)

يُستخدَم 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:

$$C_3H_{8\,(g)} + 5O_{2\,(g)} \longrightarrow 3CO_{2\,(g)} + 4H_2O_{\,(g)} + \text{طاقة}$$

احسب حجم غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من تفاعل ٨٨٠ غ من غاز البروبان في الظروف المعيارية.

الحل

١ – نحسب أولًا عدد مولات C_3H_8 = $\dfrac{\text{الكتلة (غ)}}{\text{الكتلة المولية (غ/ مول)}}$

$$C_3H_8 \text{ مول } ٢٠ = \frac{C_3H_8 \text{ ١مول}}{\cancel{C_3H_8} \text{ غ } ٤٤} \times \cancel{C_3H_8} \text{ غ } ٨٨٠ =$$

٢ – من المعادلة الموزونة نجد أن عدد مولات CO_2 الناتجة هو ٣ أضعاف عدد مولات البروبان.

∴ عدد مولات CO_2 = ٣ × ٢٠ = ٦٠ مول CO_2

٣ – نحسب حجم CO_2 الناتج = عدد المولات (مول) × الحجم المولي (لتر/ مول).

$$\text{حجم } CO_2 = ٦٠ \text{ مول } \cancel{CO_2} \times \frac{٢٢,٤ \text{ لتر } CO_2}{١ \text{ مول } \cancel{CO_2}} = ١٣٤٤ \text{ لتر } CO_2$$

أسئلة الفصل

١- عرِّف ما يأتي:

المادة المُحدِّدة للتفاعل، المادة الفائضة عن التفاعل، المردود المئوي للتفاعل، الحجم المولي.

٢- تتفكَّك كربونات الكالسيوم بالحرارة لينتج غاز ثاني أكسيد الكربون وأكسيد الكالسيوم حسب المعادلة الآتية:

$$CaCO_{3\,(s)} \xrightarrow{\text{حرارة}} CaO_{\,(s)} + CO_{2\,(g)}$$

احسب كتلة كربونات الكالسيوم اللازمة لإنتاج ١١,٢ لتر CO_2 في الظروف المعيارية.

٣- احسب حجم محلول H_2SO_4 الذي تركيزه ٠,١ مول/ لتر، والذي يلزم للتفاعل تمامًا مع ٣٠٠ مل من محلول NaOH الذي تركيزه ٠,٥ مول/ لتر.

٤- تتفاعل كبريتات الصوديوم الهيدروجينية $NaHSO_4$ مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH لإنتاج كبريتات الصوديوم الذائبة Na_2SO_4 والماء حسب المعادلة الآتية:

$$NaHSO_{4\,(aq)} + NaOH_{\,(aq)} \longrightarrow Na_2SO_{4\,(aq)} + H_2O_{(l)}$$

ثم يُبخَّر الماء للحصول على كبريتات الصوديوم الصُّلْبة. فإذا علمت أن المردود المئوي لمادة Na_2SO_4 = ٨٠٪، فاحسب تركيز محلول NaOH إذا تفاعل ٥٠٠ مل منه مع ما يلزم من كبريتات الصوديوم الهيدروجينية $NaHSO_4$ لإنتاج ٧٢ غ من Na_2SO_4 فعليًّا من التفاعل.

٥- تستخدم مركَّبات الرصاص في صناعة الألوان. فإذا علمت أن يوديد الرصاص الصُّلْب PbI_2 ذا اللون الأصفر يمكن أن يتكوَّن بتفاعل محلول يوديد الصوديوم NaI مع محلول نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$، ثم يُفصَل الراسب عن المحلول، ويستفاد منه:

أ) اكتب معادلة كيميائية موزونة تُمثِّل التفاعل.

ب) اكتب معادلة التفاعل الصافية.

جـ) إذا مُزِج ١٠٠ مل من محلول نترات الرصاص الذي تركيزه ٠,٥ مول/ لتر مع ٢٠٠ مل من محلول يوديد الصوديوم الذي تركيزه ٠,١ مول/ لتر، فاحسب كتلة PbI_2 الناتجة.

د) إذا علمت أن كتلة يوديد الرصاص الناتجة فعليًّا ٣,٤ غ، فاحسب المردود المئوي للتفاعل.

٦- يمكن تحضير فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 في المختبر من تفاعل حمض الهيدروكلوريك HCl مع فوق أكسيد الباريوم BaO_2 حسب المعادلة الآتية:

$$BaO_{2\,(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow H_2O_{2\,(aq)} + BaCl_{2\,(aq)}$$

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:

$$CaCO_{3\,(s)} + 2HCl_{\,(aq)} \longrightarrow CaCl_{2\,(aq)} + CO_{2\,(g)} + H_2O_{(l)}$$

إذا خُلطِ 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، وتعلَّمت كيف تجد المادة المُحدِّدة 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 معًا في خليط التفاعل. فما معنى الاتزان؟ وما العوامل المُؤثِّرة فيه؟

ستتمكَّن من الاجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُوضِّح مفهوم الاتزان.
- تحسب قيمة ثابت الاتزان، وكميات المواد المتفاعلة والناتجة عند الوصول إلى حالة الاتزان.
- تُطبِّق قاعدة لوتشاتلييه للتنبؤ بأثر تغير الظروف التجريبية في نظام متزن.

أولًا

الاتزان الديناميكي

الاتزان الكيميائي هو اتزان ديناميكي (Dynamic Equilibrium). فما المقصود بالاتزان؟ وما معنى أن يكون ديناميكيًّا؟ وكيف يصل التفاعل إلى حالة الاتزان؟ للإجابة عن هذه الأسئلة، نفِّذ النشاط (٤–٧).

نشاط (٤–٧): الاتزان الديناميكي

المواد والأدوات المطلوبة

كمية من اليود I_2، كأس زجاجية سَعتها ٥٠ مل، قطع من الثلج، ماء ساخن، زجاجة ساعة، ملعقة.

تحذيرٌ

أبخرة اليود تُؤثِّر في الجهاز التنفسي؛ لذا نفِّذ التجربة في خزانة الأبخرة.

الخطوات

١ – ضع ملعقة صغيرة من اليود الصُّلْب في الكأس الزجاجية، ثم ضع عليها زجاجة ساعة مُدوِّنًا ملاحظاتك.

٢ – ضع الكأس الزجاجية في حمام مائي ساخن.

٣– ضع في زجاجة الساعة قطعًا من الثلج.

٤– اترك الكأس مدَّة عشر دقائق، ثم دوِّن ما تلاحظه من تغيرات.

- اكتب معادلة تُمثِّل التغير الحاصل.

يُمثِّل التغير السابق حالة الاتزان بين اليود الصُّلْب 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 (تحوُّل المادة من الحالة الصُّلْبة 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 ترسُّب جزيئات اليود في الحالة الغازية على بلوراته الصُّلْبة. وحين يثبت تركيز اليود في الحالة الغازية (الموجود في حيّز مغلق) فوق بلوراته الصُّلْبة (بسبب تساوي سرعة الترسُّب وسرعة التسامي)، فإن النظام الكيميائي يكون في

موضع الاتزان، وهو ما يُفسِّر ثبات اللون في الكأس. تُسمّى هذه الحالة الاتزان الديناميكي، ويمكن التعبير عن حالة الاتزان بين اليود الصُّلْب واليود في الحالة الغازية بالمعادلة الآتية:

$$I_{2\,(s)} \rightleftharpoons I_{2\,(g)}$$

تشير التجارب إلى أن غالبية التفاعلات التي تصل حالة الاتزان تكون فيها المواد المتفاعلة والناتجة في حالة الاتزان الديناميكي، ويمكن تمثيل ذلك بالتفاعل المنعكس الآتي:

$$2NO_{2\,(g)} \rightleftharpoons N_2O_{4\,(g)}$$

يدل السهمان المتعاكسان $\rightleftharpoons$ على أن التفاعل منعكس؛ إذ يشير السهم الأول $\longrightarrow$ إلى التفاعل الأمامي، ويشير السهم الثاني $\longleftarrow$ إلى التفاعل العكسي، فكيف يحدث الاتزان؟

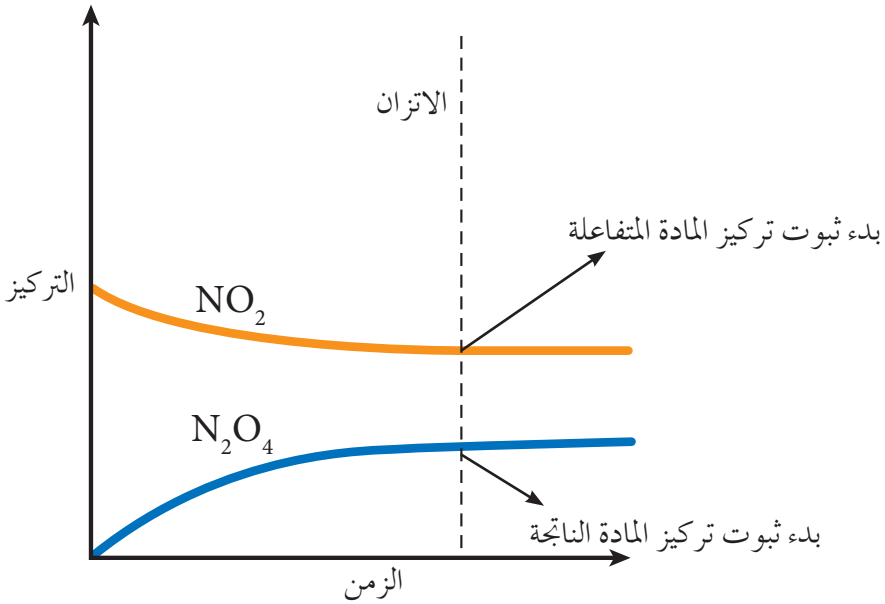
عند وضع كمية من NO_2 في وعاء تبدأ جزيئات الغاز بالتفاعل، مُكوِّنةً جزيئات N_2O_4 كما في المعادلة الآتية:

$$2NO_{2\,(g)} \longrightarrow N_2O_{4\,(g)}$$

في بداية التفاعل تكون سرعة التفاعل الأمامي عاليةً نسبيًّا؛ لأن تركيز NO_2 يكون أكبر ما يمكن، ولكنّ سرعة التفاعل الأمامي تقل تدريجيًّا؛ لأن تركيز NO_2 يقل تدريجيًّا بسبب تفاعله. وفي المقابل، تكون سرعة التفاعل العكسي صفرًا في بداية التفاعل؛ لأن تركيز N_2O_4 يساوي صفرًا، وتزداد سرعته تدريجيًّا؛ لأن تركيز N_2O_4 يزداد تدريجيًّا مع مرور الزمن حتى يصبح مساويًا لسرعة التفاعل الأمامي كما في المعادلة الآتية:

$$N_2O_{4\,(g)} \longrightarrow 2NO_{2\,(g)}$$

وعندما تصبح سرعة التفاعل الأمامي مساويةً لسرعة التفاعل العكسي يصل التفاعل إلى حالة الاتزان، فتثبت تراكيز المواد الناتجة والمتفاعلة. ويمكن تمثيل العلاقة بين تركيز المواد المتفاعلة وتركيز المواد الناتجة مع مرور الزمن بيانيًّا كما في الشكل (٤-١٠).



الشكل (٤–١٠): الوصول إلى حالة الاتزان.

سؤال

◄ اكتب بلغتك الخاصة تعريفًا للاتزان الديناميكي.

ثانيًا ثابت الاتزان

ما العلاقة بين تراكيز المواد الناتجة والمواد المتفاعلة عند نشوء الاتزان؟ وكيف يُعبَّر عنها؟ لقد تَبيَّن بالتجربة أن ناتج قسمة حاصل ضرب تراكيز المواد الناتجة على حاصل ضرب تراكيز المواد المتفاعلة (كلٌّ منها مرفوع إلى قوة تساوي معاملاتها في المعادلة الموزونة) يساوي قيمة ثابتة عند درجة حرارة معينة تُسمّى ثابت الاتزان K_c (Equilibrium Constant).

وبوجه عام، يمكن التعبير عن التفاعل المتزن بالمعادلة الآتية:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

ويمكن التعبير عن ثابت الاتزان بالقانون الآتي:

$$K_c = \frac{[D]^d.[C]^c}{[A]^a.[B]^b}$$

تجدر الإشارة إلى أنه عند كتابة تعبير ثابت الاتزان لا تدخل تراكيز المواد الصُّلْبة 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، ويُبيِّن المثال الآتي كيفية كتابة ثابت الاتزان في حال وجود مادة صُلْبة.

مثال (١)

اكتب قانون ثابت الاتزان للتفاعل الآتي:

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

الحل

$$\frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^{+}]^2} = K_c$$

لاحِظ أن تركيز كلٍّ من: $Cu_{(s)}$، و $Ag_{(s)}$ لم يظهر في قانون ثابت الاتزان؛ لأنهما مادتان صُلْبتان.

سؤال

◄ اكتب قانون ثابت الاتزان للتفاعلات الآتية:

$$COCl_{2\,(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + Cl_{2\,(g)}$$

$$CaF_{2\,(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + 2\,F^{-}_{(aq)}$$

$$CaCO_{3\,(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2\,(g)}$$

ثالثًا بعض الحسابات المبنية على قيمة ثابت الاتزان

عرفت أن ثابت الاتزان يُمثِّل النسبة بين تراكيز المواد الناتجة وتراكيز المواد المتفاعلة، فكيف يمكن حساب قيمة ثابت الاتزان؟ للإجابة، ادرس المثال الآتي:

مثال (٢)

في التفاعل المتزن الآتي:

$$2NO_{2\,(g)} \rightleftharpoons N_2O_{4\,(g)}$$

تَبيَّن عند الاتزان أن تركيز NO_2 يساوي ٠,١ مول/لتر، وأن تركيز N_2O_4 يساوي ٠,٧٥ مول/لتر. احسب قيمة ثابت الاتزان لهذا التفاعل.

الحل

$$K_c = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$$

$$= \frac{\text{٠,٧٥ مول/لتر}}{(\text{٠,١ مول/لتر})^{٢}} = \text{٧٥ لتر/مول.}$$

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: $H_{2\,(g)} + I_{2\,(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$ هي ٤٩ في درجة حرارة ٤٤٠°س، وأن تركيز كلٍّ من: H_2، و I_2 هو ٠,٠٢ مول/لتر في بداية التفاعل، فاحسب تركيز كلٍّ من: I_2، و H_2، و HI عند الاتزان.

الحل

$$H_{2\,(g)} \quad + \quad I_{2\,(g)} \quad \rightleftharpoons \quad 2HI_{(g)}$$

تراكيز المواد في بداية التفاعل	صفر	٠,٠٢ مول/لتر	٠,٠٢ مول/لتر
التغير في تراكيز المواد	+٢ س	− س	− س
تراكيز المواد عند نشوء الاتزان	٢س	٠,٠٢ − س	٠,٠٢ − س

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

$$\frac{(2س)^2}{(0,02 - س)^2} = 49$$

بأخذ الجذر التربيعي للطرفين:

$$\sqrt{\frac{(2س)^2}{(0,02 - س)^2}} = \sqrt{49}$$

$$\frac{2س}{0,02 - س} = 7$$

$$0,14 - 7س = 2س$$

$$0,14 = 9س$$

$$س = 0,0156$$

∴ تكون التراكيز كما يأتي:

$[HI] = 2(0,0156) = 0,0312$ مول/لتر.

$[H_2] = [I_2] = 0,02 - 0,0156 = 0,0044$ مول/لتر.

سؤال

◄ يتفاعل O_2 مع N_2 لإنتاج NO حسب المعادلة الآتية:

$$O_{2\,(g)} + N_{2\,(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$$

فإذا أُدخِل 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 16×10^{-2}، فاحسب تراكيز كلٍّ من المواد المتفاعلة والناتجة عند الاتزان.

قضية للبحث

ابحث مع زملائك في الشبكة المعلوماتية عن طريقة التعبير عن ثابت الاتزان للتفاعل الغازي باستخدام قِيَم الضغط للغازات، ثم اكتب تقريرًا عن ذلك.

رابعًا العوامل المُؤثِّرة في موضع الاتزان

ماذا يحدث للاتزان لو تغيرت تراكيز 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.

درس العالِم الفرنسي لوتشاتلييه التغيرات التي يمكن أن تُؤثِّر في موضع الاتزان، وتوصَّل إلى المبدأ الذي سُمِّي باسمه، والذي ينص على أنه **إذا حدث تغير في أحد العوامل المُؤثِّرة في نظام كيميائي في حالة اتزان، فإن النظام الكيميائي سيُعدِّل من موضعه بحيث يُقلِّل من تأثير التغير إلى أقصى درجة ممكنة.**
فما العوامل المُؤثِّرة في الاتزان؟

النظام
مجموعة من الأشياء أو الأحداث التي تبدو في سلوكها أشبه بالوحدة الواحدة.

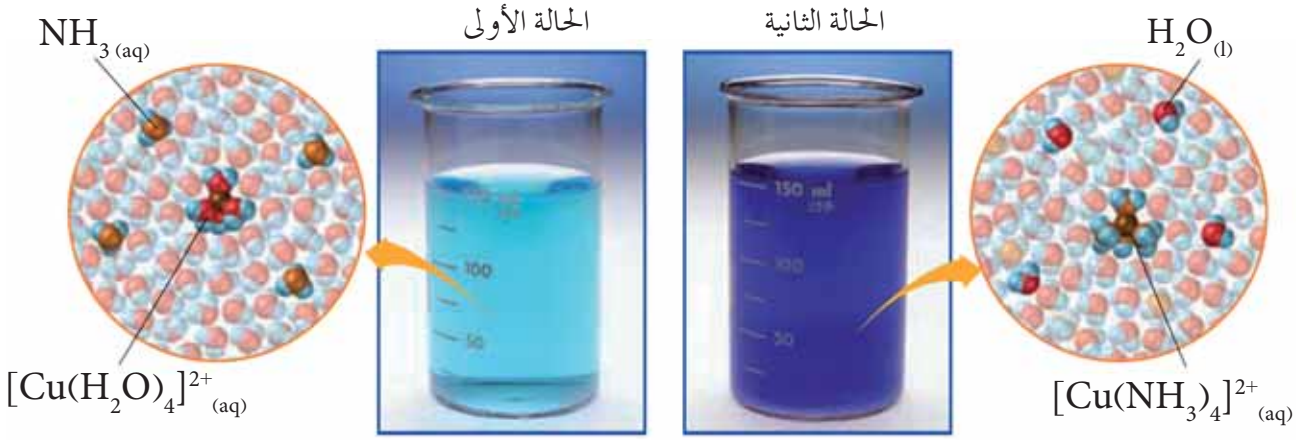
يتأثر الاتزان الكيميائي بعوامل عدَّة، هي: التركيز، والضغط، ودرجة الحرارة، وفي ما يأتي توضيح لهذه العوامل حسب مبدأ لوتشاتلييه:

١ – التركيز

ماذا يحدث عند زيادة تركيز إحدى المواد المتفاعلة بإضافة كمية منها إلى وسط التفاعل المتزن؟ للإجابة، ادرس الشكل (٤–١١) الذي يُبيِّن أثر زيادة تركيز الأمونيا كما في التفاعل الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

$$[Cu(H_2O)_4]^{2+}_{(aq)} + 4NH_{3(aq)} \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$$

أزرق فاتح — أزرق غامق



الشكل (٤–١١): أثر زيادة تركيز الأمونيا.

- ما لون المحلول في الكأس في الحالة الأولى؟
- ما أثر إضافة كمية من الأمونيا في لون المحلول؟
- فسِّر سبب ظهور اللون الأزرق الغامق عند إضافة الأمونيا.

يُمثِّل ثبات اللون الأزرق الفاتح في الكأس في الحالة الأولى حالة اتزان معينة. وعند إضافة الأمونيا يزداد تركيزها في المحلول، وهو ما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل الأمامي، فيزداد تركيز النواتج، ويظهر اللون الأزرق الغامق في الكأس، الذي يدل على حالة اتزان جديدة، وقد نشأت هذه الحالة نتيجة استهلاك جزء من الأمونيا المضافة، ولكنّ قيمة ثابت الاتزان تبقى ثابتة لا تتغير في درجة حرارة معينة.

سؤال

- في التفاعل السابق، ما اللون الذي سيظهر في كل حالة ممّا يأتي:
  - إضافة H_2O إلى وعاء التفاعل.
  - سحب H_2O من وعاء التفاعل.
- وضِّح ما يحدث لتركيز غاز الكلور Cl_2 إذا زاد تركيز غاز الأكسجين O_2 في المعادلة الآتية:

$$4HCl_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(g)} + 2Cl_{2(g)}$$

٢ – الضغط

يُؤثِّر عامل الضغط فقط في التفاعلات المتزنة التي تحوي غازات؛ إذ يتأثر الضغط بكمية الغاز في الوعاء، ويتناسب معها طرديًّا. ويُمثِّل التفاعل الآتي حالة الاتزان لمواد في الحالة الغازية:

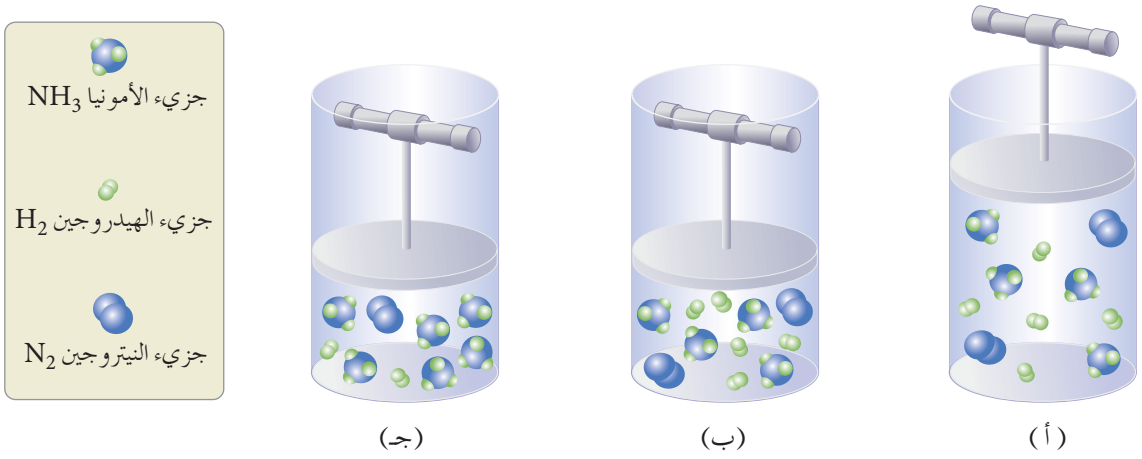
$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

ماذا سيحدث للنظام المتزن في المعادلة السابقة إذا تعرَّض لضغط خارجي؟

يُبيِّن الشكل (٤–١٢/أ) النظام الموصوف في المعادلة السابقة وهو في حالة اتزان. لاحِظ أن النظام يحوي نسبة أكبر من غاز النيتروجين وغاز الهيدروجين، ولكن عند زيادة الضغط على النظام نتيجة تحريك المكبس إلى الأسفل، فإن الحيّز الذي يشغله الخليط يقل، انظر الشكل

(٤–١٢/ ب)، فتبدأ نسبة الأمونيا بالزيادة، وتقل نسبة غازي 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 تَسبَّب في اندفاع التفاعل في الاتجاه الذي يُقلِّل من أثر الزيادة في الضغط الواقع عليه، وهو الاتجاه الذي يُقلِّل 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 غازي H_2 و N_2، فماذا يحدث لو خُفِّض الضغط الكلي؟



الشكل(٤–١٢): أثر زيادة الضغط في التفاعل الغازي.

سؤال

◄ بيِّن أثر انخفاض الضغط في موضع الاتزان في التفاعل الآتي:

$$2NOCl_{(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} + Cl_{2(g)}$$

٣ – درجة الحرارة

يرتبط تأثير درجة الحرارة بطبيعة التفاعل إذا كان ماصًّا للحرارة أو طاردًا لها، فما تأثير اختلاف درجة الحرارة في هذين النوعين من التفاعلات؟ لتتعرَّف ذلك، ادرس الجدول (٤–١)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

الجدول (٤–١): قِيَم ثابت الاتزان لتفاعلين، أحدهما ماصّ للحرارة، والآخر طارد لها في درجات حرارة مختلفة.

التفاعل الماصّ للحرارة $N_{2(g)} + O_{2(g)} + \text{حرارة} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$		التفاعل الطارد للحرارة $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)} + \text{حرارة}$	
درجة الحرارة (°س)	ثابت الاتزان	درجة الحرارة (°س)	ثابت الاتزان
١٦٠٠	$٢,٥ \times ١٠^{-٤}$	٣٤٠	٧٠,٨
١٨٠٠	$٧,٣ \times ١٠^{-٤}$	٣٨٠	٦١,٩
٢٠٠٠	١٩×١٠^{-٤}	٤٢٠	٥٣,٧

- ما قيمة ثابت الاتزان في درجتي الحرارة ١٦٠٠°س، و ١٨٠٠°س في التفاعل الماصّ للحرارة؟
- ماذا تتوقَّع أن يحدث لقِيَم ثابت الاتزان في التفاعل الماصّ للحرارة في درجة حرارة ٢٢٠٠°س؟
- ما علاقة ارتفاع درجة الحرارة بقيمة ثابت الاتزان للتفاعل الماصّ للحرارة؟

لاحِظ أن قيمة ثابت الاتزان تزداد بزيادة درجة الحرارة للتفاعل الماصّ للحرارة، فكيف تُفسِّر ذلك وفقًا لمبدأ لوتشاتلييه؟

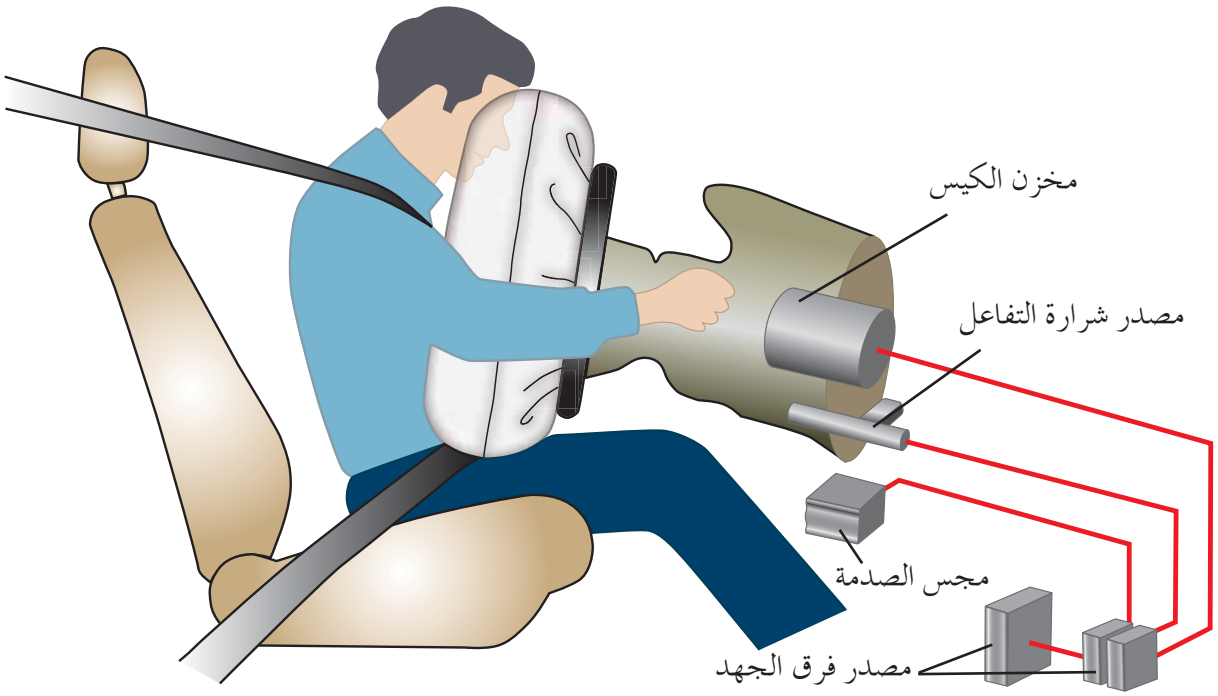
بتطبيق مبدأ لوتشاتلييه على التفاعل الماصّ للحرارة، فإن النظام يحاول (عند رفع درجة حرارة التفاعل المتزن) التخلص من الحرارة الزائدة عن طريق استهلاكها، وتكوين المواد الناتجة، وذلك بامتصاص جزء من الطاقة الحرارية واستخدامها لتفكيك جزيئات N_2 و O_2، وتكوين NO، وهذا يؤدي إلى تقليل تراكيز المواد المتفاعلة، وزيادة تراكيز المواد الناتجة في حالة الاتزان الجديدة مقارنةً بتراكيز ما قبل زيادة درجة الحرارة، فيزداد ثابت الاتزان.

حاوِل تفسير نقصان قيمة ثابت الاتزان بزيادة درجة الحرارة للتفاعل الطارد للحرارة الآتي:

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)} + \text{حرارة}$$

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 عُشْر ثانية بعد التصادم. ويُوضِّح الشكل (٤–١٣) الأجزاء الرئيسة التي تتحكَّم في عمل نظام أكياس الهواء. حاوِل استنتاج طريقة فتح كيس الهواء بعد التصادم مباشرةً.



الشكل (٤–١٣): الأجزاء الرئيسة لنظام أكياس الهواء.

تستخدم مواد كيميائية متعددة في أكياس الهواء، منها: الخليط الصُّلْب من أزيد الصوديوم NaN_3، وعامل مؤكسد. فعند حصول التصادم يحدث التفاعل، وينطلق غاز النيتروجين N_2 الذي يعمل على انتفاخ كيس الهواء ليحمي السائق من الارتطام بالمقود وفق المعادلة الآتية:

$$2NaN_{3\,(s)} \xrightarrow{\text{كهرباء}} 2Na_{\,(s)} + 3N_{2\,(g)}$$

أسئلة الفصل

١ – وضِّح المقصود بالاتزان الديناميكي.

٢ – اكتب تعبير ثابت الاتزان لكلٍّ من التفاعلين الآتيين:

$$C_{(s)} + CO_{2(g)} \rightleftharpoons 2CO_{(g)}$$

$$2NO_{2(g)} + 4H_{2(g)} \rightleftharpoons N_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$$

٣ – فسِّر ما يأتي:

أ) لا يُؤثِّر تغيير الضغط في موضع الاتزان في التفاعل المتزن الآتي:

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

ب) يقل تركيز غاز الكلور Cl_2 في التفاعل المتزن الآتي عند زيادة الضغط الواقع على النظام:

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

جـ) تزداد قيمة ثابت الاتزان (K_c) عند خفض درجة الحرارة للتفاعل المتزن الآتي:

$$3H_{2(g)} + N_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} + 92\,kJ$$

٤ – في معادلة الاتزان العامة الآتية:

$$A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons C_{(g)} + D_{(g)}$$

إذا أُدخِل في وعاء التفاعل الذي سَعته لتر ٠,٦ مول من A، و ٠,٦ مول من B، فاحسب تركيز كلٍّ من المواد: D ، و C ، و B ، و A عند الاتزان، علمًا بأن ثابت الاتزان $K_c = ٠,٠٤$.

١ – اكتب تعبير ثابت الاتزان لكلٍّ من التفاعلين الآتيين:

$$FeCl_{3\,(aq)} + 3KCN_{\,(aq)} \rightleftharpoons Fe(CN)_{3\,(aq)} + 3KCl_{\,(aq)}$$

$$3H_{2\,(g)} + N_{2\,(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3\,(g)}$$

٢ – صَنِّف التفاعلات الآتية تبعًا لأنواعها الرئيسة:

$$Mg_{\,(s)} + 2HCl_{\,(aq)} \longrightarrow MgCl_{2\,(aq)} + H_{2\,(g)}$$

$$3Fe_{\,(s)} + 2O_{2\,(g)} \longrightarrow Fe_3O_{4\,(s)}$$

$$2Al(OH)_{3\,(aq)} + 3H_2SO_{4\,(aq)} \longrightarrow Al_2(SO_4)_{3\,(aq)} + 6H_2O_{\,(l)}$$

$$2NaHCO_{3\,(s)} \xrightarrow{\Delta} Na_2CO_{3\,(s)} + H_2O_{\,(g)} + CO_{2\,(g)}$$

$$2KClO_{3\,(s)} \xrightarrow{\Delta} 2KCl_{(s)} + 3O_{2\,(g)}$$

٣ – احسب ما يأتي اعتمادًا على التفاعل:

$$CaH_{2\,(s)} + 2H_2O_{\,(l)} \longrightarrow Ca(OH)_{2\,(aq)} + 2H_{2\,(g)}$$

أ) حجم غاز الهيدروجين الناتج من تفاعل ٢ مول من هيدريد الكالسيوم CaH_2 مع ما يلزمه 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 وفقًا للمعادلة:

$$3H_{2\,(g)} + N_{2\,(g)} \longrightarrow 2\,NH_{3\,(g)}$$

فإن عدد مولات الأمونيا الناتجة يساوي:

أ) ٢ مول ب) ١ مول جـ) ٠,٥ 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 تفكُّكها حراريًّا حسب المعادلة الموزونة هي:

$$2KClO_{3\,(s)} \longrightarrow 2\,KCl_{(s)} + 3O_{2\,(g)}$$

أ) ٢٤,٥ ب) ٤٩ جـ) ١٢,٢٥ د) ٩٨

(٣) إذا كان الناتج الفعلي للميثانول في التفاعل: $CO + 2H_2 \longrightarrow CH_3OH$ هو ٣٠٠ غ فإن المردود المئوي للميثانول عند تفاعل ٥٠ غ من الهيدروجين مع كمية وافرة من CO هو:

أ) ٧٥٪ ب) ١٣٣٪ جـ) ٣٨٪ د) ١٩٪

(٤) في التفاعل الآتي: $4A1 + 3O_2 \longrightarrow 2AI_2O_3$ إذا خُلِط مول من A1 ومول من O_2، وحدث تفاعل فإن عدد مولات $A1_2O_3$ الناتجة هو:

أ) ٠,٥مول ب) ٠,٦٧ مول جـ) ١ مول د) ٠,١٧ مول

(٥) في التفاعل الآتي: حرارة + $A_{(g)} + B_{(g)} \rightleftharpoons C_{(g)}$ يزداد تركيز C عند:

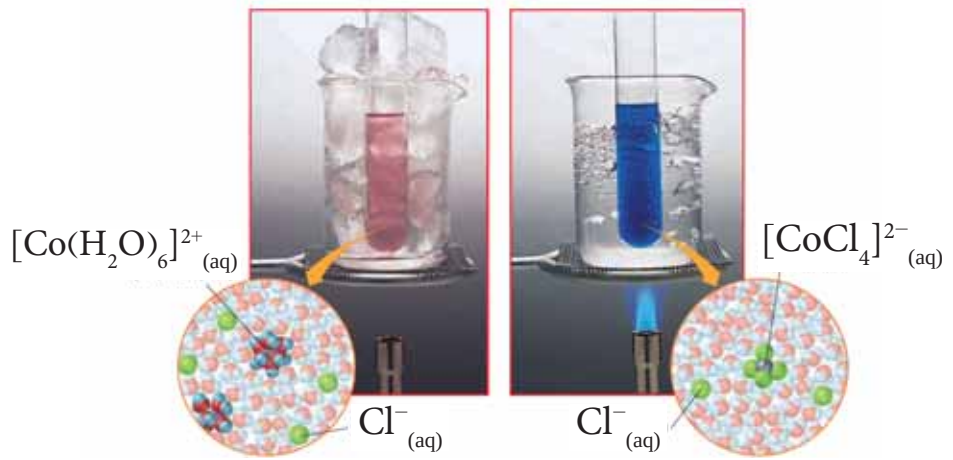
أ) سحب B من وعاء التفاعل.

ب) زيادة درجة الحرارة.

جـ) زيادة حجم وعاء التفاعل.

د) زيادة تركيز A.

٥ – ادرس التفاعل المُمثَّل في الصورة الآتية، مُبيِّنًا إذا كان طاردًا للحرارة أم ماصًّا لها. فسِّر إجابتك.



$$[Co\,(H_2O)_6]^{2+}_{(aq)} + 4C1^-_{(aq)} \rightleftharpoons [CoC1_4]^{2-}_{(aq)} + 6H_2O_{(l)}$$

٦ – في التفاعل الآتي: $4Ag + 2H_2S + O_2 \longrightarrow 2Ag_2S + 2H_2O$ إذا خُلِط ٠,٠٨ غ O_2، و٠,١٤ غ H_2S، و٠,٩٥ غ Ag، فاحسب كتلة Ag_2S الناتجة (الكتلة المولية لـ Ag= ١٠٨، وS = ٣٢، وO =١٦، وH = ١ غ/ مول).

٧– في التفاعل الآتي: $AgF_{(aq)} + KCl_{(aq)} \longrightarrow AgCl_{(s)} + KF_{(g)}$ إذا تَكوَّن ١٠ غ من كلوريد الفضة من تفاعل ٥٠مل من KCl مع ٧٥مل من AgF، فاحسب تركيز كلٍّ من: AgF، و KCl اللازمة للتفاعل.

٨– في التفاعل الآتي: $A_{(g)} + B_{(g)} + C_{(g)} \rightleftharpoons 3D_{(g)}$ إذا أُدخِل ٢ مول من A، و ٢ مول من B، و ٢ مول من C في وعاء سَعته ٢٠٠ مل، وكان ثابت الاتزان = ٨ عند درجة حرارة معينة، فاحسب التراكيز عند الاتزان.

٩– حُضِّر محلول بإذابة ١١,٢ غ من KOH و ١٧،١ غ من $Ba(OH)_2$ في الماء بحيث تَكوَّن محلول حجمه ٣ لترات. احسب تركيز H_2SO_4 الذي حجمه ٢٠٠ مل، والذي يلزم لمعادلته (الكتلة المولية لـ KOH = ٥٦، و $Ba(OH)_2$ = ١٧١ غ/ مول).

١٠– في التفاعل المتزن الآتي:

$$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3 + \text{حرارة}$$

إذا علمت أن تراكيز المواد عند الاتزان (مول/ لتر) كانت على النحو الآتي:

$[SO_3] = ٠,٨$ $[SO_2] = ٠,٢$ $[O_2] = ٠,٨$

فاحسب ثابت الاتزان K_c لهذا التفاعل.

الوحدة الخامسة

٥

الكيمياء العضوية

- الهيدروكربونات
- المركَّبات العضوية الأخرى

- ما المركَّبات العضوية؟ وما خصائصها؟

الفصل الأول

١

الهيدروكربونات
Hydrocarbons

الكيمياء العضوية هي أحد فروع علم الكيمياء التي تُعنى بدراسة مركَّبات الكربون، وقد ساد اعتقاد بأنه يمكن الحصول عليها فقط من مصادر حية (نباتات، وحيوانات) ، إلى أن تمكَّن العالِم الألماني فريدريك فوهلر في بداية القرن التاسع عشر من تحضير مركَّب عضوي هو اليوريا، من مركَّب غير عضوي هو سيانات الأمونيوم.

يُعزى التنوع الكبير في المركَّبات العضوية إلى تفرُّد ذرة الكربون في تركيبها وترابطها؛ فهي تمتاز بأنها تدخل في تركيب أنواع عدَّة من المركَّبات العضوية، وهو ما حفز العلماء إلى إنشاء فرع خاص بها يُسمّى المركَّبات العضوية، وتُعَدُّ الهيدروكربونات أحد أصناف المركَّبات العضوية، فما هذه المركَّبات؟ وكيف تُسمّى؟ وما خصائصها؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

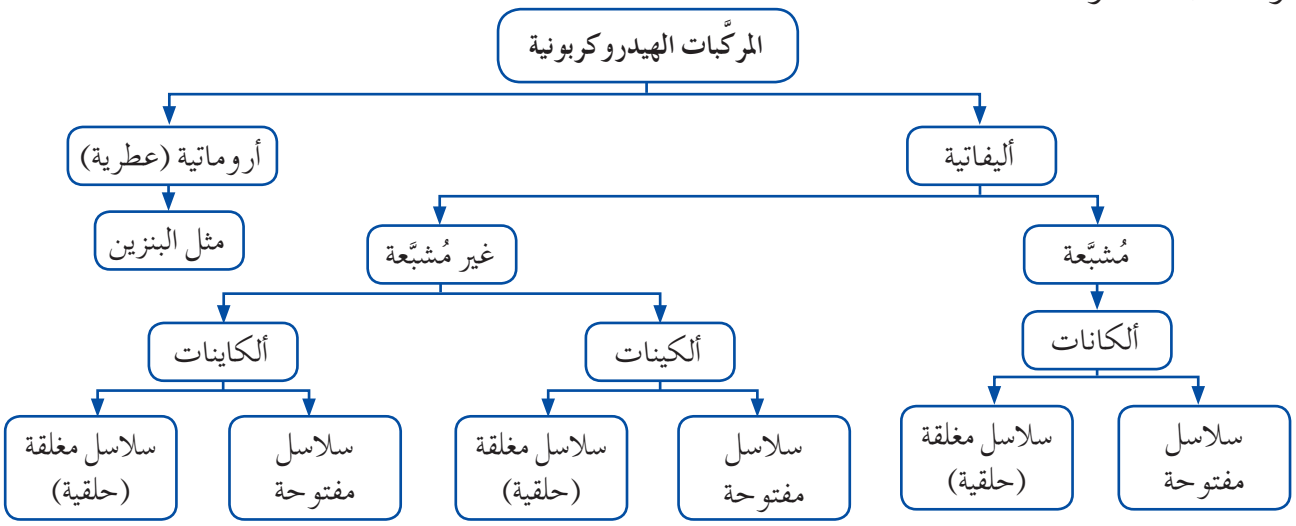
- تَتعرَّف الهيدروكربونات، وتُحدِّد تركيبها وخصائصها.
- تُميِّز الهيدروكربونات المُشبَّعة من الهيدروكربونات غير المُشبَّعة.
- تُسمّي المركَّبات الهيدروكربونية وفقًا لنظام تسمية الاتحاد العالمي للكيمياء البحتة والتطبيقية (نظام تسمية الأيوباك IUPAC).
- تكتب الصيغ البنائية للجزيئات بمعرفة أسمائها.
- تُعرِّف التصاوغ، وتعطي أمثلة عليه.
- تُميِّز المركَّبات الأليفاتية من المركَّبات الأروماتية، وتعطي أمثلة على كلٍّ منها.
- تُفسِّر أهم الخصائص الفيزيائية للهيدروكربونات.

أولًا تصنيف الهيدروكربونات

عرفت أن العنصر الرئيس في المركَّبات العضوية هو الكربون، وأن ذرة الكربون تحوي في مستوى الطاقة الأخير لها أربعة إلكترونات، وأنها تُكوِّن روابط تساهمية (أحادية، أو ثنائية، أو ثلاثية) عندما تتفاعل مع غيرها، كما يأتي:

$$-\overset{|}{\underset{|}{C}}- \quad ، \quad -\overset{|}{C}= \quad ، \quad =C= \quad ، \quad -C\equiv$$

وقد تعرَّفت في الصف العاشر صنفًا من المركَّبات العضوية هو الهيدروكربونات، وهي مركَّبات مُكوَّنة من الكربون والهيدروجين فقط، ويمكن تصنيف الهيدروكربونات تبعًا لنوعية الروابط التي تُكوِّنها ذرات الكربون الموجودة فيها كما في الشكل (٥-١) الذي يُمثِّل أحد تصنيفات الهيدروكربونات، وتعرَّفت أيضًا ثلاثة أنواع من الهيدروكربونات هي: الألكانات، والألكينات، والألكاينات.



الشكل (٥-١): تصنيف الهيدروكربونات.

ادرس الجدول (٥-١) الذي يُمثِّل عددًا من الهيدروكربونات، ثم صنِّف هذه المركَّبات إلى ألكان، وألكين، وألكاين.

الجدول (٥-١): أمثلة على الهيدروكربونات.

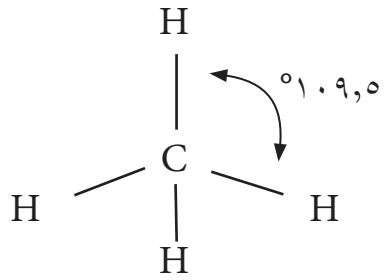
$HC\equiv C-CH_3$	$CH_2=CH_2$	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
$HC\equiv CH$	CH_3CH_3	$CH_2=CHCH_2CH_3$

لاحِظ أن كلًّا من الألكانات، والألكينات، والألكاينات في الجدول (٥-١) تُصنَّف ضمن نوع واحد من المركَّبات الهيدروكربونية، هو الهيدروكربونات الأليفاتية ذات السلسلة المفتوحة.

وبالعودة إلى الشكل (٥–١) فإننا نجد أنواعًا أخرى من الهيدروكربونات، مثل: الهيدروكربونات الأليفاتية ذات السلاسل المغلقة (الحلقية)، والهيدروكربونات الأروماتية، فما هذه المركَّبات؟ ومِمَّ تتكوَّن؟ وبماذا تختلف عن الهيدروكربونات ذات السلاسل المفتوحة؟

١– الألكانات والألكانات الحلقية Alkanes and CycloAlkanes

تُعرَّف الألكانات بأنها هيدروكربونات مُشبَّعة تتكوَّن من عنصري الكربون والهيدروجين فقط، وجميع الروابط التي تُكوِّنها مشتركة أحادية من نوع σ. ويُعَدُّ الميثان CH_4 أبسط الألكانات، ويتخذ شكلًا رباعي الأوجه منتظمًا، ويكون تهجين ذرة الكربون فيه من نوع sp^3؛ إذ ترتبط فيه ذرة الكربون بأربع ذرات هيدروجين كما في الشكل (٥–٢).



الشكل (٥–٢): شكل جزيء الميثان.

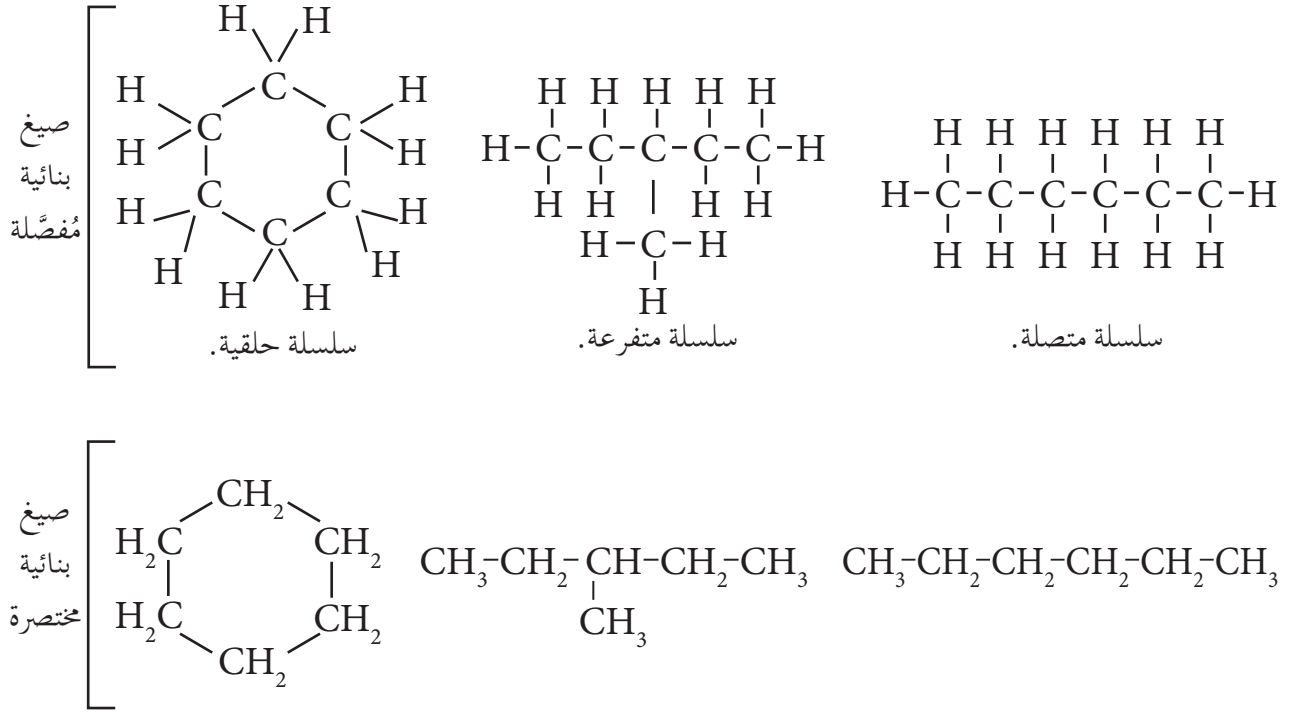
يُمثِّل الجدول (٥–٢) أسماء الألكانات العشرة الأولى، وصيغها الجزيئية والبنائية المختصرة.

الجدول (٥–٢): الألكانات العشرة الأولى، وصيغها الجزيئية والبنائية المختصرة.

اسم الألكان	الصيغة الجزيئية	الصيغة البنائية المختصرة
ميثان	CH_4	CH_4
إيثان	C_2H_6	CH_3CH_3
بروبان	C_3H_8	$CH_3CH_2CH_3$
بيوتان	C_4H_{10}	$CH_3(CH_2)_2CH_3$
بنتان	C_5H_{12}	$CH_3(CH_2)_3CH_3$
هكسان	C_6H_{14}	$CH_3(CH_2)_4CH_3$
هبتان	C_7H_{16}	$CH_3(CH_2)_5CH_3$
أوكتان	C_8H_{18}	$CH_3(CH_2)_6CH_3$
نونان	C_9H_{20}	$CH_3(CH_2)_7CH_3$
ديكان	$C_{10}H_{22}$	$CH_3(CH_2)_8CH_3$

يَتبيَّن من الجدول (٥–٢) أن الصيغة الجزيئية العامة للألكانات هي C_nH_{2n+2} حيث تُمثِّل n عدد ذرات الكربون، وأن كل ألكان تزيد صيغته الجزيئية على الألكان الذي قبله بالمقطع $-CH_2$.

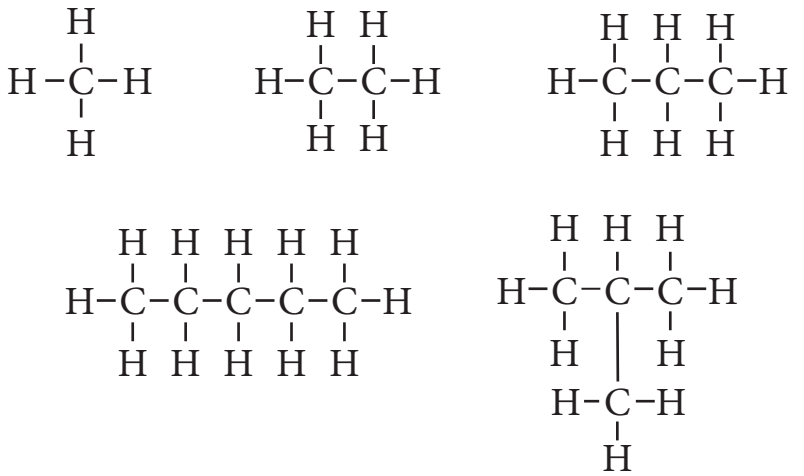
توجد الألكانات على شكل سلاسل مستمرة (متصلة)، أو متفرعة، أو حلقية. ولتتعرَّف المزيد من الصيغ البنائية لعدد من الألكانات، ادرس الشكل (٥–٣) الذي يُمثِّل صيغًا بنائيةً لجزيئات بعض الألكانات.



الشكل (٥–٣): صيغ بنائية لجزيئات بعض الألكانات.

سؤال

◄ ارسم صيغة بنائية مختصرة لكل ألكان ممّا يأتي:



ونظرًا إلى تطورعلم الكيمياء وازدياد عدد المركَّبات العضوية المكتشفة أو المُحضَّرة مخبريًّا؛ فقد عمل الكيميائيون على وضع نظام خاص بتسمية هذه المركَّبات يُعرَف بالأيوباك (IUPAC) نسبةً إلى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية، فما هذا النظام؟ وكيف تُسمّى الهيدروكربونات بناءً عليه؟

للإجابة، ادرس الأمثلة الآتية.

مثال (١)

سَمِّ المركَّب الآتي: $CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

الحل

١ – نُحدِّد أولًا أطول سلسلة مستمرة تحوي أكبر عدد من ذرات الكربون في المركَّب.

$CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$ $\qquad$ $CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

لاحِظ أنه يمكن اعتماد السلسلة المُحدَّدة باللون الأخضر أو المُحدَّدة باللون الأحمر؛ فكلاهما سلسلة مستمرة تتكوَّن من ٥ ذرات كربون.

٢ – نُرقِّم ذرات الكربون في السلسلة بدءًا بالطرف الأقرب إلى أول تفرع.

$CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

٥ ٤ ٣ ٢ ١ ✓

١ ٢ ٣ ٤ ٥ ✗

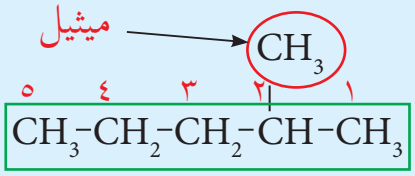
٣ – نُسمّي الفروع التي تتصل بأطول سلسلة وفق الأسس الآتية:

أ – تسمية الفروع بمجموعة الألكيل، وهي جزء من المركَّب العضوي يوجد بصورة غير مستقلة، ويمكن النظر إليه بوصفه مشتقًّا من الألكان الأصلي بحذف ذرة هيدروجين (C_nH_{2n+1})، وتسمية مجموعة الألكيل بكتابة حرفي (يل) بدلًا من (ان) في اسم الألكان، ومن الأمثلة عليها مجموعة ($-CH_3$) ميثيل، ويُبيِّن

الـجدول (٥–٣) بعض الأمثلة على مجموعات الألكيل.

الجدول (٥–٣): بعض مجموعات الألكيل.

اسم المجموعة	الصيغة البنائية	الصيغة الجزيئية
ميثيل	$-CH_3$	$-CH_3$
إيثيل	$-CH_2CH_3$	$-C_2H_5$
بروبيل	$-CH_2CH_2CH_3$	$-C_3H7$



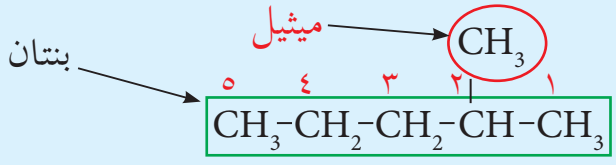
ب – كتابة رقم ذرة الكربون التي تحمل المجموعة قبل اسم تلك المجموعة، والفصل بين الرقم والاسـم بشرطة (ـ)، وفي حال وجود أكثر من مجموعة تُعطى كل مجموعة رقمًا.

جـ – في حال وجود مجموعات مختلفة فإنها تُكتَب في الاسم حسب ترتيبها الهجائي.

د – في حـال وجود مجموعـات متشـابهة تُكتَب أرقـام ذرات الكربـون الحاملة لهذه المجموعات، ويوضع بينها فواصل، وتستخدم البادئات (ثنائي، ثلاثي، رباعي...)، للدلالة على عدد المجموعات المتشابهة.

وفي المثـال المطلـوب، توجـد مجموعـة ميثيل واحدة علـى ذرة الكربـون رقم (٢) في السلسلة؛ لذا فهي تُسمّى ٢ـ 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.



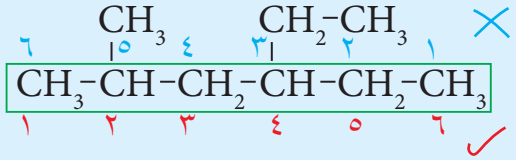
وبهذا يصبح اسم الألكان: ٢ـ ميثيل بنتان.

مثال (٢)

سَمِّ المركَّب الآتي: $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle CH_2-CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$ وفقًا لقواعد التسمية التي درستها في نظام تسمية الأيوباك.

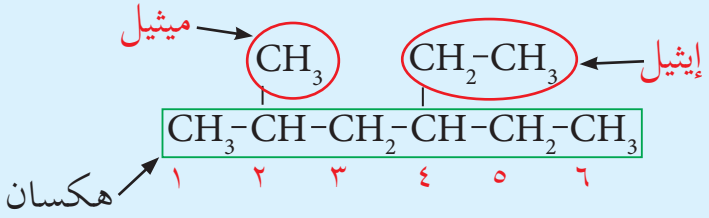
الحل

١ – نُحدِّد أولًا أطول سلسلة من ذرات الكربون، ثم نُرقِّم ذرات الكربون فيها من الطرف الأقرب إلى التفرع، بحيث تأخذ التفرعات أقل مجموع أرقام كما في الشكل الآتي:



حاوِل أن تجد سلاسل أخرى تحوي العدد نفسه من ذرات الكربون.

٢ – نعطي كل مجموعة ألكيل اسمًا ورقمًا حسب رقم ذرة الكربون المتصلة بها في أطول سلسلة.



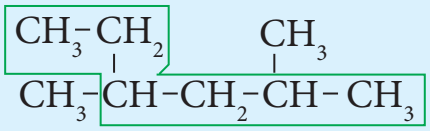
٣ – نكتب اسم المركَّب بحيث توضع أسماء المجموعات وأرقامها حسب ترتيبها الهجائي، ثم يوضع اسم الألكان المشتق من أطول سلسلة في المركَّب، التي تتكوَّن من ست ذرات كربون، وبذلك يصبح اسم المركَّب: ٤ـ إيثيل ـ٢ـ ميثيل هكسان.

مثال (٣)

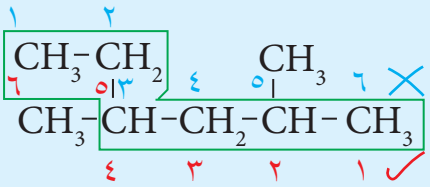
سَمِّ المركَّب الآتي: $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3-CH_2}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$ وفقًا لنظام تسمية الأيوباك.

الحل

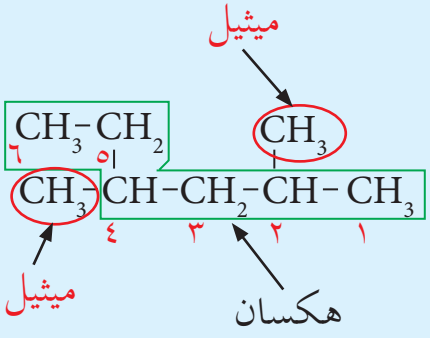
١ – نُحدِّد أولًا أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون كما في الشكل الآتي:



٢ – نُرقِّم ذرات الكربون في السلسلة من الطرف الأقرب إلى أول تفرع.



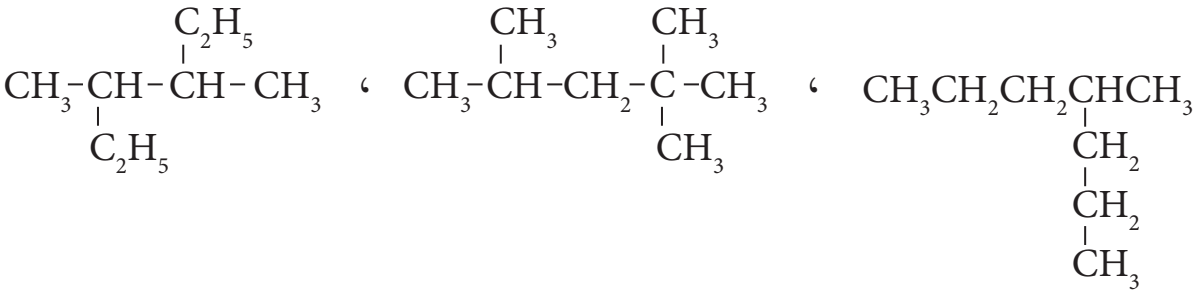
٣ – نُرقِّم كل مجموعة ألكيل حسب رقم ذرة الكربون التي ترتبط بها. لاحِظ أن التفرعين هما ميثيل؛ لذا نستخدم كلمة (ثنائي) ليصبح الاسم:



٢،٤ـ ثنائي ميثيل هكسان.

سؤال

◄ سَمِّ المركَّبات العضوية الآتية وفقًا لنظام تسمية الأيوباك:



بناءً على معرفتك باسم الألكان، هل يمكنك كتابة صيغته البنائية؟ لتتمكَّن من ذلك، ادرس المثال الآتي.

مثال (٤)

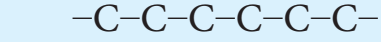
اكتب الصيغ البنائية للمركَّبين الآتيين:

١) ٢،٢ ، ٤ـ ثلاثي ميثيل هكسان.

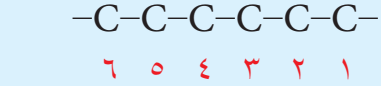
٢) ٣،٥ـ ثنائي إيثيل ـ ٤ ـ ميثيل هبتان.

الحل

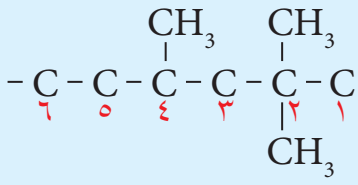
(١) أ – انتهى اسم الألكان بكلمة (هكسان)؛ لذا نكتب سلسلة مُكوَّنة من ٦ ذرات كربون:



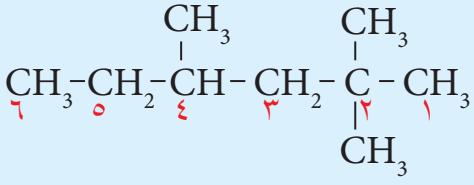
ب – نُرقِّم ذرات الكربون في السلسلة:



جـ – نضع مجموعات الألكيل على السلسلة كما يأتي: نضع مجموعتي ميثيل على ذرة الكربون رقم ٢، ومجموعة ميثيل واحدة على ذرة الكربون رقم ٤:

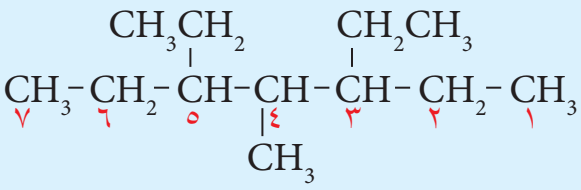


د – تُكوِّن ذرة الكربون في الألكان ٤ روابط أحادية من نوع σ؛ لذا يمكن إكمال ما تبقّى من الروابط بذرات الهيدروجين على النحو الآتي:



٢ ، ٢ ، ٤ ـ ثلاثي ميثيل هكسان.

(٢) نُكرِّر الخطوات السابقة لكتابة الصيغة البنائية في المركَّب الثاني:



٣، ٥ـ ثنائي إيثيل ـ ٤ ـ ميثيل هبتان.

سؤال

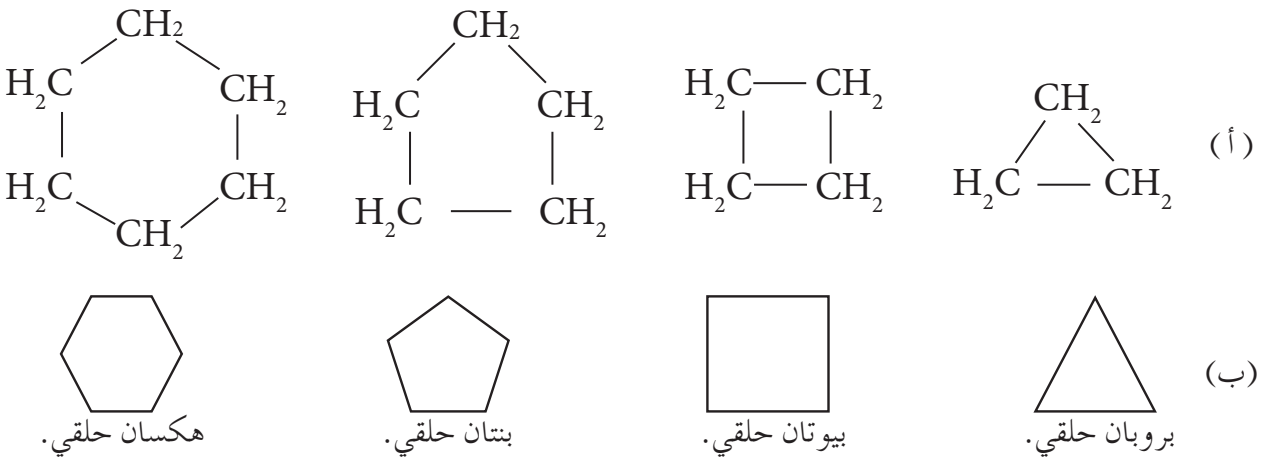
- اكتب الصيغ البنائية للمركَّبين الآتيين:

أ) ٣ـ إيثيل ـ ٢ـ ميثيل بنتان.

ب) ٢ ، ٣ـ ثنائي ميثيل هكسان.

- حدِّد الخطأ في اسم الألكان ٢ ، ٢ـ ثنائي إيثيل بنتان، ثم اذكر اسمه الصحيح.

بعد أن تعرَّفت طريقة تسمية الألكانات في سلاسل متفرعة وغير متفرعة، كيف تُسمّي الألكانات الحلقية؟ لتتعرَّف ذلك، ادرس الشكل (٥ـ٤) الذي يُمثِّل عددًا من الألكانات الحلقية، واسم كلٍّ منها.



الشكل (٥ـ٤): الألكانات الحلقية.

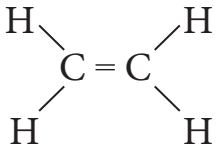
يمكن كتابة الألكانات الحلقية بصورة مبسطة كما في الشكل (٤ـ٥/ ب)؛ إذ تُمثِّل كل زاوية في الشكل ذرة كربون، ولهذا فإن الحلقة التي تضم ٣ زوايا تُسمّى البروبان الحلقي، وتلك التي تضم ٤ زوايا تُسمّى البيوتان الحلقي، وهكذا.

سؤال

◄ ما الصيغة الجزيئية العامة للألكانات الحلقية؟

٢ – الألكينات Alkenes

تتميز الألكينات باحتواء جزيئاتها على رابطة ثنائية بين ذرتي كربون متجاورتين، إحداهما من نوع سيغما (σ)، والأخرى من نوع باي (π)، أمّا صيغتها الجزيئية العامة فهي C_nH_{2n}، ويُعَدُّ الإيثين أصغر الألكينات، ويكون تهجين ذرتي الكربون فيه من نوع sp^2، ويُوضِّح الشكل (٥–٥) صيغته البنائية.



الشكل (٥–٥): صيغة الإيثين البنائية.

الكيمياء في حياتنا

معظم النباتات لديها هرمون يُسمّى هرمون الإيثين (C_2H_4) مثل البندورة التي تُطلِق الإيثين عندما تنضج.

لتتعرَّف كيفية تسمية الألكينات، اتبع الخطوات الآتية:

١–حدِّد أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون تتضمَّن الرابطة الثنائية بوصفها شرطًا أساسيًّا.

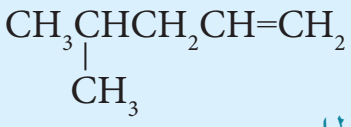
٢–رقِّم السلسلة من الطرف الأقرب إلى الرابطة الثنائية، بحيث تُعطى ذرة الكربون التي تبدأ بها الرابطة الثنائية أقل الأرقام بغض النظر عن التفرعات.

٣– رقِّم مجموعات الألكيل وسَمِّها كما تعلَّمت في تسمية الألكانات.

٤– أضف مقطع (ين) إلى الاسم المقابل لعدد ذرات الكربون في أطول سلسلة، مراعيًا أن يسبقه الرقم الأصغر من بين رقمي ذرتي كربون الرابطة الثنائية في المركَّب.

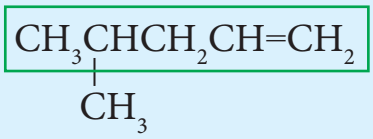
مثال (٥)

سَمِّ المركَّب الآتي وفقًا لنظام تسمية الأيوباك:

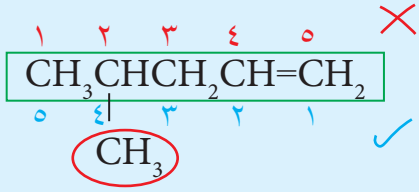


الحل

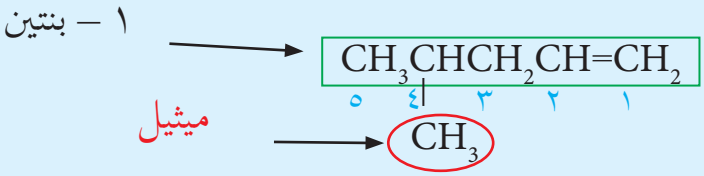
١– نُحدِّد أولًا أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون تتضمَّن الرابطة الثنائية:



٢– نرقِّم السلسلة من الطرف الأقرب إلى الرابطة الثنائية:



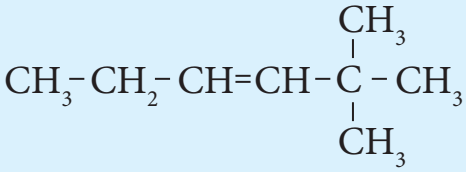
٣– نُسمي مجموعة الألكيل المتصلة بالسلسلة:



وبذلك يصبح الاسم: ٤ – ميثيل – ١ – بنتين.

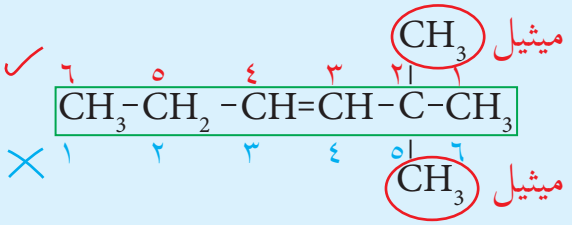
مثال (٦)

سَمِّ المركَّب الآتي وفقًا لنظام تسمية الأيوباك:



الحل

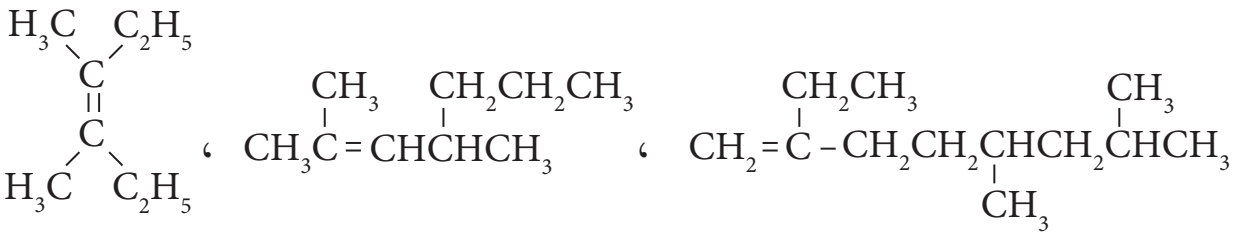
عند ترقيم أطول سلسلة في المركَّب السابق، لاحِظ أن لذرتي كربون الرابطة الثنائية الرقمين نفسيهما من الاتجاهين، وهما ٣ ، و ٤، وفي هذه الحالة يجب ترقيم السلسلة من الطرف الأقرب إلى أول تفرع:



وبذلك يكون اسم المركَّب: ٢،٢ـ ثنائي ميثيل ـ٣ـ هكسين.

سؤال

◄ سَمِّ الألكينات الآتية وفق نظام تسمية الأيوباك:



◄ اكتب الصيغة البنائية للمركَّبين الآتيين:

- ٤،٣،٣ ـ ثلاثي ميثيل ـ١ـ هكسين.
- ٣ـ إيثيل ـ ٦،٥ ـ ثنائي ميثيل ـ٢ـ أوكتين.

◄ حدِّد الخطأ في اسم المركَّب ٣ـ ميثيل ـ٢ـ بيوتين؟ ما اسمه الصحيح؟

ابحث في الشبكة المعلوماتية، أو في مكتبة مدرستك عن أسماء الألكينات الحلقية، مُستعينًا بالكلمات المفتاحية الآتية: ألكين حلقي، نظام تسمية الأيوباك، الهيدروكربونات غير المُشبَّعة.

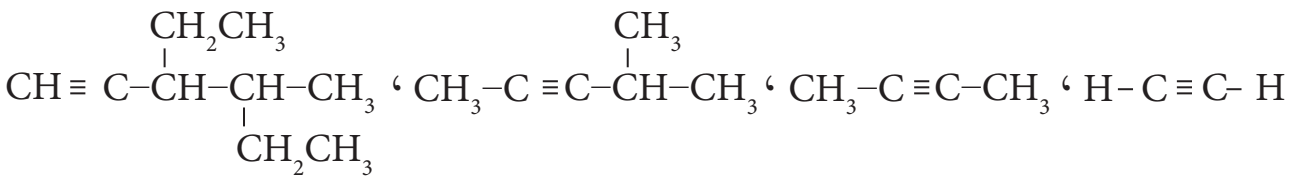
٣ – الألكاينات Alkynes

تُصنَّف الألكاينات من الهيدروكربونات غير المُشبَّعة؛ لأنها تحتوي على رابطة ثلاثية بين ذرتي كربون متجاورتين (رابطة من نوع σ، ورابطتان من نوع π)، ويُعَدُّ الإيثاين أصغر الألكاينات، ويكون تهجين ذرتي الكربون فيه من نوع sp، ويُبيِّن الشكل (٥–٦) صيغته البنائية.

$$H-C\equiv C-H$$

الشكل (٥–٦): صيغة الإيثاين البنائية.

لتتعرَّف المزيد عن هذا النوع من المركَّبات، ادرس الشكل (٥–٧)، ثم حاوِل استنتاج خطوات تسمية الألكاينات.



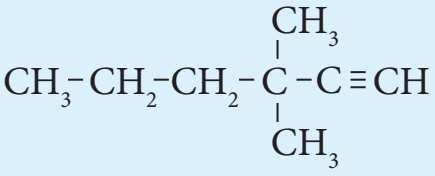
الشكل (٥–٧): أسماء بعض الألكاينات.

لاحِظ أن تسمية الألكاينات تشبه طريقة تسمية الألكينات، باستثناء مقطع (اين) الذي يضاف إلى الاسم المقابل لعدد ذرات الكربون في أطول سلسلة التي تحتوي على الرابطة الثلاثية.

ولتوضيح طريقة تسمية الألكاينات، ادرس المثال الآتي.

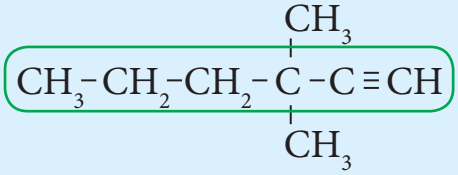
مثال (٧)

سَمِّ المركَّب الآتي وفق نظام تسمية الأيوباك:

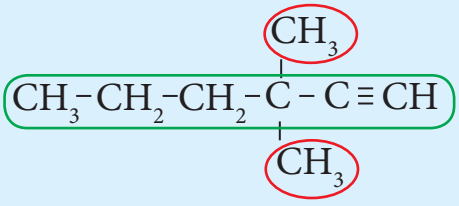


الحل

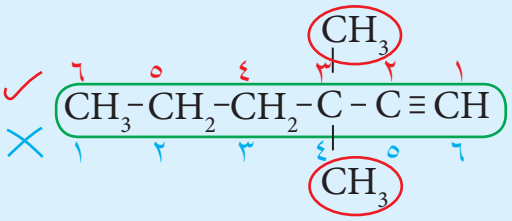
١– نُحدِّد أولًا أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون تتضمَّن الرابطة الثلاثية:



٢– نُحدِّد مجموعات الألكيل المرتبطة بهذه السلسلة:



٣– نُرقِّم السلسلة من الطرف الأقرب إلى الرابطة الثلاثية:



وبذلك يكون اسم المركَّب: ٣،٣ـ ثنائي ميثيل ـ١ ـ هكساين.

سؤال

◄ سَمِّ المركَّبين الآتيين:

$CH_3-CH_2-C\equiv C-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$ ، $CH\equiv C-CH_2-CH_2-CH_3$

◄ حدِّد الخطأ في اسم المركَّب ٢ـ إيثيل ـ٥ ـ هكساين.

ثانيًا التصاوغ

تعرَّفت في الصف العاشر مفهوم التصاوغ (Isomerism)، ورسمت متصاوغات لعدد من الألكانات. ولتتذكَّر ذلك، نفِّذ النشاط (٥–١).

نشاط (٥–١): التصاوغ

المواد والأدوات المطلوبة

صندوق نماذج الذرات.

الخطوات

١– مثِّل بالرسم الصيغة البنائية للجزيء C_3H_8.

٢– أنشئ نموذجًا للجزيء الذي رسمته باستخدام نماذج الذرات والروابط.

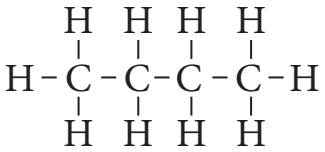
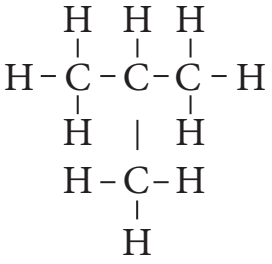
٣– استخدم نماذج الذرات والروابط في بناء مجسمات للجزيئات التي تشترك في الصيغة C_4H_{10}.

٤– ارسم أشكال نماذج الجزيئات السابقة مُستخدِمًا رموز العناصر، والروابط الأحادية بينها.

- سَمِّ الجزيئات السابقة وفقًا لنظام تسمية الأيوباك.

لاحِظ 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 مركَّبات تختلف عن بعضها بعضًا في أسمائها وخصائصها الفيزيائية والكيميائية، ولكنّها تشترك في صيغة جزيئية واحدة في ما يُعرَف **بالتصاوغ**. لتكتشف ذلك، ادرس الجدول (٥–٤).

الجدول (٥–٤): الخصائص الفيزيائية لمتصاوغات C_4H_{10}.

الصيغة البنائية	درجة الغليان (°س)	درجة الانصهار (°س)
	٠,٥–	١٣٨–
	١١,٧–	١٦٠–

- سَمِّ المركَّبين في الجدول؟
- أيّهما له أعلى درجة غليان؟
- أيّهما له أعلى درجة انصهار؟

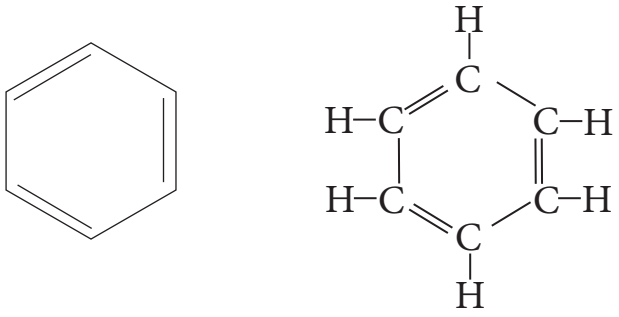
يعتمد عدد المتصاوغات لصيغة جزيئية ما على عدد ذرات الكربون المُكوِّنة للصيغة الجزيئية؛ فكلما زاد عدد ذرات الكربون زاد عدد المتصاوغات.

سؤال

- اكتب الصيغ البنائية المحتملة لجميع متصاوغات الصيغة الجزيئية C_5H_{12}، وسَمِّ كلًّا منها.
- قارن بين عدد متصاوغات C_5H_{12} وعدد متصاوغات C_4H_{10}.

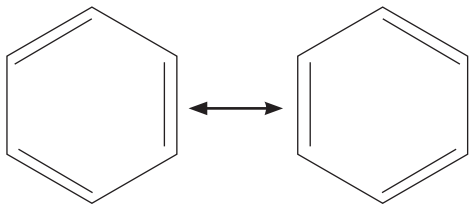
كلمة (أروماتية) تعني العطرية، وهي مشتقة من كلمة أروما (Aroma) باللغة اللاتينية، فقد وُجِدَ أن لبعض هذه المركَّبات (عند اكتشافها) روائح عطرية مميزة، ولكنّ أساس تصنيف المركَّبات العضوية هو السمات التركيبية للمركَّبات، وليس الرائحة، أو بعض الصفات الظاهرية الأخرى. أمّا كيميائيًّا فتُعرَّف **المركَّبات الأروماتية (Aromatic Compounds) بأنها مركَّبات حلقية تحوي روابط ثنائية متعاقبة تحكمها علاقة خاصة.**

يُعَدُّ البنزين C_6H_6 أشهر هذه المركَّبات، ويُبيِّن الشكل (٥–٨) الصيغه البنائية التي يمكن كتابتها له.



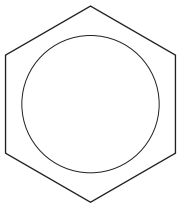
الشكل (٥–٨): صيغة البنزين البنائية.

يتبيَّن من الشكل أن ذرات الكربون الست يرتبط بعضها ببعض على صورة حلقة سداسية، بحيث تترابط ذرات الكربون بثلاث روابط أحادية متعاقبة مع ثلاث روابط ثنائية. ومع أن هذه الصيغة قد تبدو مقبولة، غير أنها لا تُفسِّر خصائص البنزين الفعلية؛ فأطوال الروابط في البنزين جميعها متساوية، وتفاعلات البنزين تختلف عن تفاعلات الألكين الحلقي الذي تُمثِّله أيّ من الصيغتين الظاهرتين في الشكل (٥–٩) اللتين تُعرَفان باسم الصيغة الكيكولية.



الشكل (٥–٩): صيغ كيكولية للبنزين.

يُمثَّل البنزين بالصيغة البنائية الظاهرة في الشكل (٥–١٠)؛ إذ تشير الدائرة إلى توزيع إلكترونات رابطة π على الروابط الست بين ذرات الكربون بالتساوي، ويُنظَر إلى الصيغة في هذا الشكل بوصفها شكلًا وسطيًّا من الصيغتين الواردتين في الشكل (٥–٩).



الشكل (٥–١٠): صيغة البنزين البنائية.

رابعًا الخصائص الفيزيائية للهيدروكربونات

تتميز الهيدروكربونات بأنها مركَّبات غير قطبية، وبارتباط جزيئاتها بقوى لندن؛ لذا فهي لا تذوب في الماء، في حين أنها تذوب في المركَّبات غير القطبية. تتميز الهيدروكربونات أيضًا بانخفاض درجة غليانها مقارنةً بالمركَّبات العضوية الأخرى المشابهة لها في الكتلة المولية. ادرس الجدول (٥–٥)، ملاحِظًا الخصائص الفيزيائية لبعض المركَّبات الهيدروكربونية.

الجدول (٥–٥): درجة غليان بعض الألكانات، وحالتها الفيزيائية.

المركَّب	الصيغة الجزيئية	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

لاحِظ أن درجة غليان الألكانات تزداد بازدياد عدد ذرات الكربون (زيادة الكتلة المولية)، وأن الألكانات الأربعة الأولى تتميز بأن حالتها الفيزيائية غازية، خلافًا للألكانات التي يتراوح عدد ذرات الكربون فيها بين (٥–١٦) ذرة؛ فحالتها سائلة. أمّا الألكانات التي عدد ذرات الكربون فيها أكثر من ذلك فهي صُلْبة.

سؤال

◄ رتِّب الجزيئات الآتية تبعًا لتزايد درجة غليانها:

بيوتان، إيثان، نونان، هكسان.

أسئلة الفصل

١ – ارسم متصاوغات الصيغة C_6H_{14}، ثم سَمِّ كلًّا منها.

٢ – اكتب الصيغة البنائية للمركَّبات الآتية:

أ) ٣ـ إيثيل هكسان.

ب) ٢ـ هبتاين.

جـ) ٣ـ إيثيل ـ٣ـ ميثيل ـ١ـ أوكتين

د) ٢،٢،٤،٤ـ رباعي ميثيل نونان.

هـ) هبتان حلقي.

٣ – أيّهما درجة غليانه أعلى: الديكان أم الهبتان؟ فسِّر إجابتك.

٤ – سَمِّ المركَّبات الآتية وفق نظام تسمية الأيوباك:

أ) $CH_3CH=CH(CH_2)_3CH_3$

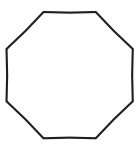
ب)
$$CH_3-CH_2-C\equiv C-\underset{\displaystyle CH_3-CH_2-CH_2}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

جـ)
$$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{C}}-\underset{|}{CH}-CH_2-CH_2-CH_3 \qquad H_5C_2 \quad CH_3$$

د)
$$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}}}-CH_2-C\equiv CH$$

هـ)
$$\begin{matrix} CH_3-CH_2 \\ CH_3-CH_2-CH_2 \end{matrix}\!\!\diagdown\!\!\diagup C=CH_2$$

و)



الفصل الثاني

٢

المركَّبات العضوية الأخرى

Other Organic Compounds

درست في الفصل السابق من هذه الوحدة المركَّبات الهيدروكربونية التي تتكوَّن من كربون وهيدروجين فقط. ولكن، هل توجد مركَّبات عضوية تحتوي على عناصر أخرى غير الكربون والهيدروجين؟ وكيف يُؤثِّر وجود هذه العناصر في الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المركَّبات؟

يُمثِّل وجود الكربون والهيدروجين وارتباطهما بروابط أحادية أساسًا مشتركًا للمركَّبات العضوية جميعها، ويُعَدُّ أيّ تعديل في الروابط (مثل وجود رابطة ثنائية، أو ثلاثية، أو وجود ذرات لعناصر أخرى، مثل الأكسجين، أو إحدى ذرات الهالوجينات) تغيرًا مهمًّا في كيمياء المركَّبات الناشئة الجديدة؛ لذا يُسمّى هذا الجزء المميز (مثل الرابطة الثنائية، أو الذرات الأخرى غير الكربون والهيدروجين) المجموعة الوظيفية (Functional group).

فالمجموعة الوظيفية هي ذلك الجزء المميز الفاعل في المركَّب العضوي الذي يُحدِّد خصائصه الكيميائية والفيزيائية، ونظرًا إلى أهمية المجموعات الوظيفية في تحديد كيمياء المركَّبات العضوية؛ فقد صُنِّفت المركَّبات العضوية التي تحوي مجموعات وظيفية أصنافًا عدَّة. فما تلك المركَّبات العضوية؟ وما المجموعة الوظيفية المميزة لكلٍّ منها؟ وكيف تُسمّى هذه المركَّبات وفق قواعد تسمية الأيوباك؟ وما خصائصها الفيزيائية؟

ستتمكَّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك بعد ذلك أن:

- تُحدِّد المجموعة الوظيفية المميزة لكل مركَّب عضوي.
- تكتب صيغًا بنائيةً لمركَّبات عضوية تحتوي على مجموعة وظيفية.
- تُطبِّق قواعد التسمية عند تسمية هذه المركَّبات.
- تُوضِّح بعض الخصائص الفيزيائية المميزة لهذه المركَّبات.

أولًا تصنيف المركَّبات العضوية

تُصنَّف المركَّبات العضوية تبعًا للمجموعة الوظيفية الموجودة في المركَّب العضوي إلى عائلات، أهمها مُمثَّل في الجدول (٥–٤).

الجدول (٥–٤): أهم عائلات المركَّبات العضوية بناءً على المجموعة الوظيفية فيها.

الصيغة العامة للمركَّب العضوي	اسم المجموعة الوظيفية	المثال	اسم العائلة
$>C=C<$	رابطة ثنائية	$CH_2=CH-CH_3$	ألكينات
$-C\equiv C-$	رابطة ثلاثية	$H-C\equiv C-H$	ألكاينات
$R-O-H$	هيدروكسيل	CH_3-OH	كحولات
$R-O-R'$	إيثر	CH_3-O-CH_3	إيثرات
$R-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-H$	كربونيل	$CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-H$	ألديهايدات
$R-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-R'$	كربونيل	$CH_3-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-CH_3$	كيتونات
$R-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-OH$	كربوكسيل	$CH_3-CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-OH$	حموض كربوكسيلية
$R-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-O-R'$	إستر	$CH_3-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-O-CH_3$	إسترات
$R-NH_2$	أمين	CH_3-NH_2	أمينات
$R-X$	هالوجين	CH_3CH_2Cl	هاليدات الألكيل

اعتمادًا على الجدول (٥–٤)، أجب عن الأسئلة الآتية:

- ما المجموعة الوظيفية للمركَّبات التي تحتوي فقط على كربون وهيدروجين؟
- ما العائلات التي تحتوي على أكسجين؟
- كيف يمكنك تمييز الحمض الكربوكسيلي من الإستر؟

ستتعرَّف في ما يأتي أصناف المركَّبات العضوية حسب مجموعاتها الوظيفية:

١ – هاليدات الألكيل R–X (الهالوألكانات) Alkyl Halides

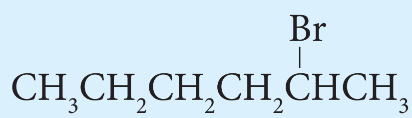
هي المركَّبات العضوية التي تحتوي، (إضافة إلى الكربون والهيدروجين)، على ذرة أو أكثر من ذرات الهالوجينات، وهي عناصر المجموعة السابعة (F، Cl، Br، I) في الجدول الدوري. أمّا الصيغة العامة لهاليدات الألكيل فهي R–X، حيث تُمثِّل R مجموعة ألكيل، وتشير X إلى أحد الهالوجينات، وهي المجموعة الوظيفية المميزة لهاليدات الألكيل كما في الأمثلة الآتية:

برومو ميثان. ٢ـ فلورو بيوتان. ٣ـ كلورو ـ ٢ ـ ميثيل بنتان.

لتتعرَّف طريقة تسمية هاليدات الألكيل وفق نظام تسمية الأيوباك، ادرس المثال الآتي.

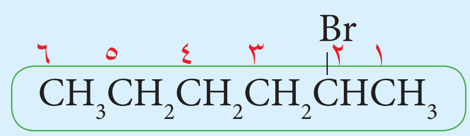
مثال (١)

سَمِّ المركَّب الآتي:



الحل

١ – نُرقِّم أولًا ذرات الكربون في أطول سلسلة من الطرف الأقرب إلى التفرع:

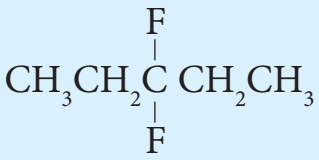


٢ – نكتب رقم ذرة الكربون التي تحمل ذرة الهالوجين، تليه شرطة (٢ـ)، ثم اسم الهالوجين على وزن هالو (٢ـ برومو)، ثم اسم الألكان (هكسان)، فيصبح الاسم: ٢ـ بروموهكسان.

في حال وجود أكثر من ذرة هالوجين متماثلة، نعطي كلًّا منها رقمًا يُمثِّل ذرة الكربون التي ترتبط بها ذرات الهالوجينات، ونضع فاصلة بين كل رقم وآخر، ونستخدم كلمة (ثنائي) أو (ثلاثي) للدلالة على عدد ذرات الهالوجين المتماثلة في المركَّب كما في المثال (٢).

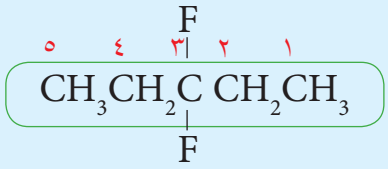
مثال (٢)

سَمِّ المركَّب الآتي:



الحل

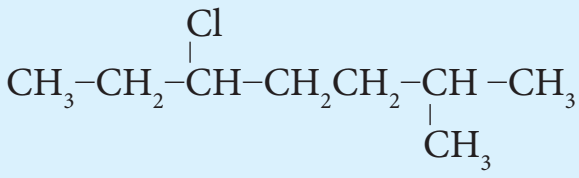
١ – نُرقِّم أولًا سلسلة الكربون من الطرف الأقرب إلى ذرة الهالوجين:



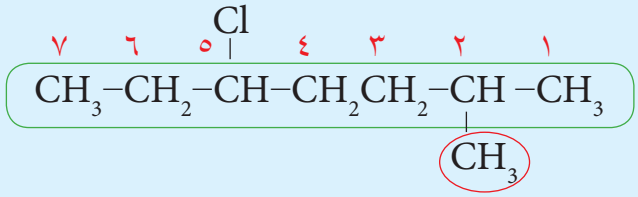
٢– نكتب الرقم (٣، ٣) للدلالة على رقم ذرة الكربون التي ترتبط بها ذرتا الهالوجين، يليه شرطة (٣، ٣ــ)، ثم كلمة (ثنائي)؛ نظرًا إلى وجود ذرتي هالوجين من النوع نفسه (ثنائي فلورو)، ثم اسم الألكان (بنتان)، فيصبح الاسم: ٣، ٣ــ ثنائي فلوروبنتان.

مثال (٣)

سَمِّ هاليد الألكيل الآتي:



الحل

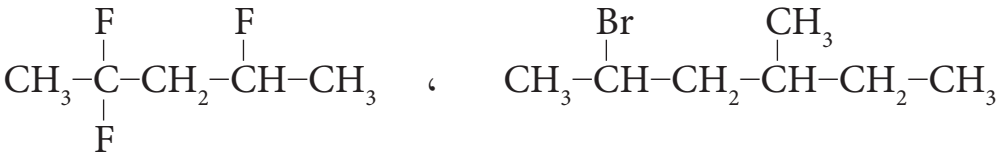


يُسمّى هاليد الألكيل: ٥ــ كلورو ــ ٢ــ ميثيل هبتان (لاحِظ أن حروف الكلمات مُرتَّبةً ترتيبًا هجائيًّا).

ومن الجدير بالذكر أن هاليد الألكيل يتميز بترقيم أطول سلسلة لذرات الكربون، بدءًا بالأقرب إلى التفرع؛ سواء كان التفرع لذرة هالوجين، أو لمجموعة ألكيل.

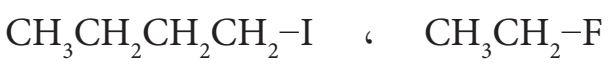
سؤال

◄ سَمِّ كل مركَّب عضوي ممّا يأتي وفق نظام تسمية الأيوباك:

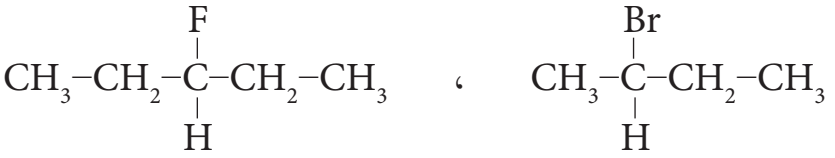


تُصنَّف هاليدات الألكيل (باستثناء هاليدات الميثيل) حسب ارتباط ذرة الهالوجين بذرة الكربون إلى:

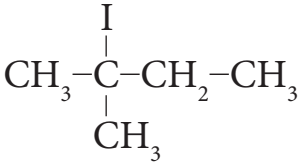
أ – **هاليدات أولية:** وفيها ترتبط ذرة الكربون التي تحمل ذرة الهالوجين بذرة كربون واحدة كما في المثالين الآتيين:



ب– **هاليدات ثانوية:** وفيها ترتبط ذرة الكربون التي تحمل ذرة الهالوجين بذرتي كربون كما في المثالين الآتيين:



جـ– **هاليدات ثالثية:** وفيها ترتبط ذرة الكربون التي تحمل ذرة الهالوجين بثلاث ذرات كربون كما في المثال الآتي:



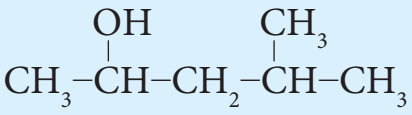
يُذكَر أن هاليدات الميثيل (CH_3X) تُعَدُّ صنفًا مستقلًّا يختلف عن تصنيف هاليدات الألكيل.

٢ – الكحولات Alcohols R–OH

تتميز الكحولات باحتوائها على المجموعة الوظيفية (OH) التي تُسمّى مجموعة الهيدروكسيل، وترتبط بالجزء الهيدروكربوني من الألكان (R) (مجموعة الكيل)، ويشتق الكحول من الألكان نتيجة استبدال مجموعة الهيدروكسيل بذرة هيدروجين. ولتتعرَّف طريقة تسمية الكحولات، ادرس المثال الآتي.

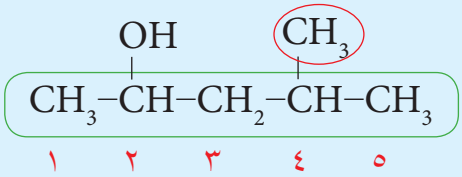
مثال (٤)

سَمِّ الكحول الآتي حسب نظام تسمية الأيوباك:



الحل

١ – نُحدِّد أولًا أطول سلسلة كربون تضم مجموعة الهيدروكسيل:



٢ – نُرقِّم هذه السلسلة من الطرف الأقرب إلى مجموعة الهيدروكسيل (OH) كما هو مُبيَّن في البند الأول.

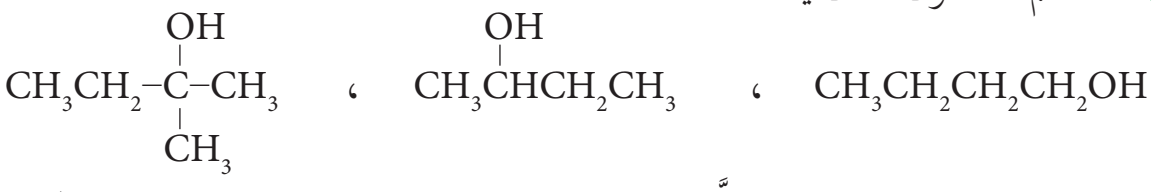
٣ – نكتب رقم ذرة الكربون التي ترتبط بمجموعة الهيدروكسيل (٢).

٤ – نكتب رقم ذرة الكربون التي ترتبط بمجموعة الميثل (٤).

٥ – نُسمّي مجموعة الميثيل في مقدمة الاسم، ثم نُرقِّم ذرة الكربون التي ترتبط بمجموعة الهيدروكسيل، ثم اسم الألكان مضافًا إليه المقطع (ول) ليصبح ألكانول، وبذلك يكون اسم المركَّب: ٤ ـ ميثيل ـ ٢ ـ بنتانول.

سؤال

- سَمِّ الكحولات الآتية:



- اكتب الصيغة البنائية للمركَّب: ٢ ـ ميثيل ـ ٣،٣ ـ ثنائي إيثيل ـ ١ ـ هبتانول.
- ما الخطأ في اسم المركَّب الآتي: ٢ ـ ميثيل ـ ٥ ـ هكسانول؟ اكتب اسمه الصحيح.

تُصنَّف الكحولات حسب تركيب مجموعة الألكيل التي تتصل بمجموعة الهيدروكسيل إلى أولية وثانوية وثالثية (مثل طريقة تصنيف هاليدات الألكيل نفسها). ولتوضيح ذلك، ادرس المثال الآتي.

مثال (٥)

سَمِّ الكحولات الآتية، مُصنِّفًا إياها إلى أولية وثانوية وثالثية:

(١) CH_3CH_2OH ، (٢) $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-CH_3$ ، (٣) $CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$

الحل

١) إيثانول، كحول أولي.

٢) ٢ـ ميثيل ـ٢ـ بروبانول، كحول ثالثي.

٣) ٣ـ بنتانول، كحول ثانوي.

الكيمياء في حياتنا

تُعَدُّ الكحولات أحد أكثر المركَّبات العضوية استخدامًا في الحياة، ومن أشهرها مُعقِّم الجروح الذي يستخدم في البيت والمستشفيات، ويُعرَف باسم الكحول الطبي (السبيرتو).

قضية للبحث

تُصنَّف الكحولات وفق عدد مجموعات الهيدروكسيل فيها إلى أنواع عدَّة. مُستعينًا بالكلمتين المفتاحيتين الآتيتين: كحول، كحول متعدد الهيدروكسيل، ابحث في الشبكة المعلوماتية عن هذه الأنواع، ثم اكتب تقريرًا عنها، واعرضه على زملائك.

٣ – الإيثرات Ethers $R-O-R'$

تُعَدُّ الإيثرات من المذيبات العضوية الشائعة الاستخدام نظرًا إلى قطبيتها المنخفضة، وهو ما يجعلها قادرة على إذابة العديد من المواد. لتتعرَّف الإيثرات، وصيغها البنائية، وأسماءها الشائعة، انظر إلى المركَّبات الآتية وأسمائها:

CH_3-O-CH_3 ، $CH_3CH_2-O-CH_3$ ، $C_2H_5-O-C_2H_5$ ، $C_3H_7-O-CH_3$

ثنائي ميثيل إيثر　　إيثيل ميثيل إيثر　　ثنائي إيثيل إيثر　　بروبيل ميثيل إيثر

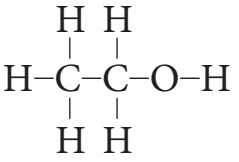
- ما وجه الشبه بين هذه الصيغ؟
- كيف تُسمّى الإيثرات؟

لاحِظ أن الإيثرات تحتوي على ذرة أكسجين مرتبطة بمجموعتي ألكيل، وأن الإيثرات البسيطة تُسمّى بأسماء مجموعات الألكيل المرتبطة بذرة الأكسجين، متبوعةً بكلمة إيثر.

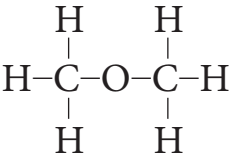
سؤال

- ما اسم الإيثر الآتي: $CH_3OCH_2CH_2CH_2CH_3$؟
- ما الصيغة البنائية لمركَّب: إيثيل بروبيل إيثر؟

تُعَدُّ الإيثرات والكحولات متصاوغات وظيفية؛ أيْ إنها تشترك في الصيغة الجزيئية، وتختلف في المجموعة الوظيفية والصيغة البنائية لكلٍّ منها؛ فمثلًا الصيغة الجزيئية C_2H_6O قد تُمثِّل صيغة جزيئية لكحول أو إيثر كما يأتي:



الإيثانول



ثنائي ميثل إيثر

جدير بالذكر أن التصاوغ الوظيفي شائع بين المركَّبات العضوية، وتُعَدُّ الكحولات والإيثرات مثالًا نموذجيًّا عليه.

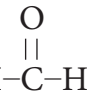
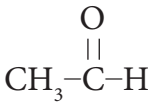
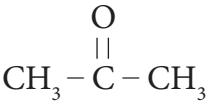
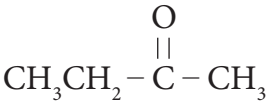
سؤال

- ارسم أشكالًا بنائيةً محتملةً لمتصاوغات C_3H_8O، ثم سَمِّ كلًّا منها حسب نظام تسمية الأيوباك.

٤ – الألديهايدات $R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$ والكيتونات $R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R'$ Aldehydes and Ketones

تمتاز هذه المركَّبات بوجود مجموعة وظيفية تُسمّى الكربونيل ($-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-$)، وهي من

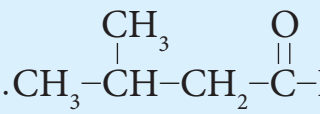
المركَّبات التي تتشابه في صيغها الجزيئية، ولكنّها تختلف عن بعضها في صيغها البنائية في ما يُعرَف بالتصاوغ الوظيفي الذي درسته في موضوع الإيثرات والكحولات. لتتعرَّف هذه المركَّبات، انظر إلى الشكل (٥–١١) الذي يحتوي على عدد من الألديهايدات والكيتونات وأسمائها النظامية والشائعة.

		
الاسم النظامي:	ميثانال	إيثانال
الاسم الشائع:	فورمالديهايد	أسيتالديهايد
		
الاسم النظامي:	بروبانون	٢_ بيوتانون
الاسم الشائع:	أسيتون	إيثيل ميثيل كيتون

الشكل (٥–١١): بعض الألديهايدات والكيتونات، وأسماؤها النظامية والشائعة.

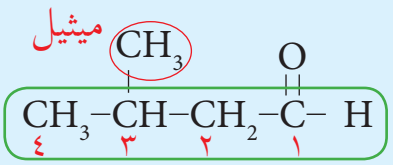
لاحِظ أن الألديهايدات تمتاز بوجود ذرة هيدروجين طرفية مرتبطة بمجموعة الكربونيل ؛ أيْ إنها في بداية الجزيء، وتُسمّى الألديهايدات بإضافة مقطع (ال) إلى اسم الألكان الذي يحوي العدد نفسه من ذرات الكربون. أمّا الكيتونات فترتبط فيها مجموعة الكربونيل بمجموعتي ألكيل (R) على جانبي مجموعة الكربونيل؛ أيْ إن مجموعة الكربونيل غير طرفية، وتُسمّى الكيتونات بإضافة مقطع (ون) إلى اسم الألكان المقابل. لتوضيح ذلك، ادرس المثالين الآتيين.

مثال (٦)

سمِّ الألديهايد الآتي:  .

الحل

١– نُرقِّم أولًا أطول سلسلة كربونية تحتوي على مجموعة كربونيل، ونُعطي هذه المجموعة دائمًا الرقم (١):

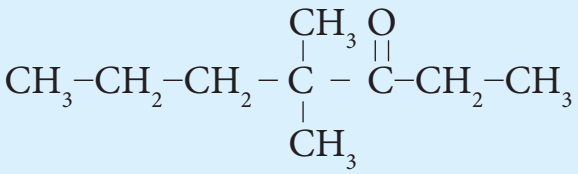


٢– نُعطي الفروع أرقامًا وأسماءً –كما تعلَّمت سابقًا–، فيكون الاسم: ٣ـ ميثيل بيوتانال.

لاحِظ أن رقم المجموعة الوظيفية لم يوضع في الألديهايد؛ لأنها دائمًا تأخذ الرقم (١).

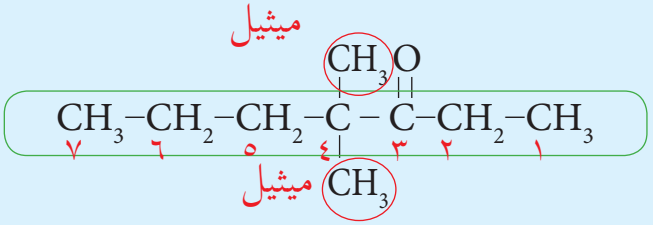
مثال (٧)

سمِّ الكيتون الآتي:



الحل

١ – نُرقِّم أولًا أطول سلسلة كربونية تحتوي على مجموعة الكربونيل، بدءًا بالطرف الأقرب إلى مجموعة الكربونيل:

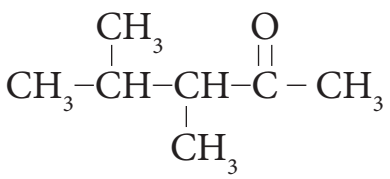


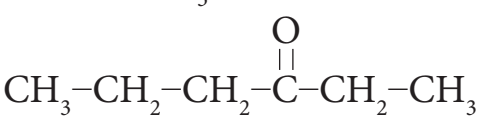
٢ – نضع رقم مجموعة الكربونيل قبل اسم الكيتون، فيكون الاسم:

٤،٤– ثنائي ميثيل –٣– هبتانون.

سؤال

◄ سمِّ كلًّا من المركَّبات الآتية:





◄ اكتب الصيغة البنائية لكلٍّ من المركَّبين الآتيين:

■ ٤،٣ـ ثنائي ميثيل هكسانال.

■ ٢ـ ميثيل ـ٣ـ هبتانون.

◄ حدِّد الخطأ في اسم كلٍّ من المركَّبين الآتيين، ثم صحِّحه:

■ ٢ـ ميثيل ـ١ـ بيوتانال.

■ ٢ـ إيثيل ـ٤ـ هكسانون.

◄ اكتب الصيغ البنائية لمتصاوغات الصيغة الجزيئية C_3H_6O.

٥ـ الحموض الكربوكسيلية $R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$ Carboxylic Acids

يُمثِّل هذا الصنف من المركَّبات العضوية أهمية كبيرة في حياتنا اليومية؛ فنحن نستخدم الخل في كثير من المجالات، وهو حمض كربوكسيلي يُسمّى حمض الأسيتيك (الإيثانويك)، ونتعرَّض أيضًا للسع النمل الذي يفرز حمض الفورميك (الميثانويك) في أثناء عملية اللسع، ونستمتع بطعم الحمضيات المميز لوجود حمض السيتريك فيها.

لتتعرَّف المزيد عن الحموض الكربوكسيلية، وطريقة تسميتها، ادرس المركَّبات الآتية، ثم أجب عمّا يليها من أسئلة:

$H-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$ ، $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$ ، $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$

حمض الميثانويك. حمض الإيثانويك. حمض ٢،٢ـ ثنائي ميثيل بروبانويك.

● ما المجموعة المشتركة في هذه المركَّبات؟

● ما المقطع الذي ينتهي به اسم هذه المركَّبات؟

لاحِظ أن الحموض الكربوكسيلية جميعها تشترك في المجموعة الوظيفية التي تُسمّى الكربوكسيل COOH، وأن هذه الحموض ينتهي اسمها بمقطع (ويك). لتسمية الحموض الكربوكسيلية، يمكن اتباع خطوات تسمية الألديهايدات نفسها، مع كتابة المقطع (ويك) في الحمض بدلًا من المقطع (ال) بالألديهايد، وذكر كلمة (حمض) في بداية الاسم.

سؤال

◄ ما الاسم النظامي لكلٍّ من المركَّبات الآتية:

$CH_3CH_2CH_2COOH$ ، $CH_3CH_2\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH_2CH_2COOH$ ، $CH_3CH_2\overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}}-OH$ ؟

◄ اكتب الصيغة البنائية للحمض الكربوكسيلي: حمض ٢،٣ ـ ثنائي ميثيل بنتانويك.

◄ ما الخطأ في اسم المركَّب الآتي: حمض ٢ ـ ميثيل ـ ١ ـ بروبانويك؟ اكتب اسمه الصحيح.

الكيمياء في حياتنا

يُعَدُّ فيتامين C أو حمض الأسكوربيك من الفيتامينات المهمة جدًّا 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.

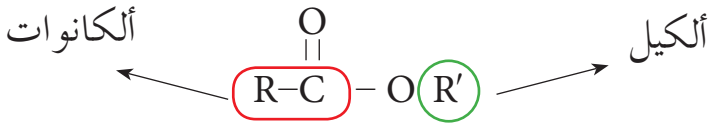
٦ – الإسترات Esters $R-\overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}}-O-R'$

تمتاز الإسترات بروائح عطرية تشبه رائحة بعض الفواكه؛ فإستر بنتيل إيثانوات رائحته تشبه رائحة الموز، وميثيل بيوتانوات تُماثِل رائحته رائحة التفاح. لتتعرَّف المزيد عن الإسترات، ادرس الشكل الآتي.

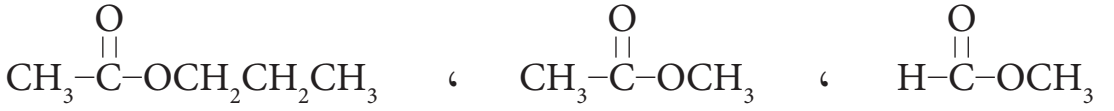
$$R-\overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}}-OR'$$

من الحمض الكربوكسيلي — من الكحول

لاحِظ أن صيغة الإستر تتكوَّن من جزأين؛ أحدهما من الحمض الكربوكسيلي، والآخر من الكحول، ويُسمّى الإستر بكتابة مجموعة الألكيل المستمدة من الكحول أولًا، ثم كتابة الشق المستمد من الحمض، مع استبدال المقطع (وات) بالمقطع (ويك)، فيكون الاسم العام للإستر هو ألكيل ألكانوات كما يأتي:



وتُوضِّح الأمثلة الآتية تسمية بعض الإسترات:



$H-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_3$ ، $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_3$ ، $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_2CH_2CH_3$

ميثيل ميثانوات. ميثيل إيثانوات. بروبيل إيثانوات.

سؤال

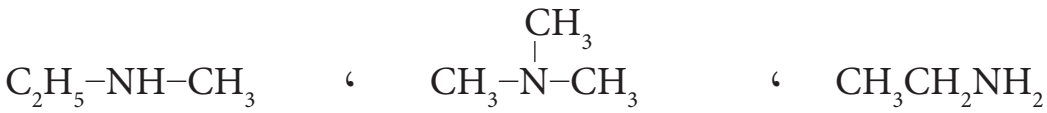
- سَمِّ الإسترين الآتيين:

$CH_3CH_2COOCH_3$ ، $CH_3CH_2O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2CH_2CH_3$

- اكتب الصيغة البنائية لإستر بروبيل بروبانوات.
- ارسم أشكالًا بنائيةً لمتصاوغات $C_3H_6O_2$ التي تُمثِّل حموضًا كربوكسيليةً وإسترات.

٧– الأمينات Amines

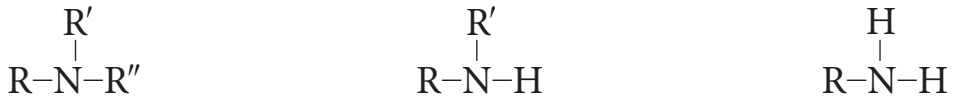
يمكن النظر إلى الأمينات بوصفها مركَّبات مشتقة من الأمونيا NH_3، وذلك بعد استبدال بمجموعة ألكيل أو أكثر بذرة هيدروجين أو أكثر في الأمونيا. وتُعَدُّ ذرة النيتروجين مجموعة وظيفية في الأمينات، انظر الأمثلة الآتية لعدد من الأمينات وأسمائها الشائعة:



$CH_3CH_2NH_2$ ، $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{N}-CH_3$ ، $C_2H_5-NH-CH_3$

إيثيل أمين. ثلاثي ميثيل أمين. إيثيل ميثيل أمين.

تُصنَّف الأمينات حسب عدد مجموعات الألكيل التي ترتبط بذرة النيتروجين إلى أولية وثانوية وثالثية كما يأتي:



$R-\overset{\overset{H}{|}}{N}-H$ ، $R-\overset{\overset{R'}{|}}{N}-H$ ، $R-\overset{\overset{R'}{|}}{N}-R''$

أمين أولي. أمين ثانوي. أمين ثالثي.

سؤال

- صَنِّف الأمينات السابقة (إيثيل أمين، وثلاثي ميثيل أمين، وإيثيل ميثيل أمين) إلى أولية وثانوية وثالثية.

لمعرفة الطريقة النظامية لتسمية الأمينات، ادرس المثال الآتي.

مثال (٨)

سَمِّ كلًّا من المركَّبين الآتيين وفق التسمية النظامية:

$CH_3-CH_2-CH_2-NH_2$ (١)

$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-CH_3$ (٢)

الحل

١ – نُرقِّم ذرات الكربون في أطول سلسلة في المركَّب من الطرف الأقرب إلى مجموعة الأمين (NH_2)، ونُعطي ذرة الكربون التي ترتبط بها مجموعة الأمين رقمًا ثم كلمة (أمينو) للدلالة على مجموعة الأمين، ثم نكتب اسم الألكان المقابل كما يأتي:

٣ ٢ ١

$CH_3-CH_2-CH_2-NH_2$

فيكون الاسم: ١ – أمينو بروبان.

٢ – نُرقِّم ذرات الكربون في أطول سلسلة في المركَّب الثاني من الطرف الأقرب إلى مجموعة الأمين، ونُعطي ذرة الكربون التي ترتبط بها مجموعة الأمين رقمًا، ومجموعة الألكيل رقمًا، ونُسمّي مجموعة الألكيل أولًا، ثم مجموعة الأمين باسم (أمينو)، ثم نكتب اسم الألكان المقابل كما يأتي:

٦ ٥ ٤ ٣ ٢ ١

$CH_3-CH_2-CH-CH_2-CH-CH_3$

NH_2 على الكربون ٢

CH_3 على الكربون ٤ (ميثيل)

فيكون الاسم : ٤ ـ ميثيل ـ ٢ ـ أمينو هكسان.

سؤال

◄ سَمِّ المركَّبين الآتيين حسب نظام تسمية الأيوباك:

$CH_3CH_2CH_2CH_2NH_2$ ، $CH_3CH_2CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH_3}}$

◄ اكتب الصيغة البنائية لكلٍّ من المركَّبات الآتية:

- ٢،٢ـ ثنائي ميثيل ـ١ـ أمينو بنتان.
- ٢ـ ميثيل ـ٣ـ أمينو هبتان.
- أمينو ايثان.

ثانيًا الخصائص الفيزيائية لبعض المركَّبات العضوية

تعتمد الخصائص الفيزيائية للمركَّبات العضوية التي تحوي مجموعات وظيفية على عاملين رئيسين، هما:

نوع قوى التجاذب بين جزيئاتها، وكتلتها المولية، وفي يأتي استعراض للخصائص الفيزيائية لبعض هذه المركَّبات:

١ – الخصائص الفيزيائية لهاليدات الألكيل

تتميز هاليدات الألكيل بأن قوى التجاذب بين جزيئاتها ثنائيات الأقطاب –كما درست سابقًا– بسبب اختلاف الكهرسلبية بين ذرة الكربون وذرة الهالوجين المرتبطة بها؛ لذا تُعَدُّ هذه المركَّبات مركَّبات قطبية، انظر الشكل (٥– ١٢) الذي يُوضِّح ترابط بعض جزيئات أيودو ميثان:

$$[\ldots.\overset{\delta^+}{C}H_3\overset{\delta^-}{I}\ldots.\overset{\delta^+}{C}H_3\overset{\delta^-}{I}\ldots.\overset{\delta^+}{C}H_3\overset{\delta^-}{I}\ldots.]$$

الشكل (٥–١٢): قوى الترابط بين جزيئات أيودوميثان.

يظهر أثر نوع قوى التجاذب بين الجزيئات في درجة غليان هاليدات الألكيل، انظر الجدول (٥–٤) الذي يُمثِّل مقارنةً بين درجة غليان هاليدات الألكيل والألكانات المناظرة لها في عدد ذرات الكربون.

الجدول (٥–٤): مقارنة درجات غليان بعض هاليدات الألكيل والألكانات.

الألكان	درجة الغليان (°س)	هاليد الألكيل	درجة الغليان (°س)
الميثان	١٦٢–	كلورو ميثان	٢٤–
الإيثان	٨٨,٥–	كلورو إيثان	١٢,٥

لاحِـظ أن لهاليد الألكيـل درجة غليان أعلى من درجة غليان الألـكان الذي يمتلك العدد نفسـه من ذرات الكربون، ويُعزى سـبب ذلك إلى قوى التجاذب بين الجزيئات ثنائيات الأقطاب التي تكون أكبر من قوى التجاذب الموجودة في الألكانات، وهي من نوع قوى لندن، فـضلًا عـن الزيادة في الكتلة المولية لهاليد الألكيل مقارنةً بالألكان المساوي له في عدد ذرات الكربون.

قد يتبادر إلى ذهنك السؤال الآتي: هل تختلف درجة غليان هاليدات الألكيل التي تحوي العدد نفسه من ذرات الكربون؟

للإجابة، 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.

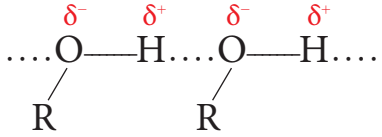
سؤال

◄ رتِّب هاليدات الألكيل الآتية وفقًا لتزايد درجة غليانها:

CH_3CH_2I ، CH_3CH_2Cl ، CH_3CH_2Br

٢ – الخصائص الفيزيائية للكحولات

عرفت سابقًا أن ارتباط ذرة الأكسجين بذرة الهيدروجين في الجزيء يؤدي إلى تجاذبه مع جـزيء آخر في ما يُعرَف بالرابطة الهيدروجينية؛ إذ تنجذب ذرة الهيدروجين في الجزيء إلى ذرة الأكسـجين في الجزيء الآخر. ولمّا كانـت الكحولات تحتوي على المجموعة الوظيفية الهيدروكسـيل (OH)، فإن جزيئات الكحول تتجاذب مع بعضـها بعضًا بروابط هيدروجينية يُوضِّحها الشكل (٥–١٣).



الشكل (٥–١٣): الترابط الهيدروجيني الذي يُمثِّله الخط المُنقَّط بين جزيئين من الكحول.

ولكـن، ما تأثير الترابط الهيدروجيني فـي الكحولات في درجة غليانها مقارنةً بالألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية؟ للإجابة، ادرس الجدول (٥–٦).

الجدول (٥–٦): بعض الخصائص الفيزيائية للكحولات والألكانات ذات الكتل المولية المتقاربة.

الاسم	الصيغة	الكتلة المولية	درجة الغليان (°س)	الحالة الفيزيائية عند درجة حرارة (٢٥)°س
ميثانول	CH_3OH	٣٢	٦٥	سائل
إيثان	CH_3CH_3	٣٠	٨٩–	غاز
إيثانول	CH_3CH_2OH	٤٦	٧٨	سائل
بروبان	$CH_3CH_2CH_3$	٤٤	٤٢–	غاز

يَتبيَّـن مـن الجـدول أن درجة غليان الكحـولات أعلى بكثير من درجة غليـان الألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية، والسـبب –كما عرفـت– هو وجود الترابط الهيدروجيني القوي بين جزيئات الكحول.

يُذكَر أن درجة غليان الكحول تزداد بازدياد كتلتها المولية، شـأنها في ذلك شأن هاليدات الألكيـل. ولكـن، هل تـذوب الكحولات كليًّا في المـاء؟ لمعرفة ذلـك، ادرس الجدول (٥–٧).

الجدول (٥–٧) : درجة غليان بعض الكحولات وذائبيتها في الماء.

الاسم	الصيغة	درجة الغليان (°س)	الذائبية (غ/١٠٠ غ ماء)
١ـ بروبانول	$CH_3CH_2CH_2OH$	٩٧	يذوب في أيّ نسبة
١ـ بيوتانول	$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$	١١٨	٨

- ما التغير الذي تلاحظه على درجة غليان الكحولات عند زيادة كتلتها المولية؟
- ما التغير الذي تلاحظه على ذائبية الكحولات في الماء عند زيادة كتلتها المولية؟

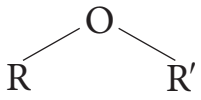
يَتبيَّـن من الجدول أن زيادة الكتلـة المولية للكحول تؤدي إلى زيادة درجة غليانه، ولكنّها تُقلِّل ذائبيته في الماء؛ ذلك أن زيادة السلسلة الهيدروكربونية في الكحول تؤدي إلى تقليل قطبيته، فيصبح أكثر شبهًا بالألكان الذي لا يذوب في الماء.

سؤال

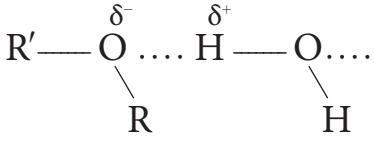
◄ أيّ الكحولين الآتيين درجة غليانه أعلى: ١ـ هبتانول أم ١ـ ديكانول؟ وأيّهما يذوب أكثر في الماء؟

٣ – الخصائص الفيزيائية للإيثرات

تمتـاز الإيثرات بأن قـوى التجاذب بين جزيئاتها ثنائيات الأقطـاب؛ نظرًا إلى ارتباط ذرة الأكسـجين بذرتـي كربـون (C–O–C)، ووجـود فرق في الكهرسـلبية بين الأكسـجين والكربون، علمًا بأن محصـلة العزوم القطبية لا تساوي صفرًا؛ لأن الزاوية في (C–O–C) لا تساوي ١٨٠°؛ فالشكل منحنٍ.



ولمّـا كان الإيثـر يحتـوي على ذرة أكسـجين فإنه يـذوب في الماء بسـبب تكوُّن روابط هيدروجينية بينهما، ولكنّ ذائبيته أقل من الكحولات المقاربة له في الكتلة المولية؛ نتيجة إحاطـة ذرة الأكسـجين فيه بـذرات الكربون المرتبطة بهـا، وهو ما يُقلِّـل قطبيته مقارنةً بالكحولات.



٤ – الخصائص الفيزيائية للألديهايدات والكيتونات

ماذا تتوقَّع أن تكون درجة غليان الألديهايدات والكيتونات بناءً على معرفتك بصيغها الجزيئية ونوع قوى التجاذب بين جزيئاتها؟ للإجابة، ادرس الجدول (٥–٨) الذي يُبيِّن درجات غليان بعض الألديهايدات والكيتونات مقارنةً بالكحولات المقاربة لها في الكتلة المولية.

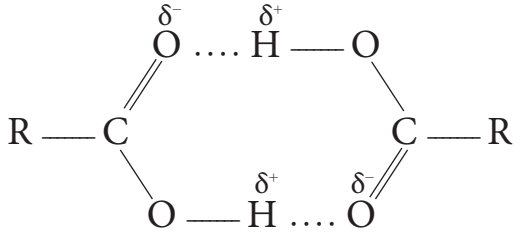
الجدول (٥–٨): مقارنة درجات غليان بعض الألديهايدات والكيتونات والكحولات.

المركَّب	الصيغة البنائية	الكتلة المولية (غ/ مول)	درجة الغليان (°س)
ميثانول	CH_3OH	٣٢	٦٥
ميثانال	$H-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-H$	٣٠	٢١–
٢– بروبانول	$CH_3\overset{\overset{OH}{\|}}{C}HCH_3$	٦٠	٨٢
بروبانون	$CH_3\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}CH_3$	٥٨	٥٦

يَتبيَّن من الجدول أن درجة غليان الكحولات هي أعلى من درجة غليان الألديهايدات والكيتونات؛ ويُعزى ذلك إلى عدم وجود روابط هيدروجينية بين جزيئات الألديهايدات والكيتونات كما هو الحال في الكحولات.

٥ – الخصائص الفيزيائية للحموض الكربوكسيلية

تمتاز الحموض الكربوكسيلية باحتوائها على مجموعة الكربوكسيل (COOH) التي تتكوَّن من مجموعة الكربونيل القطبية، ومجموعة الهيدروكسيل التي تُكوِّن روابط هيدروجينية، انظر الشكل (٥–١٤) الذي يُوضِّح الروابط الهيدروجينية بين جزيئين من حمض كربوكسيلي.



الشكل (٥–١٤): الروابط الهيدروجينية بين جزيئين من حمض كربوكسيلي.

وهذا يُفسِّر الارتفاع الكبير في درجات غليان الحموض الكربوكسيلية مقارنةً بالمركَّبات العضوية الأخرى المساوية لها في عدد ذرات الكربون كما يُوضِّحه الجدول (٥–٩).

الجدول (٥–٩): درجة غليان بعض الحموض الكربوكسيلية وذائبيتها في الماء.

اسم الحمض	درجة الغليان (°س)	الذائبية (غ/١٠٠ غ ماء)
بيوتانويك	١٦٤	يذوب بأية نسبة
أوكتانويك	٢٩٣	٠,٠٧

يَتبيَّن من الجدول أن درجات غليان الحموض الكربوكسيلية تزداد بازدياد كتلها المولية، وأن ذائبيتها في الماء تقل، فسِّر ذلك.

سؤال

◄ قارن بين درجة الغليان والذائبية لكلٍّ من: حمض الديكانويك، وحمض الأوكتانويك.

رقما الأوكتان (٩٠ و٩٥) في محطة الوقود

في أثناء مرورك بمحطة وقودٍ، هل خطر ببالك ما تعنيه الأرقام المدوَّنة على خزانات الوقود؟

إن هذه الأرقام ترتبط بالصوت الذي يصدره محرك السيارة (الضوجان) 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 يُخلَط الهواء ببخار الغازولين، ثم يُضغطا داخل مكبس أسطوانة الاحتراق، لينتج غاز مضغوط يشتعل بوساطة الشرارة الكهربائية، وينتج من هذا الاحتراق تمدد قوي وسلس للغاز الذي يدفع مكبس الأسطوانة إلى الخارج بقوة، فتنتقل إلى ناقل الحركة للمحرك. فإذا كان احتراق الغاز سريعًا جدًّا فإن الغاز المحترق سيدفع المكبس دفعة واحدة عنيفة بدلًا من دفعه دفعة قوية سلسة، فيُصدِر المحرك صوت قرقعة (ضوجان) وهو ما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المحرك، وهدر الطاقة، وانخفاض كفاءة المحرك، ثم تلفه.

إنّ رقم الأوكتان للغازولين هو مؤشر لمدى قدرة المحرك على مقاومة (الضوجان)؛ فالغازولين ذو رقم الأوكتان العالي يحترق بسلاسة أكثر، فيقل استهلاك الوقود. يُذكَر أن الألكانات المتفرعة والهيدروكربونات الأروماتية لها رقم أوكتان أعلى من الألكانات غير المتفرعة.

يمكن الحصول على رقم الأوكتان الخاص بالغازولين بمقارنة خصيصة (ضوجان) المحرك في الآيزو أوكتان (٢، ٢، ٤ ثلاثي ميثيل بنتان) والهبتان، فيُعطي الآيزو أوكتان رقم (١٠٠)، في حين يُعطي الهبتان رقم (٠)، أمّا الغازولين ذو خصيصة (الضوجان) المتساوية فيكون مزيجًا من الآيزو أوكتان بنسبة ٩٠٪، والهبتان بنسبة ١٠٪، ويُعطي رقم الأوكتان (٩٠).

وكلما زاد رقم الأوكتان جرت عملية احتراق الوقود بسلاسة، وكان الوقود أكثر كفاءة، انظر الشكل (٥-١٤).

الشكل (٥-١٤): محطة وقود تحوي أوكتان (٩٠)، وأوكتان (٩٥).

أسئلة الفصل

١ – عرِّف ما يأتي:

المجموعة الوظيفية، التصاوغ الوظيفي، هاليدات الألكيل، الأمينات، الإسترات.

٢ – حدِّد المجموعة الوظيفية لكل صنف من المركَّبات العضوية الآتية:

أ) هاليدات الألكيل.

ب) الكحولات.

جـ) الإيثرات.

د) الألديهايدات.

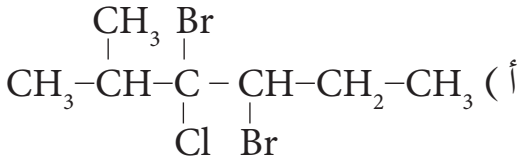
هـ) الإسترات.

و) الكيتونات.

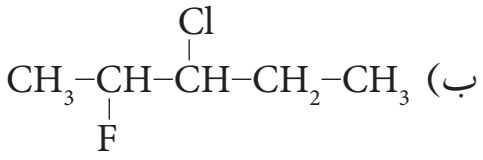
ز) الأمينات.

٣ – سَمِّ المركَّبات العضوية الآتية حسب نظام تسمية الأيوباك:

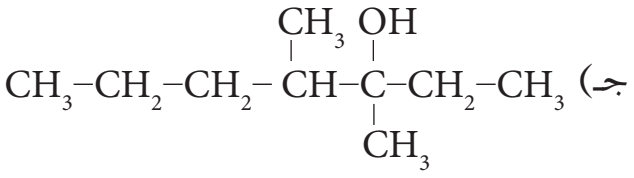
أ)



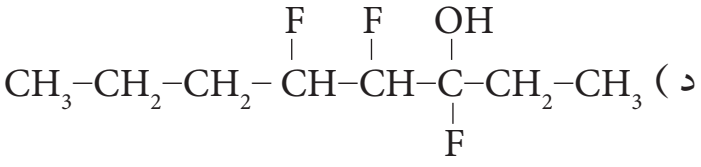
ب)



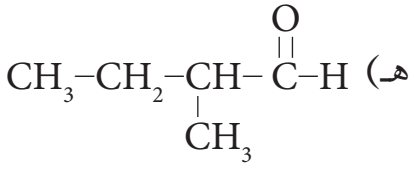
جـ)



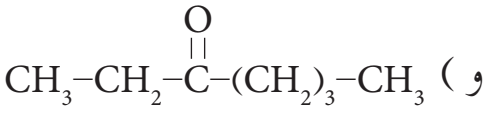
د)



هـ)



و)



ز) $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2-CH_3$

ح) $CH_3-\underset{\underset{Cl}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}}-CH-COOH$

ط) $CH_3-CH_2-O-CH_3$

ي) $CH_3-\overset{\overset{NH_2}{|}}{CH}-(CH_2)_3-CH_3$

ك) $CH_3-CH_2O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2-CH_3$

٤ – اكتب الصيغة البنائية للمركَّبات الآتية:

أ) ٣–كلورو–٢– ميثيل–هكسان.

ب) ٣– ميثيل – ٢– بنتانول.

جـ) ٢، ٣– ثنائي ميثيل بنتانال.

د) ٣– بروموـ٢– هكسانون.

هـ) 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 المركَّبين الآتيين:

C_3H_9N ، $C_3H_6O_2$

٦ – رتِّب المركَّبات العضوية الآتية وفقًا لدرجة غليانها تصاعديًّا:

CH_3CH_2OH ، CH_3COOH ، CH_3CH_2Cl ، CH_3CH_2COOH ، $CH_3CH_2CH_2CH_3$ ، $CH_3CH_2CH_3$.

١ – اذكـر اسـم العائلـة التي ينتمي إليها كلٌّ من المركَّبات العضـوية الآتيـة، مُحدِّدًا المجموعة الوظيفية المميزة لكلٍّ منها:

أ) $CH_2=CH_2$

ب) $CH_3CHBrCH_3$

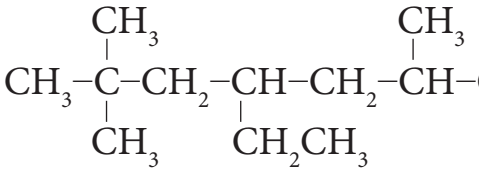
جـ) $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2-CH_3$

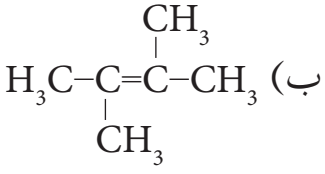
د) CH_3CHO

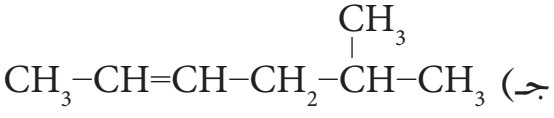
هـ) $HCOOCH_3$

و) $CH_3CH_2OCH_3$

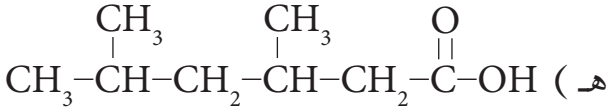
٢ – سَمِّ المركَّبات العضوية الآتية حسب نظام تسمية الأيوباك:

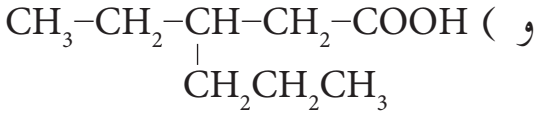
أ)


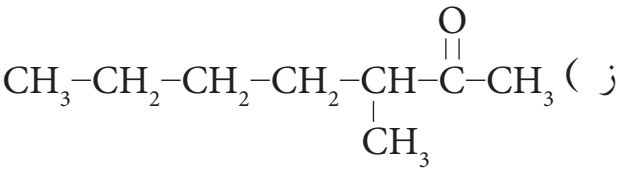
ب)


جـ)


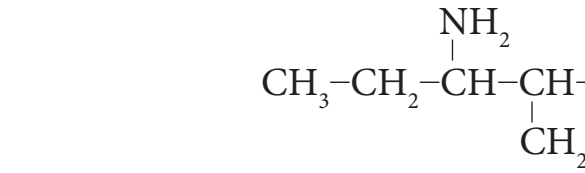
د)

هـ)


و)


ز)


ح)

ط)


٣ – ما الصيغة البنائية لكلٍّ من المركَّبات الآتية:

أ) ٢ ، ٥ – ثنائي ميثيل – ٢– أوكتين.

ب) ٢ ، ٣– ثنائي ميثيل – ٢– هكسانول.

جـ) ثنائي بنتيل إيثر.

د) ٣– إيثيل هبتانال.

هـ) ٣– ميثيل–٤– أوكتانون.

و) حمض ٢،٣– ثنائي ميثيل– هكسانويك.

ز) بيوتيل بروبانوات.

ح) ٣– ميثيل–٢– أمينو بنتان.

٤– ارسم متصاوغات المركَّبات الآتية:

$C_4H_{10}O$ ، C_4H_8O ، $C_4H_8O_2$.

٥ – بيِّن الخطأ في أسماء المركَّبات الآتية، ثم اكتب الاسم الصحيح لكلٍّ منها:

أ) ٢– ميثيل–٣– بيوتين.

ب) ٣– إيثيل– ٥ – هكسانول.

جـ) حمض ١– بنتانويك.

٦ – اكتب الصيغة البنائية للإستر الذي يتكوَّن من اتحاد كلٍّ من الحمض الكربوكسيلي، والكحول:

أ) حمض الإيثانويك والميثانول.

ب) حمض البيوتانويك والإيثانول.

جـ) حمض الميثانويك و ٢– بروبانول.

٧ – رتِّب المركَّبات الآتية تصاعديًّا حسب ذائبيتها في الماء:

CH_3CH_3، CH_3COOH ، CH_3CH_2F ، $CH_3CH_2CH_2OH$.

٨ – يتكوَّن الجدول الآتي من عمودين؛ أحدهما يحوي عددًا من المركَّبات العضوية، والآخر يحوي درجات غليان هذه المركَّبات. اختر درجة الغليان التي تناسب كل مركَّب عضوي منها:

المركَّب العضوي	درجة الغليان (°س)
CH_3COOH	٧٨
$CH_3CH_2CH_2OH$	١٤١
CH_3CH_3	٩٧
CH_3CH_2OH	٨٩–

مسرد المصطلحات (Glossariy)

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية	المـدلـول
الاتحاد	Combination	تفاعل بين مادتين (أو أكثر) لتكوين مادة واحدة جديدة.
الاتزان الديناميكي	Dynamic Equilibrium	حالة لا يُبدي فيها النظام أيّ تغيير في خصائصه؛ إذ تكون سرعة التفاعل الأمامي مساويةً لسرعة التفاعل العكسي.
الإحلال الأحادي	Single Displacement	تفاعل يحدث فيه إحلال عنصر نشط محل عنصر آخر أقل نشاطًا في أحد مركَّباته.
الإحلال المزدوج	Double Displacement	تفاعل بين مركَّبين يحل فيه الأيون الموجب من أحدهما محل الأيون الموجب في الآخر.
الأعداد الكَمِّية	Quantum Numbers	أعداد تصف الفلك وطاقته وبُعْده عن النواة، وتُحدَّد حركة الإلكترون حول نفسه في الفلك.
الأكسدة	Oxidation	عملية تفقد فيها المادة إلكترونًا أو أكثرَ.
الألكان	Alkane	هيدروكربون مُشبَّع صيغته العامة: C_nH_{2n+2}.
الألكاين	Alkyne	هيدروكربون يحوي رابطة ثلاثية، وصيغته العامة: C_nH_{2n-2}.
إلكترونات التكافؤ	Valence Electrons	إلكترونات الغلاف الخارجي التي تشارك في تكوين روابط العناصر الممثلة.
الألكين	Alkene	هيدروكربون يحوي رابطة ثنائية، وصيغته العامة: C_nH_{2n}.
الأمين	Amine	مركَّب عضوي يُعَدُّ من مشتقات الأمونيا بعد استبدال مجموعة ألكيل أو أكثر بذرة هيدروجين أو أكثر في الأمونيا.
الأيثر	Ether	مركَّب عضوي يتميز تركيبه بوجود ذرة أكسجين بين ذرتي كربون (C–O–C).
التحلُّل	Decomposition	تفاعل تتحلَّل فيه مادة إلى مادتين أو أكثر، ويحتاج حدوثه غالبًا إلى درجة حرارة.
تخفيف المحلول	Dilution	عملية ينخفض فيها تركيز المذاب بزيادة حجم المذيب.
التركيز	Concentration	العلاقة النسبية بين كمية المذاب والمذيب في محلول ما ، ويُعبَّر عنها بطرائق عدَّة.

تفاعل الترسيب	Precipitation Reaction	تفاعل يحصل عند خلط محلولين لملحين أيونيين ينتج منه مادة غير ذائبة في الماء (راسب).
تفاعل التعادل	Neutralization Reaction	تفاعل حمض وقاعدة ينتج منه ملح وماء.
التفاعل الطارد للحرارة	Exothermic Reaction	تفاعل كيميائي يصاحبه انطلاق للحرارة.
التفاعل الكيميائي	Chemical Reaction	تغير يطرأ على المواد، ويشمل تكسير روابط وتكوين روابط جديدة تؤدي إلى إعادة ترتيب الذرات، وإنتاج مواد جديدة تختلف في صفاتها عن المواد المتفاعلة.
التفاعل الماصّ للحرارة	Endothermic Reaction	تفاعل كيميائي يتضمن امتصاصًا للحرارة.
التهجين	Hybridization	عملية اندماج أفلاك ذرية مختلفة الطاقة في غلاف التكافؤ للذرة، تؤدي إلى تكوين أفلاك جديدة متماثلة في الشكل والطاقة.
ثابت الاتزان	Equilibrium Constant	نسبة حاصل ضرب تراكيز النواتج مرفوعة إلى معاملاتها في المعادلة الموزونة إلى تراكيز المتفاعلات مرفوعة إلى معاملاتها في المعادلة الموزونة.
ثابت الارتفاع في درجة الغليان	Bioling Piont Elevation	ارتفاع درجة غليان المذيب النقي عند إذابة مول واحد من مادة غير متطايرة وغير متأينة في كيلو غرام واحد من المذيب.
ثابت الانخفاض في درجة التجمُّد	Freezing Point Depression	انخفاض درجة تجمُّد المذيب النقي عند إذابة مول واحد من مادة غير متطايرة وغير متأينة في كيلو غرام واحد من المذيب.
الجدول الدوري	Periodic Table	جدول يُنظِّم العناصر تبعًا لتزايد أعدادها الذرية بصورة تُبيِّن التدرج والانتظام في صفات ذراتها.
الجزيء القطبي	Polar Molecule	جزيء يحمل شحنات جزئية سالبة وموجبة على طرفيه نتيجة وجود محصلة عزم قطبي لروابطه.
الحجم الذري	Atomic Size	الفراغ الذي تتوزَّع فيه إلكترونات الذرة، ويقاس اعتمادًا على معدل نصف قطر الذرة، أو نصف قطر التساهم.

درجة الحرارة المطلقة	Absolute Temperature	درجة الحرارة المقيسة بالكلفن، علمًا بأن الصفر المطلق يساوي −٢٧٣° س.
درجة الغليان	Boiling Point	درجة الحرارة التي يكون فيها ضغط بخار السائل مساويًا للضغط الخارجي المُؤثِّر في السائل.
درجة الغليان العادية	Normal Bioling Piont	درجة الحرارة التي يبلغ فيها ضغط بخار السائل ضغطًا جويًّا واحدًا.
الذائبية	Solubility	كمية المذاب اللازمة لتكوين محلول مُشبَّع في (١٠٠) غ من المذيب في درجة حرارة معينة.
رابطة باي	π − Bond	رابطة تساهمية تنتج من تداخل أفلاك (p) جانبيًّا.
رابطة سيغما	σ − Bond	رابطة تساهمية تنتج من تداخل أفلاك (p) رأسيًّا، أو تداخل أفلاك (s)، أو تداخل أفلاك (s) مع أفلاك (p).
رمز لويس	Lewis Symbol	رمز العنصر محاطًا بعدد من النقاط لتمثيل إلكترونات التكافؤ لذرة العنصر.
الصُّلْب البلوري	Crystalline Solid	مادة صُلْبة تتخذ فيها وحدات البناء الأساسية ترتيبًا منتظمًا.
الصُّلْب غير البلوري	Amorphous Solid	مادة صُلْبة تتخذ وحداتها الأساسية ترتيبًا غير منتظم.
الضغط البخاري	Vapour Pressure	ضغط ناتج من بخار السائل في سطح السوائل.
طاقة التأين	Ionization Energy	الحد الأدنى من الطاقة الضرورية لفصل الإلكترون الأضعف ارتباطًا بنواة الذرة في الحالة الغازية فصلًا نهائيًّا.
الطيف الذري	Atomic Spectrum	مجموعة من خطوط طيفية محددة ومتباعدة، يُمثِّل كلٌّ منها ضوءًا بتردد معين يصدر عن ذرات مثارة لعنصر غازي.
عدد أفوغادرو	Avogadro's Number	عدد الدقائق (ذرات، أو جزئيات، أو أيونات) الموجودة في مول واحد من المادة، ويساوي ٦,٠٢ × ١٠^{٢٣}.
عدد الكَمِّ الرئيس	Principal Quantum Number	عدد الكَمِّ الذي يشير إلى غلاف الطاقة الرئيس للإلكترون، ومُعدّل بُعْده عن النواة.
عدد الكَمِّ الفرعي	Azimuthal Quantum Number	عدد الكَمِّ الذي يشير إلى غلاف الطاقة الفرعي للإلكترون، والشكل العام للفلك.

عدد الكَمِّ المغزلي	Spin Quantum Number	عدد الكَمِّ الذي يشير إلى اتجاه غزل الإلكترون في الفلك.
عدد الكَمِّ المغناطيسي	Magnetic Quantum Number	عدد الكَمِّ الذي يشير إلى اتجاه أفلاك الغلاف الفرعي.
العناصر الانتقالية	Transition Elements	عناصر ينتهي تركيبها الإلكتروني بأفلاك أحد الغلافين الفرعيين (d)، أو(f).
العناصر الممثلة	Representive Elements	عناصر تتوزَّع إلكترونات الغلاف الخارجي لها في أحد الغلافين الفرعيين: (s)، أو (p).
الغاز المثالي	Ideal Gas	غاز افتراضي لا يمكن إسالته مهما ارتفع الضغط المُؤثِّر فيه، أو انخفضَت درجة حرارته.
الفلك	Orbital	فراغ هندسي يحيط بالنواة، وفيه أكبر احتمال لوجود الإلكترون.
الفوتون	Photon	وحدة الطاقة للإشعاع الكهرومغناطيسي.
قانون بويل	Boyle's Law	علاقة تربط حجم عيِّنة الغاز المحصور بالضغط الواقع عليه عند ثبوت درجة الحرارة.
قانون شارل	Charle's Law	علاقة تربط حجم عيِّنة الغاز المحصور بدرجة الحرارة عند ثبوت الضغط الواقع عليها.
قانون الغازات العام	General Law for Gases	علاقة تربط حجم عيِّنة الغاز المحصور بالضغط الواقع عليه مع درجة الحرارة.
قوى التجاذب بين الجزيئات	Intermolecular Forces	قوى تجاذب ضعيفة نسبيًّا تربط جزيئات المادة بعضها ببعض.
قوى لندن	London Forces	قوى تجاذب ضعيفة تربط بين أنواع الجزيئات جميعها نتيجة القطبية اللحظية للجزيئات.
المادة المُحدِّدة للتفاعل	Limiting Reactant	مادة تدخل في التفاعل بكمية مُحدَّدة، وتُستهلَك كلها، فتُحدِّد بذلك كمية النواتج.

مبدأ لوتشاتلييه	Le Chatelier's Principle	حدوث تغير في أحد العوامل المُؤثِّرة في الاتزان، يؤدي إلى تعديل الاتزان موضعه، ليُقلِّل تأثير هذا التغير إلى أقصى درجة ممكنة.
مجموعة ألكيل	Alkyl Group	مجموعة من ذرات مشتقة من ألكان بإسقاط ذرة هيدروجين.
المحلول	Solution	خليط متجانس التركيب يتكوَّن من مادتين أو أكثر.
المحلول المخفَّف	Dilute Solution	محلول يكون فيه تركيز المادة المذابة منخفضًا.
المحلول المركَّز	Concentrated Solution	محلول يكون فيه تركيز المادة المذابة مرتفعًا.
المردود المئوي	Percentage Yield	النسبة بين المردود الفعلي والمردود النظري للتفاعل مضروبًا في ١٠٠٪.
المعادلة الأيونية الصافية	Net Ionic Equation	معادلة كيميائية تُبيِّن الأيونات المتفاعلة فقط بعد استبعاد الأيونات غير المتفاعلة في التفاعل.
معادلة الموجة	Wave Equation	معادلة تصف حركة الإلكترون في الذرة بناءً على طبيعته الموجية.
المول	Mole	كتلة المادة التي تحوي عدد أفوغادرو (٦,٠٢ × ١٠^{٢٣}) من الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات.
المولارية	Molarity	نسبة عدد مولات المذاب إلى حجم المحلول باللتر.
المولالية	Molality	نسبة عدد مولات المذاب إلى كيلو غرام واحد من المذيب.
نصف قطر الذرة	Atomic Radius	نصف المسافة الفاصلة بين نواتي ذرتين متجاورتين في بلورة نقية لعنصر فلزي.
هاليد الألكيل	Alkyl Halide	مركَّب عضوي يحتوي على ذرة هالوجين أو أكثر، إضافةً إلى ذرات الكربون.
الهيدروكربون	Hydrocarbon	مركَّب عضوي يتكوَّن فقط من عنصري الكربون والهيدروجين.

قائمة المراجع

أولًا: المراجع العربية

١- جرار، عادل، وآخرون، **الكيمياء العامة**، عمّان، الأردن، ١٩٩١م.

٢- الخطيب، إبراهيم؛ إعبيد، مصطفى، **الكيمياء العامة**، عمّان: دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، الأردن، ٢٠٠٤م.

٣- ساتي، عبد المنعم، وآخرون، **الإنسان والكيمياء**، الجزء الخامس، تونس: المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، تونس ، ١٩٨٨م.

٤- مجموعة مؤلفين، **الكيمياء** للمرحلة الثانوية/ الفرع العلمي والتعليم الصحي: المستويان الأول والثاني، عمّان، وزارة التربية والتعليم، ٢٠٠٦م.

ثانيًا: المراجع الأجنبية

1 – Wilbraham–Staley–Mata–Waterman،**Prentice Hall Chemistry**،Teachers Edition، Boston،2008.

2 – Raymond Change،**Chemistry**،10thEd،Singapore،2010.

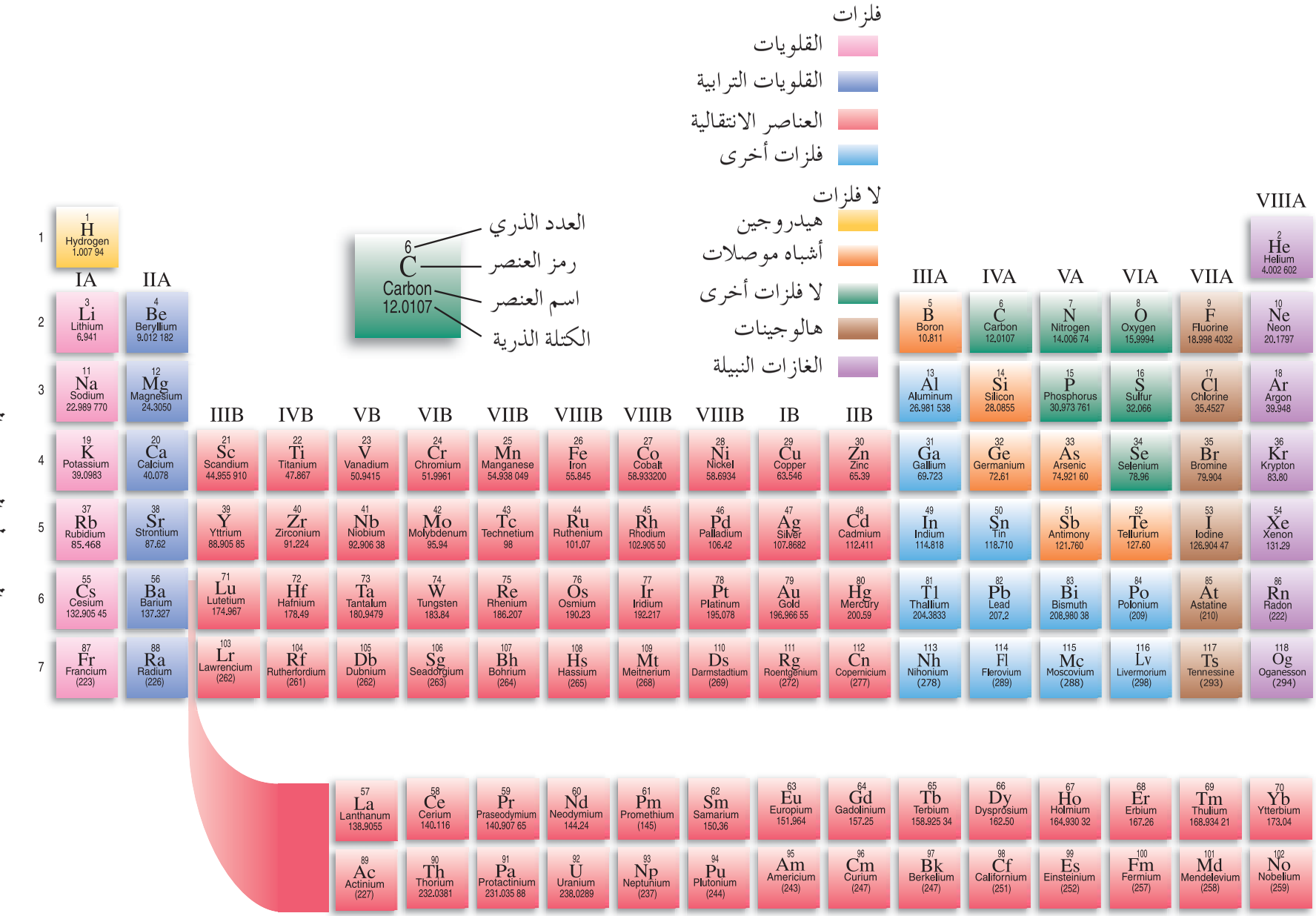
3 – Ebbing Gammon،**General Chemistry**،10th Ed، ،2011

4 – Stevens.Zumdahl،**Chemistry**،7th Ed،Boston New York،2007

5 – Solomons،**Organic Chemistry**، 8th Ed،Canada،2004

6 – Holt،Rinehant 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.

تم بحمد الله تعالى