المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم
إدارة المناهج والكتب المدرسية

١٢

الكيمياء

الصف الثاني عشر

للفرعين (العلمي والزراعي)

الكيمياء الصف الثاني عشر للفرعين (العلمي والزراعي)

١٤٣٨هـ/٢٠١٧م

ISBN:978-9957-84-773-9

مطبعة مكة

المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم
إدارة المناهج والكتب المدرسية

الكيمياء

الصف الثاني عشر

للفرعين (العلمي والزراعي)

الناشر
وزارة التربية والتعليم
إدارة المناهج والكتب المدرسية

يسر إدارة المناهج والكتب المدرسية استقبال ملحوظاتكم وآرائكم على هذا الكتاب على العناوين الآتية:
هاتف : ٨ - ٥ / ٤٦١٧٣٠٤ ، فاكس : ٤٦٣٧٥٦٩ ، ص. ب: (١٩٣٠) ، الرمز البريدي : ١١١١٨ ،
أو على 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 (٢٠١٧/٥) تاريخ ٢٠١٧/١/١٧م بدءًا من العام الدراسي ٢٠١٧م/٢٠١٨م.

جميع الحقوق محفوظة لوزارة التربية والتعليم

عمان – الأردن – ص.ب: (١٩٣٠)

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(٢٠١٧/٣/١٥٧١)
ISBN: 978-9957-84-773-9

أشرف على تأليف هذا الكتاب كل من:

أ.د. محمود طاهر الوهر (رئيسًا)
أ.د. إدريس فالح المومني
أ.د. نذير أحمد الرواشدة
د. موسى لافي الصمادي

وقام بتأليفه كل من:

أماني خليل القرامصة
تغريد علي صوافطة
تيسير أحمد الصبيحات
فدوى عبد الرحمن عويس
نوال سهيل شموط

التحرير العلمي: أماني خليل القرامصة

التحرير اللغوي: عبد الرحيم عبدالله بشارات
التحرير الفني: نداء فؤاد أبو شنب
التصميم: فخري موسى الشبول
الرسم: إبراهيم محمد شاكر
التصوير: أديب أحمد اسماعيل عطوان
الإنتاج: علي محمد العويدات

دقّق الطباعة: نوال سهيل شموط
راجعها: أماني خليل القرامصة

الطبعة الأولى
١٤٣٨هـ / ٢٠١٧م

قائمة المحتويات

الموضوع الصفحة

المقدمة ٥

الوحدة الأولى ١ | **الحموض والقواعد** ٧

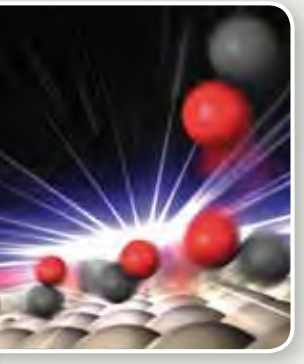
الفصل الأول: مفاهيم متعلقة بالحموض والقواعد ٨

الفصل الثاني: الاتزان في محاليل الحموض والقواعد الضعيفة ٢٧

الوحدة الثانية ٢ | **التأكسد والاختزال والكيمياء الكهربائية** ٥٧

الفصل الأول: التأكسد والاختزال ٥٨

الفصل الثاني: الخلايا الكهركيميائية ٨٠



الوحدة الثالثة ٣ | **سرعة التفاعل الكيميائي والعوامل المؤثرة فيها** ١٠٩

الفصل الأول: سرعة التفاعل الكيميائي ١١٠

الفصل الثاني: نظرية التصادم والعوامل المؤثرة

في سرعة التفاعل الكيميائي ١٢٨

الوحدة الرابعة ٤ | **الكيمياء العضوية** ١٥١

الفصل الأول: تفاعلات المركبات العضوية وطرائق تحضيرها..... ١٥٢

الفصل الثاني: المركبات العضوية الحيوية ١٩٣

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله أما بعد؛ فقد جاء كتاب الكيمياء للصف الثاني عشر مكملًا لما تعلمه الطالب في الصفوف السابقة، ومتممًا لمنهاج العلوم في هذه المرحلة، ومنسجمًا مع أهداف وزارة التربية والتعليم وخطة التطوير التربوي، ومتوافقًا مع النتاجات العامة والخاصة لمنهاج الكيمياء في هذه المرحلة.

وروعي في عرض موضوعات هذا الكتاب، استخدام أساليب متعددة ومتنوعة، كالتفكير الناقد والاستقصاء وحل المشكلات والأسئلة السابرة وغيرها.

ويتضمن الكتاب العديد من الأنشطة المختلفة السهلة التنفيذ، والرسومات والأشكال التوضيحية والجداول والأمثلة المتنوعة التي تثري موضوع الدرس. وقد مُهّد لكل فصل بمقدمة لها صلة بالحياة وما تعلمه الطالب سابقًا، وتنتهي بأسئلة مثيرة للتفكير، كما تنتهي الفصول بتطبيقات حياتية مرتبطة بالحياة، وأسئلة ختامية تحقق النتاجات المطلوبة. ويمكنك الرجوع إلى الشبكة المعلوماتية للتزود بمعلومات إثرائية كمطالعة ذاتية.

وهذا الكتاب اشتمل على أربع وحدات دراسية، كما يأتي:

الوحدة الأولى: الحموض والقواعد.

الوحدة الثانية: التأكسد والاختزال والكيمياء الكهربائية.

الوحدة الثالثة: سرعة التفاعل الكيميائي والعوامل المؤثرة فيها.

الوحدة الرابعة: الكيمياء العضوية.

ونسأل الله أن نكون قد وفقنا في تقديم هذه المادة الدراسية، بما يساعد الطلبة على تعلم نافع مستند إلى تكنولوجيا المعلومات ICT.

علمًا بأنّ عملية تطوير المناهج والكتب المدرسية عملية مستمرة؛ لذا نرجو زملائنا المعلمين وأولياء الأمور تزويدنا بأي ملاحظات تعني الكتاب في تحسينه، بما يلبي حاجات الطلبة وطموحات المجتمع الأردني.

والله ولي التوفيق

الوحدة الأولى ١

الحموض والقواعد

- مفاهيم متعلقة بالحموض والقواعد
- الاتزان في محاليل الحموض والقواعد الضعيفة

- يتغير لون أزهار نبتة القُرطاسيا بتغير الرقم الهيدروجيني في التربة (درجة الحموضة) فما المقصود بالرقم الهيدروجيني؟ وكيف يتم حسابه؟

مفاهيم متعلقة بالحموض والقواعد

Concepts of Acids and Bases

هل شعرت يومًا بحموضة في معدتك؟ وهل تساءلت عن السائل الموجود في بطارية السيارة؟ فما سبب هذه الحموضة التي شعرت بها؟ وما السائل الذي يوضع في البطارية؟

يطلق على المواد التي تسبب الحموضة في المعدة، أو التي تعطي الليمون طعمه الحمضي، أو التي توضع في بطاريات السيارات اسمُ الحموض، وتتصف بالطعم الحمضي. وبالمقابل، فإن هناك موادّ تتفاعل مع هذه الحموض، وتخلصنا من أثر حموضتها، فهل استخدمت موادّ لتخفيف حموضة معدتك عندما شعرت بحموضتها؟ فما هذه المواد؟ وما تركيبها الكيميائي؟ هذه المواد تسمى القواعد، ومن أمثلتها هيدروكسيد المغنيسيوم الذي تصنع منه الأدوية التي تعمل على إزالة الحموضة الزائدة في المعدة، وهيدروكسيد الصوديوم (الصودا) والأمونيا (النشادر) وبعض المنظفات.

ونظرًا لأهمية الحموض والقواعد، فقد اهتم العلماء بدراستها والتعرّف إلى خصائصها وتفاعلاتها على مدى طويل من الزمن، وظهرت عدة تعريفات للحمض والقاعدة تفسر سلوكها الكيميائي، وقد تطورت هذه المفاهيم وصولًا إلى يومنا هذا. فكيف تطور مفهوم الحَمض والقاعدة؟ وما أهم الظواهر والمفاهيم والعلاقات المرتبطة بهما؟

يمكنك الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- توضح مفهوم كل من الحمض والقاعدة وفق تعريفات كل من أرهينيوس، وبرونستد ـ لوري، ولويس.
- تكتب معادلات تمثل تفاعل الحمض والقاعدة وفق تعريف برونستد– لوري، محدّدًا الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة.
- تستنتج العلاقة بين تركيز H_3O^+ وتركيز OH^- في المحاليل المائية.
- تحسب الرقم الهيدروجيني pH لبعض محاليل الحموض والقواعد القوية.

أولًا
مفاهيم الحموض والقواعد

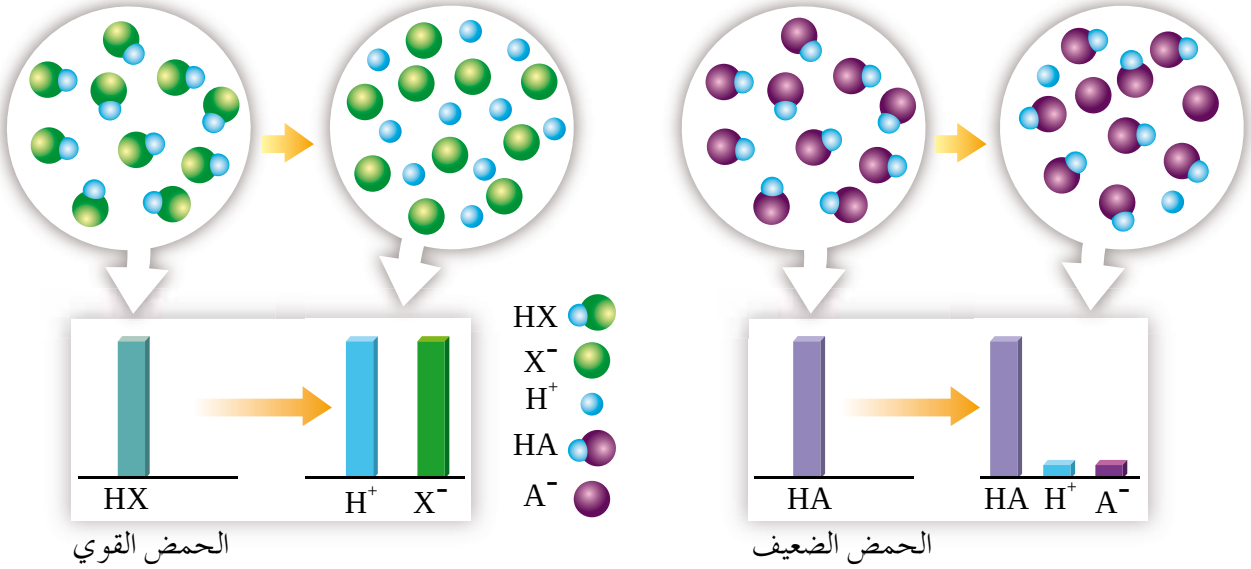
درست في الصف التاسع مفهومي الحمض والقاعدة، وعرفت أن الحمض مادة كهرلية تُنتج أيون الهيدروجين H^+ عند إذابتها في الماء، وأن القاعدة مادة كهرلية تُنتج أيون الهيدروكسيد OH^- عند إذابتها في الماء، وأن الحموض والقواعد تتفاوت في قوتها بمقدار ما يتأين منها في الماء، فالحمض القوي مثل HCl يتأين كليًّا في الماء، كما في المعادلة الآتية:

$$HCl_{(aq)} \longrightarrow H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

والحمض الضعيف مثل CH_3COOH يتأين جزئيًّا في الماء، ويعبّر عن معادلة تأينه بتفاعل منعكس على النحو الآتي:

$$CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$$

ويبيّن الشكل (١-١) تأين كل من الحمض القوي HX، والحمض الضعيف HA في الماء.



الشكل(١-١): تأين الحمض القوي والحمض الضعيف في الماء.

وقد تطور مفهوم الحمض والقاعدة، فظهرت عدة تعريفات لهما، من أهمها:

١- مفهوم أرهينيوس للحموض والقواعد

عرّف أرهينيوس **الحمض بأنه مادة تزيد من تركيز أيون الهيدروجين H^+ عند إذابتها في الماء.** ومن الأمثلة على حموض أرهينيوس: $HClO_4$ و HCN. ويمكن تفسير سلوكهما الحمضي وفق هذا المفهوم، كما في المعادلتين الآتيتين:

$$HClO_{4(1)} \xrightarrow{H_2O} H^+_{(aq)} + ClO_4^-{}_{(aq)}$$

$$HCN_{(g)} \xrightleftharpoons{H_2O} H^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$$

سؤال

■ فسّر السلوك الحمضي لمحلول الحمض القوي HBr وفق مفهوم أرهينيوس.

كما عرّف أرهينوس **القاعدة بأنها مادة تزيد من تركيز أيون الهيدروكسيد OH^- عند إذابتها في الماء**، ومن الأمثلة على قواعد أرهينيوس: KOH وNaOH، ويمكن تفسير سلوكهما القاعدي وفق هذا المفهوم، كما في المعادلتين الآتيتين:

$$KOH_{(s)} \xrightarrow{H_2O} K^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

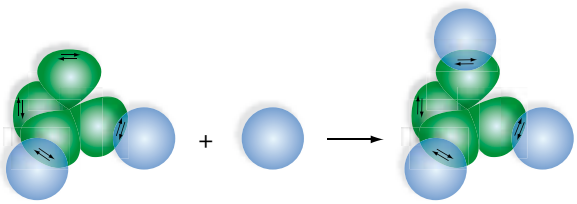
$$NaOH_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وبالاعتماد على مفهوم أرهينيوس للحموض والقواعد، نجد أن الحمض يحتوي في تركيبه على ذرة هيدروجين H قابلة للتأين، وأن القاعدة تحتوي في تركيبها على مجموعة هيدروكسيد OH^- قابلة للتأين، وعلى الرغم من نجاحه في تفسير السلوك الحمضي والسلوك القاعدي لهذه المواد، إلا أنه لم يتمكن من تفسير السلوك القاعدي لبعض المواد التي لا تحتوي في تركيبها أيون الهيدروكسيد مثل الأمونيا NH_3. كما أنه عجز عن تفسير الخواص الحمضية والقاعدية لمحاليل بعض الأملاح مثل: NH_4Cl و $NaNO_2$؛ مما دعا للبحث عن مفهوم آخر للحموض والقواعد أكثر شمولًا من مفهوم أرهينيوس.

٢- مفهوم برونستد ـ لوري للحموض والقواعد والأزواج المترافقة

تبيّن مما سبق، أن تأين الحموض يُنتج الأيون السالب وأيون الهيدروجين، ومن المعلوم أن أيون الهيدروجين H^+ هو ذرة هيدروجين فقدت إلكترونًا منها؛ لذا يمكن اعتباره بروتونًا، وهو جُسَيم متناهٍ في الصغر، ذو كثافة كهربائية عالية، ولا يكون منفردًا في المحلول، وإنما يرتبط بجزيء الماء فيكوّن أيون الهيدرونيوم H_3O^+، كما في المعادلة الآتية:

$$H_2O_{(l)} + H^+_{(aq)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)}$$



ولذلك سيتم استخدام أيون الهيدرونيوم H_3O^+ في معادلات تأين الحمض، بدلًا من أيون الهيدروجين H^+ من الآن فصاعدًا.

ومن خلال دراسة تفاعلات الحموض والقواعد، توصل الكيميائيان برونستد ولوري إلى وضع مفهوم لكل من الحموض والقواعد أكثر شمولًا من مفهوم أرهينيوس، وذلك بالاعتماد على انتقال أيون H^+ بين المواد أثناء التفاعلات. فعرّف برونستد – لوري **الحمض بأنه مادة (جزيئات أو أيونات) قادرة على منح بروتون (مانح للبروتون) لمادة أخرى في التفاعل، وأن القاعدة هي مادة (جزيئات أو أيونات) قادرة على استقبال بروتون (مستقبل للبروتون) عند تفاعلها مع غيرها.**

فعند تفاعل HCl مع الماء يتأين كما في المعادلة الآتية:

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

مانح للبروتون مستقبل للبروتون

لاحظ أن أيون الهيدروجين H^+ (البروتون) انتقل من جزيء HCl إلى جزيء الماء، وبذلك يكون HCl مانحًا للبروتون، ويعد حمضًا، ويكون الماء مستقبلًا لهذا البروتون، ويعد قاعدة.

وعند تفاعل الأمونيا NH_3 مع الماء كما في المعادلة الآتية:

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

لاحظ أن NH_3 تستقبل بروتونًا من الماء، فتعد قاعدة، وأما الماء فيمنح هذا البروتون، ويعد حمضًا.

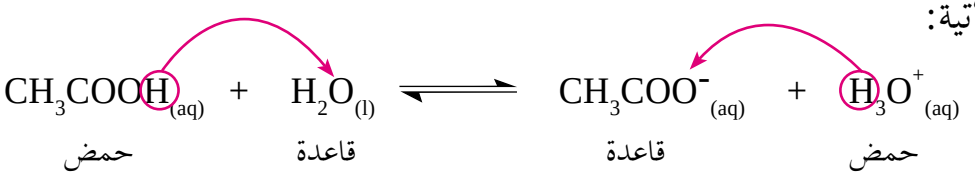
سؤال

■ ادرس التفاعلين الآتيين، وعيّن كلًّا من الحمض والقاعدة وفق مفهوم برونستد – لوري في كل منهما:

$$N_2H_{4(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons N_2H_5^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

$$HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

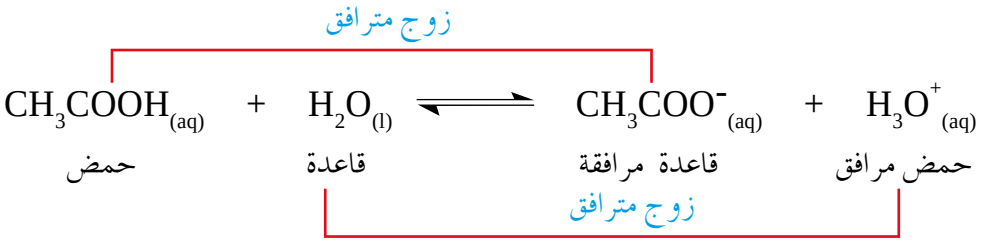
وفي التفاعلات المنعكسة، نلاحظ أن كلا التفاعلين:الأمامي والعكسي يتضمن انتقالاً للبروتون من الحمض إلى القاعدة، فإذا تأملنا تفاعل حمض الإيثانويك CH_3COOH مع الماء، كما في المعادلة الآتية:



نجد أن CH_3COOH حمض في التفاعل الأمامي؛ لأنه يمنح بروتونًا للماء، وينتج عنه أيون الإيثانوات CH_3COO^-، وجزيء الماء يعد قاعدة لأنه يستقبل البروتون، ويُكوّن أيون الهيدرونيوم H_3O^+.

وبالنظر إلى التفاعل العكسي، نلاحظ أن H_3O^+ يمنح بروتونًا إلى أيون الإيثانوات CH_3COO^-، فيعد حمضًا، ويستقبل أيون الإيثانوات CH_3COO^- البروتون، فيعد قاعدة. ويسمى الحمض مع القاعدة التي تحوّل إليها **زوجًا مترافقًا من حمض وقاعدة**، فحمض الإيثانويك CH_3COOH هو الحمض وأيون الإيثانوات CH_3COO^- هو القاعدة المرافقة الناتجة عنه، وكذلك تسمى القاعدة والحمض الذي تتحوّل إليه زوجًا مترافقًا، فالماء H_2O هو القاعدة وأيون الهيدرونيوم H_3O^+ هو الحمض المرافق الناتج عنه.

وعليه، فإن أيّ تفاعل لحمض مع قاعدة وفق مفهوم برونستد – لوري، يشتمل على زوجين مترافقين، ويمكن تمثيل الأزواج المترافقة في التفاعل السابق، كما في المعادلة الآتية:



وفي تفاعل الأمونيا NH_3 مع الماء يمكن تمثيل الأزواج المترافقة على النحو الآتي:

لاحظ أن كلًّا من NH_3 و NH_4^+ زوج مترافق، كما أن H_2O و OH^- زوج مترافق آخر.

- عيّن القاعدة المرافقة لكل من الحموض الآتية:

$HCOOH$ ◄ H_3O^+ ◄ HF ◄

- عيّن الحَمض المرافق لكل من القواعد الآتية:

OH^- ◄ NO_3^- ◄ NH_3 ◄

- عيّن الأزواج المترافقة في التفاعل الآتي:

$$HCN_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CN^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

وهناك بعض المواد تسلك سلوكًا حمضيًّا في بعض تفاعلاتها، وتسلك سلوكًا قاعديًّا في تفاعلات أخرى. ولتتعرّف ذلك؛ ادرس التفاعليين الآتيين، ثم أجب عن السؤالين اللذين يليهما:

$$HSO_3^-{}_{(aq)} + HF_{(aq)} \rightleftharpoons H_2SO_{3(aq)} + F^-_{(aq)}$$

$$HSO_3^-{}_{(aq)} + NH_{3(aq)} \rightleftharpoons SO_3^{2-}{}_{(aq)} + NH_4^+{}_{(aq)}$$

- حدّد الحمض والقاعدة في كلا التفاعلين.
- عيّن الأزواج المترافقة في كل منهما.

من الواضح أن HSO_3^- يسلك سلوكًا قاعديًّا في التفاعل الأول، فيستقبل بروتونًا من الحمض HF ، ويسلك سلوكًا حمضيًّا في التفاعل الثاني، فيمنح بروتونًا إلى جزيء NH_3، لاحظ المعادلتين الآتيتين:

$$\underset{\text{قاعدة}}{HSO_3^-{}_{(aq)}} + \underset{\text{حمض}}{HF_{(aq)}} \rightleftharpoons H_2SO_{3(aq)} + F^-_{(aq)}$$

$$\underset{\text{حمض}}{HSO_3^-{}_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة}}{NH_{3(aq)}} \rightleftharpoons SO_3^{2-}{}_{(aq)} + NH_4^+{}_{(aq)}$$

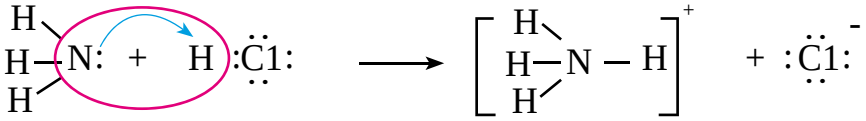
وتسمى مثل هذه المواد المواد المترددة (الأمفوتيرية)؛ لأنها تستطيع أن تتفاعل كحمض أو كقاعدة تبعًا للظروف الموجودة فيها. ومن الأمثلة الأخرى على هذه المواد، جزيء الماء H_2O، والأيونات السالبة التي تحتوي في تركيبها على ذرة هيدروجين تكون قادرة على منحها لمادة أخرى مثل HS^-، HCO_3^-.

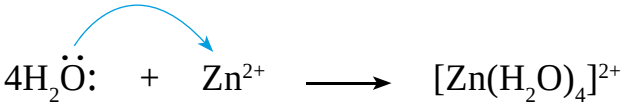
■ اكتب معادلات تبيّن سلوك كل من: HCO_3^- و HS^- كحمض في تفاعلهما مع N_2H_4، وكقاعدة في تفاعلهما مع HNO_2.

٣- مفهوم لويس للحموض والقواعد

يعتمد مفهوم برونستد – لوري للحموض والقواعد على انتقال البروتون من الحمض إلى القاعدة أثناء التفاعل، إلا أن هذا المفهوم لم يوضح كيف يرتبط البروتون بالقاعدة، كما أنه لم يستطع تفسير السلوك الحمضي أو القاعدي في بعض التفاعلات التي لا تتضمن انتقالًا للبروتون بين المواد؛ لذا فلا بد من وجود مفهوم أكثر شمولًا للحموض والقواعد من مفهوم برونستد – لوري. ولتوضيح ذلك ادرس التفاعلين الآتيين:

قاعدة حمض





لاحظ أن القاعدة مادة تمتلك زوجًا أو أكثر من الإلكترونات غير الرابطة تمنحها للحمض عندما تتفاعل معه؛ مما يشير إلى أن الحموض تمتلك أفلاكًا فارغة تستقبل زوجًا أو أكثر من الإلكترونات غير الرابطة.

وقد درس العالم لويس هذه التفاعلات، والتي تشمل تفاعلات الحموض والقواعد لبرونستد – لوري وغيرها، واقترح مفهومًا للحموض والقواعد؛ فسّرَ من خلاله السلوك الحمضي والقاعدي للمواد المختلفة اعتمادًا على انتقال أزواج من الإلكترونات غير الرابطة بين المواد أثناء حدوث التفاعل، فمثلًا عند تفاعل الأمونيا NH_3 مع الحمض HCl، نجد أن ذرة النيتروجين في جزيء الأمونيا لديها زوج من الإلكترونات غير مرتبط بأي ذرة أخرى، بينما يحتوي H^+ على فلك فارغ من الإلكترونات، ولذلك يستقبل H^+ زوج الإلكترونات من الأمونيا، وتنشأ رابطة تناسقية بينهما؛ وبهذا يكون H^+ في HCl حمضًا والأمونيا قاعدة. والمعادلة الآتية توضح ذلك:

$$NH_{3(aq)} + H^+_{(aq)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)}$$

وعليه، فقد عرّف لويس **الحمض على أنه مادة تستطيع أن تستقبل زوجًا أو أكثر من الإلكترونات غير الرابطة من مادة أخرى لاحتوائها على أفلاك فارغة، أما القاعدة فهي مادة تمنح زوجًا أو أكثر من الإلكترونات غير الرابطة لمادة أخرى.**

وقد استطاع لويس من خلال هذا التعريف، أن يفسر السلوك الحمضي لأيونات الفلزات الانتقالية في تفاعلاتها، كما في تفاعل أيونات الخارصين Zn^{2+} مع الماء، إذ تتكوّن روابط تناسقية بين أيون Zn^{2+} الذي يحتوي أفلاكًا فارغة، وأربعة جزيئات ماء يمنح كلًّا منها زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة؛ وبناءً على ذلك يكون الماء قاعدة وأيون Zn^{2+} حمضًا. والمعادلة الآتية توضح ذلك:

$$Zn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)} \rightleftharpoons [Zn(H_2O)_4]^{2+}_{(aq)}$$

سؤال

- حدّد حمض لويس وقاعدته في التفاعلات الآتية:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 6H_2O_{(l)} \rightleftharpoons [Cu(H_2O)_6]^{2+}_{(aq)}$$

$$Co^{3+}_{(aq)} + 6NH_{3(aq)} \rightleftharpoons [Co(NH_3)_6]^{3+}_{(aq)}$$

$$HF_{(aq)} + CN^-_{(aq)} \rightleftharpoons F^-_{(aq)} + HCN_{(aq)}$$

- أكمل الفراغات في الجدول الآتي، والذي يقارن بين مفاهيم الحموض والقواعد لكل من أرهينيوس وبرونستد– لوري ولويس:

التعريف	الحمض	القاعدة
أرهينيوس	يزيد من تركيز H^+ عند إذابته في الماء	
		مستقبل لبروتون (H^+) في تفاعلاته
	مستقبل لزوج من الإلكترونات غير الرابطة	

ثانيًا التأين الذاتي للماء

سبق أن أشرنا إلى أن الماء يسلك سلوكًا حمضيًّا في بعض التفاعلات وسلوكًا قاعديًّا في تفاعلات أخرى، كما في المعادلتين الآتيتين:

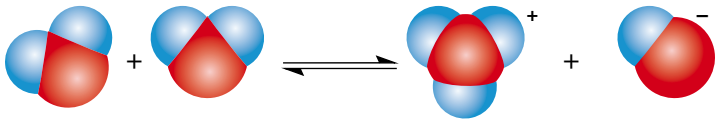
$$H_2S_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + HS^-_{(aq)}$$

حمض قاعدة حمض مرافق قاعدة مرافقة

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

قاعدة حمض حمض مرافق قاعدة مرافقة

والآن، هل يمكنك تعيين الحمض والقاعدة في التفاعل الآتي؟



$$H_2O_{(1)} + H_2O_{(1)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

لاحظ أن أحد جزيئات الماء يكون مانحًا للبروتون (حمض)، والجزيء الثاني يكون مستقبلًا للبروتون (قاعدة)، ورغم معرفتك السابقة أن الماء النقي غير موصل للتيار الكهربائي، إلا أن الدراسات أثبتت أن الماء النقي موصل ضعيف جدًّا للتيار الكهربائي؛ وهذا يشير إلى تأينه بدرجة ضعيفة جدًّا، ويطلق عليه التأين الذاتي للماء، إذ تكون أيونات الهيدرونيوم H_3O^+ وأيونات الهيدروكسيد OH^- في حالة اتزان مع جزيئات الماء غير المتأينة. ويعبرعن ثابت الاتزان Kc للتفاعل على النحو الآتي:

$$K_c = \frac{[OH^-][H_3O^+]}{[H_2O]^2}$$

ونظرًا لأن درجة تأين الماء ضعيفة جدًّا ؛ فإن تركيز الماء يعد ثابتًا. وبالتالي يمكن إدخال تركيزه في ثابت الاتزان للماء. وعليه يمكن التعبير عن ثابت اتزان الماء باستخدام الرمز Kw، ويسمى ثابت تأين الماء، وقد وجد أن:

$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ عند ٢٥°س.

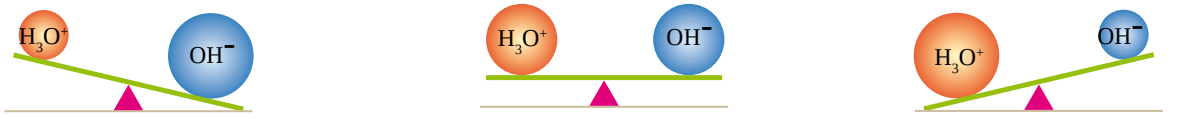
والآن هل يمكنك حساب تركيز أيونات OH^- و H_3O^+ في الماء النقي؟ إذا رجعت إلى معادلة التأين الذاتي للماء تجد أن عدد مولات OH^- يساوي عدد مولات H_3O^+ وهذا يعني أن تركيز أيونات OH^- يساوي تركيز أيونات H_3O^+، ويمكن حساب تركيز أي منهما بالاعتماد على قيمة Kw على النحو الآتي:

$K_w = [H_3O^+]^2 = [OH^-]^2 = 1 \times 10^{-14}$ عند ٢٥°س.

وعليه، فإن:

$[H_3O^+] = [OH^-] = ١ \times ١٠^{-٧}$ مول/لتر.

ولأن $[H_3O^+] = [OH^-]$ فإن الماء يكون متعادلًا، ويمكن استخدام $[H_3O^+]$ و$[OH^-]$ لتصنيف المحاليل المائية المختلفة، فإذا كان تركيز H_3O^+ أكبر من تركيز OH^-؛ فإن المحلول يعد حمضيًّا، بينما يكون المحلول قاعديًّا إذا كان تركيز OH^- فيه أكبر من تركيز H_3O^+، وأما إذا كان $[H_3O^+] = [OH^-]$ فيكون المحلول متعادلًا. ويبيّن الشكل (١–٢) العلاقة بين $[H_3O^+]$ و $[OH^-]$ في المحاليل الثلاثة السابقة.



محاليل حمضية: $[H_3O^+] < [OH^-]$، حيث $[H_3O^+] < ١ \times ١٠^{-٧}$ مول/لتر.

محاليل متعادلة: $[H_3O^+] = [OH^-]$ حيث $[H_3O^+] = ١ \times ١٠^{-٧}$ مول/لتر.

محاليل قاعدية: $[H_3O^+] < [OH^-]$، حيث $[H_3O^+] < ١ \times ١٠^{-٧}$ مول/لتر.

الشكل (١–٢): العلاقة بين $[H_3O^+]$ و $[OH^-]$ في المحاليل المائية وطبيعتها.

ولتتعرّف كيفية استخدام ثابت تأين الماء K_w في حساب $[H_3O^+]$ أو $[OH^-]$ بمعرفة تركيز الآخر، ادرس المثال الآتي:

مثال (١)

احسب تركيز أيونات OH^- في محلول، إذا علمت أن تركيز أيونات H_3O^+ فيه يساوي ١×١٠^{-٣} مول/لتر، وبيّن إذا ما كان المحلول حمضيًّا أم قاعديًّا أم متعادلًا.

الحل

بما أن قيمة K_w ثابتة، وهي تساوي $[H_3O^+] \times [HO^-]$، فإن:

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]}$$

$$[OH^-] = \frac{١ \times ١٠^{-١٤}}{١ \times ١٠^{-٣}} = ١ \times ١٠^{-١١}$$ مول/لتر.

ولأن تركيز H_3O^+ (١×١٠^{-٣} مول/لتر) أكبر من تركيز OH^- (١×١٠^{-١١} مول/لتر)، فإن المحلول حمضي.

سؤال

■ أكمل الفراغات في الجدول الآتي، وصنف المحاليل فيه إلى حمضية أو قاعدية أو متعادلة:

رقم المحلول	$[H_3O^+]$ مول/لتر	$[OH^-]$ مول/لتر	طبيعة المحلول
١	١×١٠^{-٤}		
٢		٢×١٠^{-٢}	
٣			متعادل

ثالثًا محاليل الحموض والقواعد القوية

عرفت أن الحموض تتفاوت في قوتها اعتمادًا على قدرتها على التأين في الماء، ومنحها البروتون، فمثلًا يتأين الحمض القوي HCl تأينًا كليًّا في الماء، كما في المعادلة الآتية:

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

لاحظ أن تأين HCl يُنتج القاعدة المرافقة Cl^- التي لا ترتبط مع البروتون في المحلول، فلا يتكوّن حمض HCl؛ ولذلك يكون التفاعل غير منعكس، وهذا يشير إلى أن Cl^- قاعدة مرافقة ضعيفة. وينطبق ذلك على الحموض القوية بوجه عام، مثل: $HClO_4$ ، HNO_3 ، HBr ، HI.

والسؤال الآن: ماذا يحدث لتركيز أيونات H_3O^+ و OH^- عند إضافة حمض قوي للماء النقي؟ ولكي تجيب عن هذا السؤال، ادرس المثال الآتي:

مثال (٢)

احسب تركيز كل من H_3O^+ و OH^- في محلول HBr الذي تركيزه ١×١٠^{-٢} مول/لتر.

الحل

في البداية نكتب معادلة تأين الحمض:

$$HBr_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + Br^-_{(aq)}$$

يتأين الحمض HBr كليًّا في الماء؛ فيزيد من تركيز أيونات H_3O^+، ويعد الحمض المصدر

الرئيس لأيونات الهيدرونيوم في المحلول، ويهمل تركيز H_3O^+ الناتج من التأين الذاتي للماء نظرًا لضآلة قيمته، وبالتالي يكون: $[H_3O^+] = [HBr] = ١ \times ١٠^{-٢}$ مول/لتر. ولأن قيمة $Kw = ١ \times ١٠^{-١٤}$، فإن تركيز OH^- في المحلول يمكن حسابه كما يأتي:

$$[OH^-][H_3O^+] = Kw$$

$$\frac{Kw}{[H_3O^+]} = [OH^-]$$

$$[OH^-] = \frac{١ \times ١٠^{-١٤}}{١ \times ١٠^{-٢}} = ١ \times ١٠^{-١٢}$$ مول/لتر.

لاحظ أن تركيز H_3O^+ في هذا المحلول (١×١٠^{-٢}مول/لتر)، وهو أكبر من تركيز OH^- (١×١٠^{-١٢}مول/لتر)؛ لذا فإن المحلول حمضي.

سؤال

- احسب تركيز كل من (H_3O^+ و OH^-) في كل من المحلولين الآتيين:
  - محلول HCl تركيزه ٢×١٠^{-٣} مول/لتر.
  - محلول HNO_3 تركيزه ٥×١٠^{-٢} مول/لتر.

تتفاوت القواعد أيضا في قوتها عند إضافتها إلى الماء النقي تبعًا لمقدار ما يتأين منها؛ إذ إن القاعدة القوية تتأين كليًّا في الماء، فهيدروكسيد الصوديوم NaOH مثلًا يتأين كما في المعادلة الآتية:

$$NaOH_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وينتج عن هذا التأين أيونات Na^+ التي لا تتفاعل عادة مع أيونات OH^- في المحلول لإعادة تكوين NaOH، نظرًا لكون قوى التجاذب بين أيونات Na^+ وجزيئات الماء أقوى منها بين أيونات Na^+ وOH^-، وينطبق ذلك على القواعد القوية الأخرى، مثل: LiOH ، KOH.

ويمكن حساب تركيز أيونات H_3O^+ وOH^- عند إضافة قاعدة قوية للماء كما في المثال الآتي:

مثال (٣)

احسب تركيز كل من OH^- و H_3O^+ في محلول NaOH الذي تركيزه ٠,١ مول/لتر.

الحل

نكتب معادلة تأين NaOH:

$$NaOH_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

يتأين NaOH كليًّا في الماء، وينتج أيون الهيدروكسيد OH^- الذي يكون تركيزه مساويًّا لتركيز NaOH، ويساوي ٠,١ مول/لتر. ويمكن حساب تركيز H_3O^+ كما يأتي:

$$[OH^-][H_3O^+] = K_w$$

$$٠,١ \times [H_3O^+] = ١ \times ١٠^{-١٤}$$

$$[H_3O^+] = \frac{١ \times ١٠^{-١٤}}{٠,١}$$

$$[H_3O^+] = ١ \times ١٠^{-١٣} \text{ مول/لتر.}$$

لاحظ عند إضافة قاعدة قوية إلى الماء يزداد تركيز أيونات OH^- في المحلول، ويقل تركيز أيونات H_3O^+.

سؤال

- احسب تركيز كل من OH^- و H_3O^+ في كلا المحلولين الآتيين:
  - محلول KOH تركيزه ٤×١٠^{-٢} مول/لتر.
  - محلول LiOH حُضر بإذابة $٢,٥ \times ١٠^{-٤}$ مول منه في الماء؛ للحصول على محلول حجمه ١٠٠ مل.

رابعًا

الرقم الهيدروجيني (pH)

عرفت أن المحاليل تصنف إلى حمضية أو قاعدية أو متعادلة، بناءً على تركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+، أو تركيز أيون الهيدروكسيد OH^- في المحلول، وتعرّفت طريقة حساب تركيز أيونات H_3O^+، وأيونات OH^- في محاليل الحموض والقواعد القوية، وبالتدقيق في قيم تركيز أيونات H_3O^+ و OH^- في المحاليل السابقة، تجدها قليلة في كثير من الأحيان، فتركيزهما في الماء النقي

١×١٠^{-٧} مول/لتر، ولا يخفى أن هناك صعوبة في التعامل مع الأسس السالبة وإجراء عمليات حسابية عليها؛ لذا فقد اصطلح الكيميائيون للتعبير عن هذه التراكيز من خلال ما يسمى الرقم الهيدروجيني للمحلول (pH) والذي يمكّننا من التعامل مع الأسس بطريقة أسهل، فالمحلول الذي تركيز H_3O^+ فيه ١×١٠^{-٧} مول/لتر تكون قيمة pH فيه تساوي ٧، والمحلول الذي تركيز H_3O^+ فيه ١×١٠^{-١٣} مول/لتر تكون قيمة pH فيه تساوي ١٣، وهكذا.

لاحظ أننا أخذنا الأس السالب وحولناه إلى عدد صحيح موجب، فما العلاقة بين القيمتين؟

إذا دققت النظر في القيمتين تجد أن ٧ = − لو ١×١٠^{-٧}، وأن ١٣ = − لو ١×١٠^{-١٣}، وهكذا فإنه يمكن تعريف **الرقم الهيدروجيني (pH) بأنه اللوغاريتم السالب للأساس ١٠ لتركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+ في المحلول**. ويعبّر عنه رياضيًّا بالعلاقة الآتية:

$$pH = - \text{لو}[H_3O^+]$$

ولتتعرّف كيفية حساب الرقم الهيدروجيني (pH) في المحاليل الحمضية والقاعدية، ادرس المثاليين الآتيين:

مثال (٤)

احسب الرقم الهيدروجيني (pH) لمحلول HI الذي تركيزه ١×١٠^{-٣} مول/لتر.

الحل

يتأين الحمض HI كليًّا في الماء، كما في المعادلة الآتية:

$$HI_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + I^-_{(aq)}$$

وعليه فإن $[H_3O^+] = [HI] = ١ \times ١٠^{-٣}$ مول/لتر.

ويكون الرقم الهيدروجيني للمحلول:

$$pH = - \text{لو}[H_3O^+]$$

$$= - \text{لو}\ ١ \times ١٠^{-٣}$$

$$= - (\text{لو}\ ١ + - ٣\ \text{لو}\ ١٠)$$

$$= - (٠ + - ٣ \times ١) = ٣$$

مثال (٥)

احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول KOH الذي تركيزه ٢ × ١٠$^{-٢}$ مول/لتر. (لو ٥ = ٠,٧)

الحل

يتأين KOH في الماء كما في المعادلة الآتية:

$$KOH_{(s)} \xrightarrow{H_2O} K^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

ولأن KOH قاعدة قوية، فإن $[OH^-] = [KOH] = ٢ \times ١٠^{-٢}$ مول/لتر.

ويمكن حساب $[H_3O^+]$ كما يأتي:

$$[H_3O^+] = \frac{Kw}{[OH^-]} = \frac{١٠ \times ١^{-١٤}}{١٠ \times ٢^{-٢}} = ٥ \times ١٠^{-١٣}$$ مول/لتر.

وعليه، يكون الرقم الهيدروجيني:

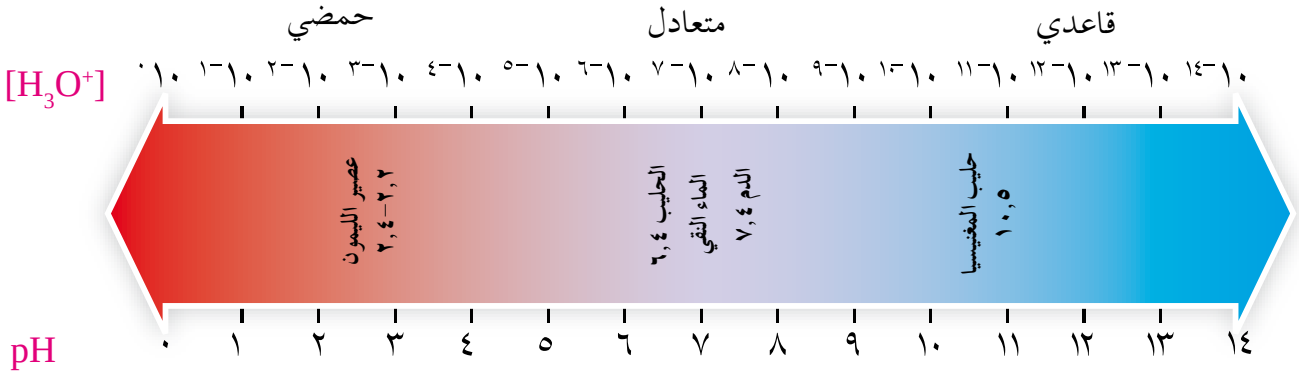
$$pH = -\text{لو}\ [H_3O^+]$$

$$= -\text{لو}\ ٥ \times ١٠^{-١٣} = -(\text{لو}\ ٥ + \text{لو}\ ١٠^{-١٣})$$

$$= -٠,٧ + ١٣ = ١٢,٣$$

يتضح مما سبق، أن الرقم الهيدروجيني للماء النقي يساوي٧، وفي محلول الحمض يكون أقل من ٧، بينما يكون في محلول القاعدة أكبر من ٧. وينطبق ذلك على المحاليل المائية الأخرى؛ لذا يعد الرقم الهيدروجيني مقياسًا لدرجة الحموضة والقاعدية في المحاليل المختلفة.

تمعن الشكل (١–٣) الذي يبين العلاقة بين قيمة pH و تركيز H_3O^+ في المحاليل.



الشكل (١– ٣): العلاقة بين pH و $[H_3O^+]$.

يتضح من الشكل السابق أن قيمة pH للمحلول تقل من اليمين إلى اليسار، ويزداد تركيز H_3O^+ بهذا الاتجاه. وعليه يمكن الاستنتاج أن قيمة pH تقل مع ازدياد حموضة المحلول، وتزداد بنقصانها. وبالعكس فإن قيمتها تزداد بازدياد قاعدية المحلول، وتقل بنقصانها، وهذا يعني أن الرقم الهيدروجيني للمحاليل القاعدية بشكل عام يكون أكبر منه للمحاليل الحمضية.

سؤال

- احسب الرقم الهيدروجيني (pH) لكلا المحلولين الآتيين:
  - حمض البيروكلوريك $HClO_4$ الذي تركيزه ١,٥ × ١٠$^{-٢}$ مول/لتر.
  - حمض HBr الذي تركيزه ٣ × ١٠$^{-٣}$ مول/لتر.

  علمًا بأن لو ١,٥ = ٠,١٨، لو ٣ = ٠,٥
- بيّن أي المحلولين أكثر حمضية.

والآن، كيف يمكن حساب $[H_3O^+]$ و $[OH^-]$ بمعرفة الرقم الهيدروجيني؟
لمعرفة ذلك ادرس المثال الآتي:

مثال (٦)

عينة عصير البرتقال لها رقم هيدروجيني = ٥,٨. فما تركيز H_3O^+ و OH^- في العينة؟
(لو ١,٦ = ٠,٢).

الحل

pH = − لو $[H_3O^+]$

$[H_3O^+] = ١٠^{-pH}$

$[H_3O^+] = ١٠^{-٥,٨}$

$[H_3O^+] = ١٠^{-(٦ + ٥,٨-)}$

$[H_3O^+] = ١٠^{٠,٢} \times ١٠^{-٦}$

$[H_3O^+] = ١,٦ \times ١٠^{-٦}$ مول/لتر.

ومنها نحسب تركيز OH^- كما يأتي:

$$[OH^-] = \frac{Kw}{[H_3O^+]}$$

$$\frac{١٠ \times ١^{-١٤}}{١٠ \times ١,٦^{-٦}}$$

$$= ٦,٢٥ \times ١٠^{-٩} \text{ مول/لتر.}$$

سؤال

■ إذا علمت أن قيمة pH لعينة دم الإنسان = ٧,٤، فما تركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+ في دمه؟ علمًا بأن لو ٤ = ٠,٦

تطبيقات حياتية

كيف يمكن تغيير لون أزهار نبات القُرطاسيا؟

الشكل(١-٤): نبات القرطاسيا.

لنبات القُرطاسيا أزهار متعددة الألوان تتغير بتغير درجة حموضة التربة التي تنبت فيها، وقد استفاد المزارعون من هذه الظاهرة، فقاموا بتغيير لون أزهارها عن طريق التحكم في الرقم الهيدروجيني للتربة التي تنبت فيها، فغيّروا لونها من الزهري إلى الأزرق وبالعكس اعتمادًا على امتصاص النبتة للألمنيوم.

فإذا كانت التربة حمضية والرقم الهيدروجيني لها أقل من ٦ فإن النبتة تمتص الألمنيوم، ويكون لونها أزرق. وأما إذا كانت التربة قاعدية، فلا تستطيع النبتة امتصاص الألمنيوم ويكون لونها زهريًّا، فالمزارع يستطيع تغيير pH للتربة للحصول على لون النبتة المرغوب، فإذا أراد نبتة بلون زهري أضاف الكلس (كربونات الكاليسيوم) إلى التربة لرفع الرقم الهيدروجيني لها، وإذا أراد اللون الأزرق فإنه يضيف كبريتات الألمنيوم والقليل من الخل مع ماء الري، لتقليل الرقم الهيدروجيني للتربة.

للاستزادة يمكنك الرجوع إلى الشبكة المعلوماتية مستعينًا بالعبارات المفتاحية الآتية: نبات القُرطاسيا، Hydrangea macrophylla ، تغيير لون أزهار القُرطاسيا.

١) وضّح المقصود بكل من:

قاعدة أرهينيوس، حمض برونستد – لوري، قاعدة لويس، الرقم الهيدروجيني (pH).

٢) ادرس التفاعلين الآتيين، وعيّن الحمض والقاعدة في كل منهما وَفق مفهوم برونستد – لوري.

$$PO_4^{3-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HPO_4^{2-}{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

$$HNO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow NO_3^-{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$$

٣) أكمل الجدول الآتي:

معادلة التفاعل	الحمض	القاعدة المرافقة	القاعدة	الحمض المرافق
$HF + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3 + F^-$				H_2CO_3
$CH_3NH_2 + H_2O \rightleftharpoons \ldots\ldots + OH^-$	H_2O			
$N_2H_5^+ + H_2O \rightleftharpoons \ldots\ldots + \ldots\ldots$			H_2O	
$\ldots\ldots + H_2O \rightleftharpoons C_6H_5COO^- + \ldots\ldots$		$C_6H_5COO^-$		

٤) ادرس التفاعلين الآتيين، ثم أجب عمّا يأتي:

$$H_2SO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+{}_{(aq)} + HSO_3^-{}_{(aq)}$$

$$CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCO_3^-{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

أ) وضّح سلوك الماء (كحمض أو قاعدة) في كل منهما.

ب) حدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة في كل منهما.

٥) فسّر مستعينًا بمعادلة كيميائية السلوك الحمضي لحمض الهيدروسيانيك HCN وفق مفهوم أرهينيوس.

٦) فسّر مستعينًا بمعادلات السلوك القاعدي للأمونيا NH_3 وفق مفهومي برونستد – لوري، ولويس.

٧) عيّن حمض لويس وقاعدته في التفاعلين الآتيين:

$$Ag^+{}_{(aq)} + 2NH_{3(aq)} \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]^+{}_{(aq)}$$

$$Fe^{3+}{}_{(aq)} + 6CN^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons [Fe(CN)_6]^{3-}{}_{(aq)}$$

٨) حدّد طبيعة المحلول (حمضي، قاعدي، متعادل) لكل مما يأتي:

أ) محلول تركيز H_3O^+ فيه = ٣×١٠ $^{-١١}$ مول/لتر.

ب) محلول قيمة pH له = ٢

جـ) محلول تركيز أيونات OH^- فيه = ٢×١٠ $^{-١٠}$ مول/لتر.

٩) أي من الآتية يعد أمفوتيريًّا:

$HCOO^-$ ، H_2O ، CH_3NH_2 ، HCO_3^-

١٠) تم إذابة ٠,٨١ غ من HBr في الماء فتكوّن محلول حجمه ٥٠٠مل. احسب pH للمحلول، علمًا بأن الكتلة المولية لـ HBr = ٨١ غ/مول، لو٢= ٠,٣

١١) احسب كتلة KOH اللازمة لتحضير محلول حجمه لتر، والرقم الهيدروجيني له ١٢,٣، علمًا بأن الكتلة المولية لهيدروكسيد البوتاسيوم KOH = ٥٦ غ/مول، لو٥= ٠,٧

١٢) أراد مزارع زيادة إنتاجه من نبات القُرطاسيا ذي اللون الأزرق، فما الاقتراح المناسب الذي تقدمه له؟

الاتزان في محاليل الحموض والقواعد الضعيفة

Acid–Base Equilibria

هناك العديد من الحموض الضعيفة التي نستخدمها في حياتنا مثل الأسبرين المسكن للآلام، وحمض الأسكوربيك المعروف بفيتامين ج، وحمض الكربونيك الموجود في المشروبات الغازية، وكذلك العديد من القواعد الضعيفة، مثل كربونات الصوديوم المائية (صودا الغسيل) التي تدخل في تركيب مساحيق غسيل الملابس. وقد تبيّن أنه يسهل حساب الرقم الهيدروجيني لمحاليل الحموض والقواعد القوية، لكن الحموض والقواعد الضعيفة تتأين جزئيًا، وبدرجات متفاوتة، فكيف يمكن حساب الرقم الهيدروجيني لمحاليلها؟

يمكنك الإجابة عن هذا السؤال وغيره بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- توضّح مفهوم كل من الملح، والتميّه، والأيون المشترك، والمحلول المنظم.
- تُجري حسابات تتعلق بالاتزان في المحاليل المائية للحموض والقواعد الضعيفة.
- تميّز بين الذوبان والتميّه.
- تفسّر التأثير الحمضي أو القاعدي لمحاليل الأملاح.
- توظّف مهاراتك الرياضية في الحسابات المتعلقة بتأثير الأيون المشترك، والمحلول المنظم.
- تفسّر آلية عمل المحلول المنظم، وتقدر أهميته في الحياة.

أولًا الاتزان في محاليل الحموض الضعيفة

عرفت في الفصل الأول من هذه الوحدة أن الحموض القوية تتأين كليًّا في الماء؛ فيكون التفاعل غير منعكس، بينما تتأين الحموض الضعيفة جزئيًّا، فيكون التفاعل منعكسًا. فمثلًا يتأين الحمض الضعيف HA جزئيًّا كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{حمض}}{HA_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة}}{H_2O_{(l)}} \rightleftharpoons \underset{\text{حمض مرافق}}{H_3O^+_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة مرافقة}}{A^-_{(aq)}}$$

لاحظ أنه يَنتج عن تأين الحموض الضعيفة، بالإضافة لأيون الهيدرونيوم الأيون السالب A^- الذي يعد قاعدة مرافقة قوية نسبيًّا يمكنها أن ترتبط بأيون الهيدرونيوم في المحلول، وتُكوّن الحمض HA من جديد، فتصل الأيونات الناتجة وجزيئات الحمض غير المتأينة إلى حالة اتزان. ويمكن التعبير عن ثابت الاتزان للتفاعل السابق عند درجة حرارة محدّدة على النحو الآتي:

$$\frac{[A^-]\,[H_3O^+]}{[HA]\,[H_2O]} = K_c$$

وبما أن تركيز الماء في المحاليل لا يتغير بدرجة كبيرة، فيمكن اعتبار تركيزه ثابتًا، ودمجه مع ثابت الاتزان K_c، وعندها يرمز لثابت الاتزان بالرمز K_a، ويسمى **ثابت تأين الحمض الضعيف**، ويعبّر عنه رياضيًّا كما يأتي:

$$\frac{[A^-]\,[H_3O^+]}{[HA]} = K_a$$

يتضح من العلاقة الرياضية السابقة أن قيمة K_a تزداد بزيادة تركيز H_3O^+، وهذا التركيز يزداد بزيادة قدرة الحمض على التأين، وهو ما يطلق عليه **قوة الحمض**، أي أن قيمة K_a تزداد بزيادة قوة الحمض، وبهذا تعد قيمة K_a مقياسًا لهذه القوة، وتجدر الإشارة إلى أنه **كلما زادت قوة الحمض قلّت قوة القاعدة المرافقة الناتجة عن تأينه**؛ لأن زيادة قوة الحمض تؤدي إلى زيادة مقدار التأين فيصعب على الأيونات الناتجة الارتباط معًا لإعادة تكوّن الحمض. ويبيّن الجدول (١-١) قيم ثوابت التأين لعدد من الحموض الضعيفة عند درجة ٢٥°س.

الجدول (١–١): قيم ثوابت التأين لعدد من الحموض الضعيفة عند ٢٥°س.

اسم الحمض	الصيغة	Ka
حمض الكبريتيت	H_2SO_3	$١٠\times١,٥^{-٢}$
حمض الهيدروفلوريك	HF	$١٠\times٧,٢^{-٤}$
حمض النيتريت	HNO_2	١٠×٤^{-٤}
حمض الميثانويك	HCOOH	$١٠\times١,٧^{-٤}$
حمض البنزويك	C_6H_5COOH	$١٠\times٦,٥^{-٥}$
حمض الإيثانويك	CH_3COOH	$١٠\times١,٨^{-٥}$
حمض الكربونيك	H_2CO_3	$١٠\times٤,٣^{-٧}$
حمض الهيبوكلوريت	HOCl	$١٠\times٣,٥^{-٨}$
حمض هيدروسيانيك	HCN	$١٠\times٦,٢^{-١٠}$

سؤال

- بالاعتماد على الجدول (١–١)، أجب عن الأسئلة الآتية:
  - اكتب صيغة الحمض الأقوى وصيغة قاعدته المرافقة.
  - لديك محلولان حمضيان متساويان في التركيز: HF و CH_3COOH فأيهما يكون تركيز H_3O^+ فيه أعلى؟
  - أيّ المحلولين رقمه الهيدروجيني أعلى: C_6H_5COOH أم HCN، إذا كان لهما التركيز نفسه؟
  - أيهما أقوى: القاعدة المرافقة للحمض HNO_2، أم القاعدة المرافقة للحمض HOCl؟
  - هل تتوقع أن تكون قيمة pH لمحلول حمض الميثانويك HCOOH الذي تركيزه ١×١٠^{-٢} مول/لتر أكبر أم أقل من ٢؟ لماذا؟

والآن، كيف يمكن حساب الرقم الهيدروجيني pH لمحاليل الحموض الضعيفة؟ لتتعرّف ذلك، ادرس المثال الآتي:

مثال (١)

احسب الرقم الهيدروجيني (pH) لمحلول حمض الميثانويك HCOOH الذي تركيزه ٠,١ مول/لتر، علمًا بأن Ka للحمض = ١,٧ × ١٠ $^{-٤}$، لو ٤,١ = ٠,٦١

الحل

يتأين حمض الميثانويك في الماء كما في المعادلة الآتية:

$$HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

التراكيز			
بداية التأين	٠,١	صفر	صفر
مقدار التغيّر	ـ س	+ س	+ س
عند الاتزان	٠,١ ـ س	س	س

فإذا فرضنا أن (س) مول/لتر يتأين من الحمض، فعند الاتزان يكون:

$$[HCOO^-] = [H_3O^+] = \text{س}$$

$$[HCOOH] = ٠,١ - \text{س}$$

وبسبب صغر قيمة Ka للحمض؛ فإن قيمة س تكون صغيرة جدًّا، فيمكن إهمالها في حالة الجمع أو الطرح، وعليه يكون:

$$[HCOOH]_{\text{عند الاتزان}} = [HCOOH]_{\text{الابتدائي}} = ٠,١ \text{ مول/لتر.}$$

ويمكن التعويض عن قيم تراكيز المواد في تعبير ثابت التأين Ka على النحو الآتي:

$$Ka = \frac{[HCOO^-]\,[H_3O^+]}{[HCOOH]}$$

$$١,٧ \times ١٠^{-٤} = \frac{\text{س}^٢}{٠,١}$$

$$\text{س}^٢ = ١,٧ \times ١٠^{-٤} \times ٠,١$$

$$\text{س} = \sqrt{١,٧ \times ١٠^{-٥}} = ٤,١ \times ١٠^{-٣}$$

$$[H_3O^+] = \text{س} = ٤,١ \times ١٠^{-٣} \text{ مول/لتر.}$$

$$pH = - \text{لو } ٤,١ \times ١٠^{-٣}$$

$$= - ٠,٦١ + ٣ = ٢,٣٩$$

كما يمكن حساب قيمة ثابت التأين Ka لمحاليل الحموض الضعيفة بمعرفة الرقم الهيدروجيني للمحلول، كما هو موضح في المثال الآتي:

مثال (٢)

محلـول حمض ضـعيف (HA) تركيـزه ٠,١ مول/لتر، ورقمه الهيدروجيني يسـاوي ٢,٨. احسب قيمة ثابت تأين الحمض (Ka).

الحل

يتأين الحمض في الماء كما في المعادلة الآتية:

$$HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

وكي نسـتطيع حسـاب Ka للحمض، نحسـب أولًا $[H_3O^+]$ من الرقم الهيدروجيني للمحلول على النحو الآتي:

$pH = -$ لو $[H_3O^+]$

$[H_3O^+] = ١٠^{-٢,٨} = ١٠^{٠,٢} \times ١٠^{-٣}$

$[H_3O^+] = ١,٦ \times ١٠^{-٣}$ مول/لتر.

وبالرجوع إلى معادلة التأين يتضح أن:

$[H_3O^+] = [A^-] = ١,٦ \times ١٠^{-٣}$ مول/لتر.

أما $[HA] = ٠,١ - ١,٦ \times ١٠^{-٣} \approx ٠,١$ مول/لتر.

وبالتعويض في تعبير ثابت التأين Ka:

$$Ka = \frac{[A^-]\,[H_3O^+]}{[HA]}$$

نجد أن:

$$Ka = \frac{١,٦ \times ١٠^{-٣} \times ١,٦ \times ١٠^{-٣}}{٠,١}$$

$$Ka = ٢,٥٦ \times ١٠^{-٥}$$

- بالرجوع إلى الجدول (١-١)، أجب عن الأسئلة الآتية:
  - احسب قيمة الرقم الهيدروجيني لمحلول HF الذي تركيزه ٠,٢ مول/لتر. لو٢,١=٠,٠٨
  - احسب تركيز محلول حمض HNO_2 الذي رقمه الهيدروجيني ٢,٤، علمًا بأن لو٤=٠,٦
  - احسب قيمة Ka لمحلول الحمض الضعيف HZ الذي تركيزه ٠,٢ مول/لتر، ورقمه الهيدروجيني يساوي ٤.

ثانيًا
الاتزان في محاليل القواعد الضعيفة

تتأين القواعد الضعيفة جزئيًا في الماء، وينتج عنها أيون موجب يعد حمضًا مرافقًا قويًا نسبيًا؛ لذا فهو يتفاعل مع أيون OH^- في المحلول، ويُكوِّن القاعدة من جديد، إلى أن تصل الأيونات الناتجة وجزئيات القاعدة غير المتأينة إلى حالة اتزان. فمثلاً تتأين القاعدة الضعيفة (B) كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{قاعدة}}{B_{(aq)}} + \underset{\text{حمض}}{H_2O_{(l)}} \rightleftharpoons \underset{\text{حمض مرافق}}{BH^+_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة مرافقة}}{OH^-_{(aq)}}$$

ويمكن التعبير عن ثابت الاتزان للتفاعل على النحو الآتي:

$$\frac{[OH^-]\,[BH^+]}{[H_2O]\,[B]} = K_c$$

وكما في الحموض الضعيفة، فإن تركيز الماء يبقى ثابتًا، ويمكن دمجه مع ثابت الاتزان Kc، وعندها يرمز له بالرمز Kb، ويسمى **ثابت تأين القاعدة الضعيفة**، ويعبّر عنه رياضيًا على النحو الآتي:

$$\frac{[OH^-]\,[BH^+]}{[B]} = K_b$$

يتضح من العلاقة الرياضية السابقة، أن قيمة ثابت تأين القاعدة الضعيفة (Kb) يزداد بزيادة تركيز OH^-، وهذا التركيز يزداد بزيادة قدرة القاعدة على التأين، وهي ما يطلق عليه **قوة القاعدة**، أي أن

قيمة Kb تزداد بزيادة قوة القاعدة، وبهذا تعد قيمة Kb مقياسًا لقوة القاعدة، وتجدر الإشارة هنا أيضـا أنه **كلما زادت قوة القاعدة قلّت قوة الحمض المرافق الناتج عن تأينها**. ويبيّن الجدول (١ – ٢) قيم ثوابت التأين لعدد من القواعد الضعيفة عند ٢٥°س.

الجدول (١ – ٢): قيم ثوابت التأين لعدد من القواعد الضعيفة عند ٢٥°س.

اسم القاعدة	صيغة القاعدة	معادلة التأين	Kb
إيثيل أمين	$C_2H_5NH_2$	$C_2H_5NH_2 + H_2O \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+ + OH^-$	$٥,٦ \times ١٠^{-٤}$
ميثيل أمين	CH_3NH_2	$CH_3NH_2 + H_2O \rightleftharpoons CH_3NH_3^+ + OH^-$	$٤,٤ \times ١٠^{-٤}$
أمونيا	NH_3	$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$	$١,٨ \times ١٠^{-٥}$
هيدرازين	N_2H_4	$N_2H_4 + H_2O \rightleftharpoons N_2H_5^+ + OH^-$	$١,٣ \times ١٠^{-٦}$
بيريدين	C_5H_5N	$C_5H_5N + H_2O \rightleftharpoons C_5H_5NH^+ + OH^-$	$١,٧ \times ١٠^{-٩}$
أنيلين	$C_6H_5NH_2$	$C_6H_5NH_2 + H_2O \rightleftharpoons C_6H_5NH_3^+ + OH^-$	$٣,٨ \times ١٠^{-١٠}$

سؤال

- بالرجوع إلى الجدول (١–٢)، أجب عن الأسئلة الآتية:
  - أيهما أقوى: القاعدة NH_3، أم القاعدة N_2H_4؟
  - اكتب صيغة الحمض المرافق الأضعف في الجدول.
  - حدّد الأزواج المترافقة في محلول القاعدة الأضعف.
  - أيُّ المحلولين يكون تركيز OH^- فيه أعلى: محلول الأمونيا NH_3، أم محلول البيريدين C_5H_5N، إذا كان لهما التركيز نفسه؟
  - أيُّ المحلولين رقمه الهيدروجيني أقل: أهو محلول ميثيل أمين، أم محلول الهيدرازين، إذا كان لهما التركيز نفسه؟

ويمكن الاستفادة من قيم Kb في تعيين الرقم الهيدروجيني لمحاليل بعض القواعد الضعيفة. ولتوضيح ذلك، ادرس المثال الآتي:

مثال (٣)

احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول الأمونيا، الذي تركيزه ٠,٤ مول/لتر، علمًا بأن K_b للأمونيا $= ١,٨ \times ١٠^{-٥}$.

الحل

نكتب معادلة تأين الأمونيا:

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

التراكيز		NH_4^+	OH^-	
بداية التأين	٠,٤	صفر	صفر	
مقدار التغيّر	ـ س	+ س	+ س	
عند الاتزان	٠,٤ ـ س	س	س	

فإذا فرضنا أن (س) مول/لتر يتأين من القاعدة NH_3، فعند الاتزان يكون:

$$[OH^-] = [NH_4^+] = \text{س}$$

$$[NH_3] = ٠,٤ - \text{س}$$

وبسبب صغر قيمة K_b للقاعدة؛ فإن قيمة س تكون صغيرة جدًّا، فيمكن إهمالها، ويكون

$$[NH_3]_{\text{عند الاتزان}} = [NH_3]_{\text{الابتدائي}} = ٠,٤ \text{ مول/لتر.}$$

وعليه، فإنه يمكن التعويض عن قيم تراكيز المواد في تعبير ثابت التأين K_b على النحو الآتي:

$$K_b = \frac{[OH^-]\,[NH_4^+]}{[NH_3]}$$

$$١,٨ \times ١٠^{-٥} = \frac{\text{س}^٢}{٠,٤}$$

$$\text{س}^٢ = ١,٨ \times ١٠^{-٥} \times ٠,٤$$

$$\sqrt{\text{س}^٢} = \sqrt{٧,٢ \times ١٠^{-٦}}$$

$$\text{س} = [OH^-] = ٢,٦٨ \times ١٠^{-٣} \text{ مول/لتر.}$$

ولحساب $[H_3O^+]$ نستخدم ثابت تأين الماء K_w كما يأتي:

$$[H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]}$$

$$[H_3O^+] = \frac{١٠ \times ١^{-١٤}}{٢,٦٨ \times ١٠^{-٣}}$$

$= ٣,٧ \times ١٠^{-١٢}$ مول/لتر.

$pH = - \text{لو } [H_3O^+]$

$= - \text{لو } ٣,٧ \times ١٠^{-١٢}$

$= ١٢ - ٠,٦ = ١١,٤$

سؤال

■ كم غرامًا من الهيدرازين N_2H_4 يلزم لتحضير محلول حجمه ٠,٢ لترًا، ورقمه الهيدروجيني ١٠,٨، علمًا بأن Kb للهيدرازين = ١,٣ × ١٠$^{-٦}$، والكتلة المولية له = ٣٢ غ/مول، ولو ١,٦ = ٠,٢

ثالثًا الخواص الحمضية والقاعدية لمحاليل الأملاح

درست في الفصل السابق خصائص الحموض والقواعد وبعض الحسابات المتعلقة بها، كما درست في الصف التاسع الأملاح، وعرفت أنها تنتج من تفاعل الحمض والقاعدة، فهل للأملاح خصائص حمضية، أم خصائص قاعدية، أم أنها متعادلة؟ لتتعرّف ذلك، نفّذ النشاط (١-١).

نشاط (١-١) الخواص الحمضية والقاعدية لمحاليل بعض الأملاح

أُجريت تجربة لقياس الرقم الهيدروجيني لعدد من الأملاح، وكانت النتائج كما هو موضح في الشكل (١-٥). ادرسه، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

NaCN NaCl NH_4Cl

الشكل (١-٥): الرقم الهيدروجيني لعدد من الأملاح.

- أيُّ محاليل الأملاح حمضيّ، وأيها قاعديّ، وأيها متعادل؟
- اكتب معادلات كيميائية تمثل تفاعل الحمض والقاعدة لتكوين كل من الأملاح السابقة.
- صنّف الحموض والقواعد المكونة للأملاح في البند ٢ إلى قوية وضعيفة.

تنتج الأملاح المشار اليها في النشاط (١-١) عن تعادل حمض مع قاعدة، فملح كلوريد الصوديوم NaCl، ينتج عن تعادل الحمض القوي HCl مع القاعدة القوية NaOH، كما في المعادلة:

$$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

وملح سيانيد الصوديوم NaCN ، ينتج عن تعادل الحمض الضعيف HCN مع القاعدة القوية NaOH، كما في المعادلة:

$$HCN_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCN_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

وأمّا ملح كلوريد الأمونيوم NH_4Cl فينتج عن تعادل الحمض القوي HCl مع القاعدة الضعيفة NH_3، والمعادلة الآتية تبيّن ذلك:

$$NH_{3(aq)} + HC1_{(aq)} \longrightarrow NH_4Cl_{(aq)}$$

ويمكن لبعض هذه الأملاح أن تتأين في الماء مكونة أيونات موجبة وأخرى سالبة، ولبعض هذه الأيونات القدرة على التفاعل مع الماء، وإنتاج أيونات H_3O^+ أو OH^-.

يطلق على تفاعل أيونات الملح مع الماء اسم التّمَيُّه (Hydrolysis)، ويعرف **التّمَيُّه بأنه قدرة أيونات الملح على التفاعل مع الماء وإنتاج أيونات H_3O^+ أو OH^- أوكليهما.**

وتجدر الإشارة هنا إلى أن هناك فرقًا بين عملية التّمَيُّه وعملية الذوبان، فعملية التميّه تتضمن تفكك الملح إلى أيونات لها القدرة على التفاعل مع الماء، وتغيير تركيز أيونات H_3O^+ أو OH^- في المحلول. وأما عملية الذوبان فتتضمن تفكك الملح إلى أيونات ليس لها القدرة على التفاعل مع الماء، مثل NaCl، مما يُبقي على تركيز أيونات H_3O^+ أو OH^- كما هو في المحلول، وبذلك يكون محلول الملح متعادلًا.

والسؤال الآن: هل لمصدر أيونات الملح من الحمض والقاعدة علاقة بتحديد سلوكه الحمضي أو القاعدي؟ للإجابة عن هذا السؤال؛ سندرس أنواع الأملاح تبعًا لحموضتها أو قاعديتها:

١ – الأملاح القاعدية

يتأين سيانيد الصوديوم NaCN في الماء كما في المعادلة الآتية:

$$NaCN_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$$

لاحظ أن أيونات الصوديوم Na^+ مصدرها القاعدة القوية NaOH، وهي لا تتفاعل مع الماء وتبقى في المحلول على شكل أيونات، فلا تؤثر في تركيز H_3O^+ أو OH^-، وأما أيونات CN^- فهي تعد قاعدة مرافقة قوية نسبيًّا للحمض الضعيف HCN حسب مفهوم برونستد – لوري، فهي تتفاعل مع الماء وتسحب منه H^+ ويتكون نتيجة لذلك حمض HCN وأيون الهيدروكسيد OH^- فيزداد تركيز أيون OH^- في المحلول، وتزداد قاعديته، ويصبح الرقم الهيدروجيني له أكبر من ٧، ويكون تأثير الملح قاعديًّا كما في المعادلة الآتية:

$$CN^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCN_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وينطبق ذلك على الأملاح الأخرى المشابهة للملح NaCN، والناتجة من تفاعل حمض ضعيف مع قاعدة قوية، مثل ملحَي HCOONa و KClO.

٢ – الأملاح الحمضية

يتأين كلوريد الأمونيوم NH_4Cl في الماء كما في المعادلة:

$$NH_4Cl_{(s)} \xrightarrow{H_2O} NH_4^+{}_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

وكما تعلم، فإن أيونات Cl^- تعد قاعدة مرافقة ضعيفة للحمض القوي HCl، فلا تتفاعل مع الماء (لا تتميَّه) أي أنها لا ترتبط بالبروتون في المحلول، ولا تؤثر في تركيز أيونات H_3O^+. وأما أيونات الأمونيوم NH_4^+ فهي حمض مرافق قوي نسبيًّا للقاعدة الضعيفة NH_3، وعليه فإنها تتميّه، أي تتفاعل مع الماء وتمنحه البروتون H^+، فتتكوّن أيونات H_3O^+ في المحلول ويزداد تركيزها فيه، فيقل الرقم الهيدروجيني عن ٧، ويكون تأثير الملح حمضيًّا، والمعادلة الآتية توضح ذلك:

$$NH_4^+{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_{3(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

وينطبق ذلك على الأملاح الأخرى المشابهة للملح NH_4Cl، والناتجة من تفاعل حمض قوي مع قاعدة ضعيفة، مثل ملحَي CH_3NH_3Br و N_2H_5Cl.

٣- الأملاح المتعادلة

يتأين كلوريد الصوديوم NaCl في الماء كما في المعادلة الآتية:

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

لاحظ أن أيونات Cl^- تعد قاعدة مرافقة ضعيفة للحمض القوي HCl، فلا تتفاعل مع الماء (لا تتميَّه)، أي لا ترتبط بالبروتون في المحلول، ولا تؤثر في تركيز أيونات H_3O^+، وأما أيونات Na^+ فإن مصدرها القاعدة القوية NaOH؛ لذلك فهي لا تتفاعل مع الماء، وتبقى في المحلول على شكل أيونات Na^+، فلا تؤثر في تركيز أيونات H_3O^+. وبناء على ذلك يبقى الرقم الهيدروجيني للماء كما هو ٧، ويكون محلول ملح NaCl متعادلًا.

يتضح مما سبق، أن السلوك الحمضي أو القاعدي لمحلول الملح، يعتمد على مصدر الأيونات المكونة له؛ فمحلول الملح الناتج عن تفاعل حمض ضعيف مع قاعدة قوية مثل ملح سيانيد الصوديوم NaCN يكون قاعديًّا، ومحلول الملح الناتج عن تفاعل حمض قوي مع قاعدة ضعيفة مثل ملح كلوريد الأمونيوم NH_4Cl يكون حمضيًّا، وأما محلول الملح الناتج عن تفاعل حمض قوي مع قاعدة قوية، مثل ملح كلوريد الصوديوم NaCl فيكون متعادلًا.

حمض ضعيف + قاعدة قوية ⟵ ملح تأثيره قاعدي

حمض قوي + قاعدة ضعيفة ⟵ ملح تأثيره حمضي

حمض قوي + قاعدة قوية ⟵ ملح متعادل

سؤال

- حدّد طبيعة محاليل كل من الأملاح الآتية (حمضي، قاعدي، متعادل):

  KF ، $NaClO_4$ ، $CH_3CH_2NH_3Br$.

- فسّر مستعينًا بمُعادلات السلوك الحمضي أو القاعدي أو المتعادل لكل من الأملاح الآتية:

  CH_3COONa ، $LiCl$ ، N_2H_5Br

- أيُّ الملحين الآتيين يعد ذوبانه في الماء تميّها: C_5H_5NHCl ، KI؟

رابعًا تأثير الأيون المشترك

عرفت مما سبق، أن بعض محاليل الأملاح لها تأثير حمضي، وبعضها له تأثير قاعدي، وقد يكون بعضها متعادلًا، فماذا تتوقع أن يحدث لقيمة pH لمحلول حمض ضعيف أو محلول قاعدة ضعيفة عندما يضاف إليه ملح ذو تأثير حمضي أو قاعدي؟

درست سابقًا أنّ الأيونات الناتجة في محلول الحمض الضعيف تكون في حالة اتزان مع جزيئات الحمض غير المتأينة، فمثلًا محلول الحمض الضعيف HF يحتوي على أيونات F^-، وأيونات H_3O^+، وجزيئات الحمض غير المتأينة HF، وتكون جميعها في المحلول في حالة اتزان، كما يتضح من المعادلة الآتية:

$$HF_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

وعند إضافة الملح NaF إلى محلول حمض HF؛ فإنه يتأين كليًّا كما في المعادلة:

$$NaF_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

نلاحظ من المعادلتين السابقتين أن هناك مصدرين لأيونات F^- في المحلول، أحدهما الحمض HF والآخر الملح NaF؛ لذلك يطلق على هذا الأيون اسم الأيون المشترك، ويُعرف الملح NaF بملح الحمض الضعيف HF. فما تأثير الأيون المشترك على الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول؟

لاحظ أن تأين الملح يزيد تركيز أيونات F^- ، وبناء على مبدأ لوتشاتلييه فإن الاتزان للتفاعل الأول سوف يندفع نحو اليسار، أي أن أيونات F^- ستتفاعل مع أيونات H_3O^+ وتكوّن الحمض HF، وهذا يقلل من تركيز H_3O^+ في المحلول (كما يقلل من تأين الحمض)؛ فيؤدي إلى زيادة الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول.

والآن، كيف نحسِب الرقم الهيدروجيني (pH) لمحلول الحمض الضعيف عندما يضاف إليه ملح يحتوي أيونًا مشتركًا؟

إذا كان لدينا محلول يحتوي حمضًا ضعيفًا (HA)، وملحه (NaA) الناتج عن تفاعل ذلك الحمض مع قاعدة قوية، يمكننا حساب تركيز H_3O^+ في المحلول من خلال ثابت تأين الحمض (Ka). ولتوضيح ذلك نكتب معادلتي تأين الحمض والملح على النحو الآتي:

معادلة تأين الحمض الضعيف: $HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons A^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

معادلة تأين الملح: $NaA_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$

ولأن نسبة قليلة من جزيئات الحمض تتأين فيمكن إهمال ما يتأين منه، واعتبار تركيز الحمض الضعيف HA يساوي تركيز الحمض الابتدائي، وبالمقابل فإن تركيز الأيون A^- يساوي تركيز الملح NaA الذي يتأين كليًا، وتكون معظم أيونات A^- مصدرها الملح وليس الحمض. أي أن:

$[HA] = [\text{الحمض}]_{\text{الابتدائي}}$

$[A^-] = [\text{الملح}]$

فإذا عرفنا قيمة Ka للحمض؛ فإنه يمكن حساب تركيز H_3O^+ على النحو الآتي:

$$\frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = Ka$$

$$\frac{[HA]\,Ka}{[A^-]} = [H_3O^+]$$

وبذلك يمكن معرفة كيفية تأثير الأيون المشترك على قيمة pH.

مثال (٤)

إذا كان لديك لتر من محلول حمض الإيثانويك CH_3COOH الذي تركيزه ٠,٢ مول/لتر، وأضيف إليه ٠,٢ مول من ملح إيثانوات الصوديوم CH_3COONa، احسب التغير في قيمة pH للمحلول، مُفترضًا أن حجم المحلول لم يتغير بسبب إضافة الملح. مع العلم بأن Ka للحمض $CH_3COOH = ١,٨ \times ١٠^{-٥}$

الحل

نحسب أولًا pH لمحلول الحمض CH_3COOH قبل إضافة الملح، إذ يتأين الحمض في الماء كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

$$\frac{[CH_3COO^-]\,[H_3O^+]}{[CH_3COOH]} = Ka$$

وبما أن $[H_3O^+] = [CH_3COO^-]$، فإن:

$$\frac{[H_3O^+]^2}{[CH_3COOH]} = K_a$$

$$[CH_3COOH]\ K_a = [H_3O^+]^2$$

$$\sqrt{[CH_3COOH]\ K_a} = [H_3O^+]$$

$$[H_3O^+] = \sqrt{١,٨ \times ١٠^{-٥} \times ٠,٢}$$

$$[H_3O^+] = ١,٩٠ \times ١٠^{-٣}$$

$$pH = -\text{لو}\ [H_3O^+]$$

$$= -\text{لو}\ ١,٩٠ \times ١٠^{-٣}$$

$$= ٣ - \text{لو}\ ١,٩٠ = ٢,٧٢$$

ولمعرفة التغير في قيمة pH للمحلول، نحسب قيمة pH بعد إضافة الملح. فملح إيثانوات الصوديوم يتفكك في المحلول كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3COONa_{(s)} \xrightarrow{H_2O} CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)}$$

لاحظ أن عدد مولات الأيونات CH_3COO^- الناتجة يساوي عدد مولات الملح CH_3COONa المضافة، وبناءً عليه يكون تركيز الأيون CH_3COO^- مساويًا لتركيز الملح CH_3COONa؛ أي أن:

$$[CH_3COONa] = \frac{\text{عدد المولات}}{\text{الحجم}} = \frac{٠,٢}{١} = ٠,٢ \text{ مول/لتر.}$$

$$[CH_3COO^-] = [CH_3COONa] = ٠,٢ \text{ مول/لتر.}$$

وبتعويض هذه التراكيز في تعبير ثابت التأين للحمض، يمكن حساب $[H_3O^+]$ في المحلول كما يأتي:

$$\frac{[CH_3COO^-]\ [H_3O^+]}{[CH_3COOH]} = K_a$$

$$\frac{٠,٢ \times [H_3O^+]}{٠,٢} = ١,٨ \times ١٠^{-٥}$$

$$[H_3O^+] = ١,٨ \times ١٠^{-٥} \text{ مول/لتر.}$$

$$pH = -\text{لو}\ [H_3O^+] = -\text{لو}\ ١,٨ \times ١٠^{-٥}$$

$$pH = ٥ - \text{لو}\ ١,٨$$

$$pH = ٥ - ٠,٢٦ = ٤,٧٤$$

نلاحظ أن إضافة الأيون المشترك (CH_3COO^-) إلى محلول الحمض الضعيف CH_3COOH أدى إلى زيادة قيمة pH من ٢,٧٢ إلى ٤,٧٤ . فقلّت حمضية المحلول. أي أن التغير في pH يساوي ٤,٧٤ – ٢,٧٢ = ٢,٠٢

سؤال

- وضّح أثر إضافة الملح HCOONa على قيمة pH لمحلول حمضه الضعيف HCOOH.
- احسب قيمة pH لمحلول مكون من ٠,٢ مول/لتر من حمض HNO_2 ، عند إضافة ٠,٣ مول من الملح $NaNO_2$ إلى لتر من محلول الحمض. علمًا بأن Ka للحمض = ٤ × ١٠$^{-٤}$.

والآن، بعد أن تعرّفت أثر إضافة الملح إلى محلول حمضه الضعيف، فماذا تتوقع أن يحدث عند إضافة ملح مثل NH_4Cl إلى محلول القاعدة الضعيفة NH_3؟

تعلم أن القاعدة الضعيفة NH_3 تتأين جزئيًا في الماء كما في المعادلة الآتية:

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

ويتفكك الملح كليًا في المحلول كما في المعادلة الآتية:

$$NH_4Cl_{(s)} \xrightarrow{H_2O} NH_4^+{}_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

لاحظ أن إضافة الملح NH_4Cl إلى محلول القاعدة NH_3، يزيد تركيز الأيون المشترك NH_4^+ الذي يتفاعل مع OH^- ويمنحه البروتون، ويقلل من تأين القاعدة NH_3، أي أن التفاعل وفق مبدأ لوتشاتلييه يندفع بالاتجاه العكسي في محلول القاعدة، فيقل بذلك تركيز OH^- وتقل قيمة pH للمحلول.

ويمكن حساب $[OH^-]$ في المحلول من خلال ثابت تأين الأمونيا Kb على النحو الآتي:

$$\frac{[NH_4^+]\,[OH^-]}{[NH_3]} = Kb$$

ويكون:

$$[NH_3] = [NH_3]_{\text{الابتدائي}}$$

$$[NH_4Cl] = [NH_4^+]$$

وبتعويض قيمة Kb للأمونيا؛ فإنه يمكن حساب تركيز OH^- كالآتي:

$$Kb = [OH^-] \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$$

وبمعرفة تركيز $[OH^-]$، يمكن حساب $[H_3O^+]$ باستخدام ثابت تأين الماء Kw؛ ثم حساب قيمة pH للمحلول، ومعرفة أثر إضافة الأيون المشترك إلى محلول القاعدة الضعيفة، والذي يؤدي عادةً إلى نقصان قيمة pH للمحلول.

سؤال

- لديك لتر من محلول الهيدرازين N_2H_4 الذي تركيزه ٠,٢ مول/لتر، فإذا علمت أن:

  Kb للهيدرازين = $١,٣ \times ١٠^{-٦}$، فأجب عن الأسئلة الآتية:

  - احسب قيمة pH للمحلول.
  - كم تصبح قيمة pH للمحلول عند إضافة ٠,٣ مول من الملح N_2H_5Cl إلى لتر منه.

يتضح مما سبق، أنه يمكن زيادة الرقم الهيدروجيني لمحلول الحمض الضعيف بإضافة كمية مناسبة من ملح الحمض إليه، ويمكن تقليل الرقم الهيدروجيني لمحلول القاعدة الضعيفة بإضافة كمية مناسبة من ملح القاعدة إليه.

خامسًا المحاليل المنظمة

تحتاج معظم التطبيقات المهمة في حياتنا إلى ضبط الرقم الهيدروجيني ضمن مدى محدد أثناء حدوث التفاعلات الكيميائية، ويُستخدم لذلك محاليل يُطلق عليها اسم **المحاليل المنظمة (Buffer Solutions)**، وهي ذات أهمية في عمليات الترسيب والطلاء وصناعة الشامبو ودباغة الجلود وغيرها. وللمحاليل المنظمة أهمية كبيرة لحدوث العمليات الفسيولوجية التي تحدث في أجسام الكائنات الحية عند درجة حموضة معينة، كعملية نقل الدم للأكسجين من الرئتين إلى

الخلايا، التي تحدث عند pH يساوي ٧,٤ تقريبًا. فما المقصود بالمحلول المنظم؟ وكيف يعمل على ضبط الرقم الهيدروجيني أثناء حدوث التفاعل؟

يمكن الحصول على المحلول المنظم بإحدى طريقتين، فإما أن يحتوي على حمض ضعيف مثل حمض الإيثانويك CH_3COOH وأحد أملاحه من قاعدة قوية مثل إيثانوات الصوديوم CH_3COONa، وهذا المحلول يُعرف بالمحلول المنظم الحمضي، أو أن يحتوي على قاعدة ضعيفة مثل الأمونيا NH_3 وأحد أملاحها من حمض قوي مثل NH_4Cl، فيعرف بالمحلول المنظم القاعدي.

ولتتعرّف كيف تتغير قيمة الرقم الهيدروجيني للمحلول المنظم الحمضي عند إضافة كمية قليلة من الحمض القوي أو القاعدة القوية إليه نفذ النشاط الآتي:

نشاط (١-٢) المحلول المنظم

ادرس الجدول الآتي الذي يبيّن نتائج تجربة لقياس الرقم الهيدروجيني (pH) للماء المقطر، ولمحلول منظم (مكوّن من ٠,١ مول/لتر حمض الإيثانويك CH_3COOH و ٠,١ مول/لتر من الملح CH_3COONa) قبل إضافة كمية قليلة من الحمض أو القاعدة إلى كل منهما وبعد الإضافة، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.

التجربة	المادة	pH قبل الإضافة	المادة المضافة	pH بعد إضافة الحمض أو القاعدة	التغير في pH
١	لتر واحد من الماء المقطر	٧	٠,١ مول HCl	١	٦
٢	لتر واحد من الماء المقطر	٧	٠,١ مول NaOH	١٣	
٣	لتر واحد من المحلول المنظم	٤,٧٤	٠,١ مول HCl	٤,٦٦	
٤	لتر واحد من المحلول المنظم	٤,٧٤	٠,١ مول NaOH	٤,٨٣	

- ما مقدار التغير في قيمة pH في كل تجربة؟
- أيهما أكبر مقدارًا، التغير في قيمة pH عند إضافة HCl للماء المقطر أم للمحلول المنظم؟
- أيهما أكبر مقدارًا، التغير في قيمة pH عند إضافة NaOH للماء المقطر أم للمحلول المنظم؟

يتضح من النشاط السابق أن المحاليل المنظمة تتميز بقدرتها على مقاومة التغير في الرقم الهيدروجيني، إذ إنه يتغير بمقدار طفيف عند إضافة كمية قليلة من الحمض القوي أو القاعدة القوية إليها. والسؤال الآن كيف تعمل المحاليل المنظمة على مقاومة التغير في الرقم الهيدروجيني؟

عرفت أن هناك نوعين من المحاليل المنظمة هما: المحلول المنظم الحمضي، والمحلول المنظم القاعدي، وسنتناول فيما يأتي كل نوع منهما، ونوضح عمل المحلول المنظم عند إضافة الحمض القوي أو القاعدة القوية إليه.

١- المحلول المنظم الحمضي

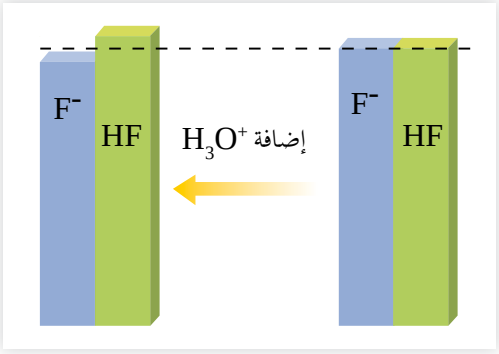
يعتمد عمل المحلول المنظم الحمضي على وجود كل من الحمض الضعيف وقاعدته المرافقة وكذلك على النسبة بين تركيزيهما، وكي نوضح عمله عند إضافة كمية قليلة من الحمض القوي أو القاعدة القوية إليه؛ سندرس المحلول المنظم المكوّن من حمض الهيدروفلوريك HF وقاعدته المرافقة F^-، إذا كان لهما التركيز نفسه، وكانا في حالة اتزان كما هو مبيّن في المعادلة الآتية:

$$HF_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons F^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

يقاوم المحلول المنظم التغير في pH عن طريق التخلص من H_3O^+ أو OH^- المضاف إليه. فعند إضافة الحمض القوى مثل HCl فإنه يتأين كليًّا في المحلول منتجًا أيونات H_3O^+، وهذه الأيونات تتفاعل مع القاعدة المرافقة F^- ويتكوَّن الحمض HF كما في المعادلة الآتية:

$$H_3O^+_{(aq)} + F^-_{(aq)} \longrightarrow H_2O_{(l)} + HF_{(aq)}$$

وبهذا يزداد تركيز الحمض HF، ويقل تركيز القاعدة F^-، لاحظ الشكل (١-٦)، وهكذا يتخلص المحلول من الزيادة الحاصلة في تركيز H_3O^+ نتيجة إضافة الحمض HCl، ولا يحدث تغير كبير على قيمة pH للمحلول.

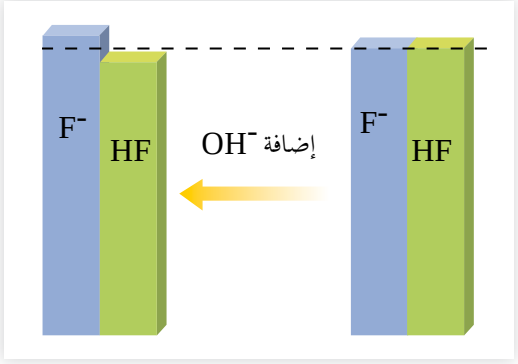


الشكل (١-٦): أثر إضافة حمض قوي مثل HCl إلى المحلول المنظم في تركيز كل من HF و F^- .

وأمـا عند إضـافة القاعدة القويـة NaOH فإنها تتأين في المحلول منتجـة أيونات OH^-، التي تتفاعل مع الحمض الضعيف HF في المحلول كما في المعادلة الآتية:

$$OH^-_{(aq)} + HF_{(aq)} \longrightarrow H_2O_{(l)} + F^-_{(aq)}$$

و هـذا يقلـل من تركيز الحمض HF، ويتكوّن نتيجة لذلك القاعدة المرافقة F^- ويزداد تركيزها في المحلول، لاحظ الشكل (١-٧)، وبهذا يتخلص المحلول من الزيادة في تركيز OH^- الناتجة عن إضافة القاعدة القوية NaOH، ولا يحدث تغير كبير على قيمة pH للمحلول المنظم.



الشكل (١-٧): أثر إضافة قاعدة قوية مثل NaOH إلى المحلول المنظم في تركيز كل من HF و F^- .

سؤال

■ أيُّ المحاليل المكوّنة من أزواج المواد الآتية تصلح كمحاليل منظمة؟

- NaI/HI
- $NaNO_3/HNO_3$
- KClO/HClO
- N_2H_5Br/N_2H_4

٢- المحلول المنظم القاعدي

يتكـوّن المحلـول المنظم القاعدي من قاعدة ضـعيفة وحمضـها المرافق، مثـل القاعدة NH_3 والحمض المرافق NH_4^+، فالأيونات OH^- و NH_4^+ تكون في حالة اتزان مع جزيئات القاعدة غير المتأينة كما في المعادلة الآتية:

$$NH_{3\,(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وعند إضـافة حمض مثـل HCl إلى المحلول فإن أيونـات H_3O^+ الناتجة تتفاعل مع القاعدة NH_3 في المحلول على النحو الآتي:

$$H_3O^+_{(aq)} + NH_{3\,(aq)} \longrightarrow NH_4^+{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

وهذا يقلل تركيز القاعدة NH_3 فيتكون الحمض المرافق NH_4^+ ويزداد تركيزه، وبهذا يتخلص المحلول من الزيادة في تركيز H_3O^+، ولا تتأثر قيمة pH للمحلول المنظم بشكل ملموس.

سؤال

- وضّح كيف يقاوم المحلول المنظم (NH_4Cl / NH_3) التغير في قيمة pH عند إضافة كمية قليلة من قاعدة قوية مثل NaOH إليه.

ولتتمكن من حسـاب التغير في قيمة pH لمحلول منظم عند إضـافة الحمض القوي أو القاعدة القوية إليه، ادرس المثال الآتي:

مثال (٥)

محلـول منظـم يتكون من الحمض CH_3COOH والملـح CH_3COONa وتركيز كل منهما ٠,٥ مول/لتر، فإذا علمت أن قيمة Ka للحمض = ١,٨ × ١٠$^{-٥}$ احسب:

١) قيمة pH للمحلول المنظم.

٢) قيمة pH للمحلول عند إضافة ٠,١ مول من الحمض HCl إلى لتر من المحلول.

الحل

١) لحساب قيمة pH للمحلول المنظم:

نحسب أولًا $[H_3O^+]$ في المحلول، حيث يتفكك الحمض CH_3COOH وفقًا للمعادلة الآتية:

$$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

ويتفكك ملح إيثانوات الصوديوم كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3COONa_{(s)} \xrightarrow{H_2O} CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)}$$

يمكن إهمال مقدار ما يتأين من الحمض CH_3COOH واعتبار تركيزه ثابتًا (مساويًا لتركيزه الابتدائي)؛ وبهذا يكون مصدر أيونات CH_3COO^- هو تفكك الملح، و يكون تركيزها مساويًا لتركيز الملح. أي أن:

$[CH_3COOH] = [CH_3COOH]_{\text{الابتدائي}}$ = ٠,٥ مول/لتر.

$[CH_3COO^-] = [CH_3COONa]$ = ٠,٥ مول/لتر.

وبالتعويض في تعبير ثابت تأين الحمض الضعيف يمكن حساب $[H_3O^+]$ كما يأتي:

$$\frac{[CH_3COO^-]\,[H_3O^+]}{[CH_3COOH]} = Ka$$

ومنها:

$$\frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}\,Ka = [H_3O^+]$$

$$\frac{٠,٥}{٠,٥} \times ^{-٥}١٠ \times ١,٨ = [H_3O^+]$$

$$[H_3O^+] = ١,٨ \times ^{-٥}١٠$$

$$pH = - \text{لو } ١,٨ \times ^{-٥}١٠ = ٤,٧٤$$

٢) حساب pH عند إضافة ٠,١ مول من HCl.

عند إضافة ٠,١ مول من HCl إلى لتر من المحلول فإن أيونات H_3O^+ الناتجة تتفاعل مع أيونات CH_3COO^- ليتكون الحمض CH_3COOH وفق المعادلة الآتية:

$$H_3O^+ + CH_3COO^- \longrightarrow CH_3COOH + H_2O$$

وبالتالي، يقل تركيز أيونات CH_3COO^- بمقدار تركيز H_3O^+ المضاف، ويكون تركيزها الجديد كما يأتي:

$$[CH_3COO^-]_{\text{الجديد}} = [CH_3COO^-]_{\text{الابتدائي}} - [H_3O^+]_{\text{المضاف}}$$

$$= ٠,٥ - ٠,١ = ٠,٤ \text{ مول/لتر.}$$

وأما تركيز الحمض CH_3COOH؛ فإنه يزداد بمقدار تركيز H_3O^+ المضاف، ويكون تركيزه الجديد كما يأتي:

$$[CH_3COOH]_{\text{الجديد}} = [CH_3COOH]_{\text{الابتدائي}} + [H_3O^+]_{\text{المضاف}}$$

$$= ٠,٥ + ٠,١ = ٠,٦ \text{ مول/لتر.}$$

وبالتعويض في تعبير ثابت تأين الحمض الضعيف، نحصل على تركيز H_3O^+ في المحلول على النحو الآتي:

$$Ka = [H_3O^+] \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$$

$$[H_3O^+] = ١,٨ \times ١٠^{-٥} \times \frac{٠,٦}{٠,٤}$$

$$[H_3O^+] = ٢,٧ \times ١٠^{-٥} \text{ مول/لتر.}$$

$$pH = - \text{لو } ٢,٧ \times ١٠^{-٥}$$

$$pH = ٥ - \text{لو}٢,٧ = ٥ - ٠,٤٣ = ٤,٥٧$$

لاحظ أن إضافة ٠,١ مول من محلول HCl (حمض قوي) غيّر قيمة pH من ٤,٧٤ إلى ٤,٥٧ أي أنها سببت تغيرًا طفيفًا مقداره ٠,١٧ وحدة في قيمة pH للمحلول، وهذا التغير قليل نسبيًّا إذا قارنته بالتغير الذي يحدث بسبب إضافة الكمية نفسها من الحمض HCl للماء كما في النشاط (١-٢)، فقيمة pH للماء تغير من ٧ إلى ١ أي بمقدار ٦ وحدات.

سؤال

- احسب قيمة pH للمحلول المنظم في مثال (٥) عند إضافة ٠,١ مول من القاعدة NaOH إلى لتر من المحلول.
- محلول منظم حجمه لتر يتكون من القاعدة NH_3 تركيزها ٠,٣ مول/لتر والملح NH_4Cl تركيزه ٠,٤ مول/لتر. فإذا علمت أن K_b لـ $NH_3 = ١,٨ \times ١٠^{-٥}$ احسب:
  - pH للمحلول المنظم.
  - pH للمحلول عند إضافة ٠,٢ مول من الحمض HBr إلى المحلول.
  - pH للمحلول عند إضافة ٠,٢ مول من القاعدة KOH إلى المحلول.

تطبيقات حياتية

الدم محلول منظم

تؤدي المحاليل المنظمة دورًا مهمًّا في صحة أجسام الكائنات الحية. ويعد وجودها ضروريًّا لعمل أجهزة الجسم، وسير العمليات الحيوية فيه، ولأن الإنسان أكثر المخلوقات تنويعًا في الأطعمة، فالطماطم وعصائر الفواكه التي يتناولها الإنسان ذات خصائص حمضية، وبعض الخضروات مثل الخيار تكون ذات خصائص قاعدية، وهذا قد يؤثر في حموضة الدم وانتظام العمليات الحيوية فيه، إلا أن الدم يعد محلولًا منظمًا طبيعيًّا يتراوح الرقم الهيدروجيني له بين (٧,٣٥ – ٧,٤٥)؛ ويحتوي على عدة أنظمة من المحاليل المنظمة، التي تعمل على ضبط الرقم الهيدروجيني له عند هذه

الشكل (١-٨): عينة دم.

الحدود باستمرار، وأهم هذه المحاليل محلول حمض الكربونيك وأيون الكربونات الهيدروجينية (HCO_3^-/H_2CO_3)

$$H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+$$

فعنـد انخفاض تركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+ فـي الدم، يزداد تأين حمض الكربونيك H_2CO_3 لإنتـاج أيونـات H_3O^+ جديدة للمحافظة على تركيز ثابت من أيون الهيدرونيوم H_3O^+؛ فيبقى الرقم الهيدروجينـي (pH) للـدم ثابتًا عند ٧,٤ تقريبًا. وأما عند زيادة تركيز H_3O^+ فإنه يتفاعل مع الأيون HCO_3^-، ويتكون الحمض H_2CO_3 وهو ضـعيف التأيـن، فهو يتفكك في الرئة مكونًا الماء وثاني أكسـيد الكربـون CO_2 الذي يتم التخلص منه عن طريق التنفسـ (الزفير)، وبذلك يتخلص الدم من زيادة H_3O^+ فيه، ويبقى محافظًا على درجة حموضته.

للاسـتزادة يمكنك الرجوع إلى الشبكة المعلوماتية مستعينًا بالعبارات المفتاحية الآتية: المحاليل المنظمة في جسم الإنسان، Buffer Solutions in Human Body.

١) وضّح المقصود بكل مما يأتي:

الملح، التميّه، المحلول المنظم، الأيون المشترك.

٢) اكتب معادلة التأين لكل من الأملاح الآتية في الماء:

CH_3COONa ، KHS ، $NaBr$ ، NH_4Cl

٣) أيُّ الأملاح الآتية يتميّه في الماء، وأيها لا يتميّه؟

NH_4Cl ، $NaCN$ ، $LiCl$ ، CH_3COOK

٤) ما الحمض والقاعدة اللذان يكوّنان كلًّا من الأملاح الآتية عند تفاعلهما؟

KI ، $HCOONa$ ، NH_4NO_3 ، $NaOCl$

٥) صنّف محاليل الأملاح الآتية إلى حمضية وقاعدية ومتعادلة:

$LiBr$ ، N_2H_5Cl ، KNO_3 ، $NaCN$ ، KNO_2

٦) اكتب معادلات كيميائية توضح السلوك الحمضي أو القاعدي لمحاليل الأملاح الآتية:

أ) CH_3NH_3Cl ب) C_6H_5COOK

٧) احسب قيمة pH لمحلول الحمض HX الذي تركيزه ٠,٢ مول/لتر، علمًا بأن K_a للحمض $= ٢ \times ١٠^{-٥}$.

٨) احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول منظم مكوّن من محلول حمض البنزويك C_6H_5COOH الذي تركيزه ٠,٢ مول/لتر، ومحلول بنزوات الصوديوم C_6H_5COONa الذي تركيزه ٠,١ مول/لتر. علمًا بأن K_a للحمض $= ٦,٥ \times ١٠^{-٥}$.

٩) كم غرامًا من $NaNO_2$ يجب إضافتها إلى ١٠٠ مل من محلول HNO_2 بتركيز ٠,١ مول/لتر لتعطي محلولًا له pH = ٤؟ علمًا بأن K_a للحمض $HNO_2 = ٤ \times ١٠^{-٤}$ والكتلة المولية للملح $NaNO_2 =$ ٦٩ غ/مول.

١٠) محلـول منظم مكوّن من قاعدة ضـعيفة C_5H_5N تركيزهـا ٠,٣ مول/لتر، وملح C_5H_5NHBr تركيزه ٠,٣ مول/لتر. فإذا علمت أن Kb للقاعدة $C_5H_5N = ١,٧ \times ١٠^{-٩}$، أجب عما يأتي:

أ) ما صيغة الأيون المشترك؟

ب) احسب pH للمحلول المنظم.

جـ) كم تصبح قيمة pH عند إضافة ٠,٢ مول من HCl إلى لتر من المحلول المنظم.

١١) إذا احتوى الدم على المحلول المنظم المكون من H_2CO_3 / HCO_3^- وضّـح كيفية عمل الدم على مقاومة الزيادة في تركيز H_3O^+ فيه.

١٢) لديـك خمسـة محاليل مائية بتراكيز محدّدة. معتمدًا علـى المعلومات الواردة في الجدول، أجب عن الأسئلة الآتية:

المحلول	المعلومات	تركيز المحلول (مول/لتر)
HCN	$Ka = ٦,٢ \times ١٠^{-١٠}$	٠,٣
HNO_2	$[NO_2^-] = ١,١ \times ١٠^{-٢}$	٠,٣
NH_3	$[NH_4^+] = ١,٩ \times ١٠^{-٣}$	٠,٢
N_2H_5Cl	pH = ٤,٧	٠,٥
NH_4Cl	$[H_3O^+] = ١,٣ \times ١٠^{-٥}$	٠,٥

أ) ما قيمة pH لمحلول HCN؟

ب) احسب قيمة Kb لمحلول NH_3.

جـ) ما صيغة القاعدة المرافقة الأقوى؟

د) أي الحمضـين الموجوديـن فـي الجدول له أعلى Ka؟

هـ) أي المحلولين الملحيّين N_2H_5Cl أو NH_4Cl أقل قدرة على التميّه؟

و) مـاذا تتوقـع أن يحدث لقيمة pH لمحلول NH_3 عند إضـافة كمية مـن ملح NH_4Br إليه (تزداد ، تقل، تبقى ثابتة).

١٣- محلول منظم مكوّن من الحمض HZ تركيزه ٠,٤ مول/لتر وملح KZ تركيزه ٠,٥ مول/لتر، فإذا علمت أن Ka للحمض $= ٢ \times ١٠^{-٥}$ احسب:

أ) تركيز H_3O^+ للمحلول المنظم.

ب) كم غرامًا من NaOH الصلب يجب إذابتها في لتر من المحلول المنظم لتصبح قيمة pH للمحلول النهائي تساوي ٥. علمًا بأن الكتلة المولية لـ NaOH = ٤٠ غ/مول.

أسئلة الوحدة

١) اختر الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

(١) المادة التي تمثل حمض لويس فقط فيما يأتي، هي:

أ) Cl^- ب) NF_3 جـ) Cu^{2+} د) H_2O

(٢) أيُّ المواد الآتية تسلك كحمض في بعض التفاعلات وكقاعدة في تفاعلات أخرى؟

أ) $HCOO^-$ ب) SO_3^{2-} جـ) $CH_3NH_3^+$ د) HCO_3^-

(٣) تؤدي إضافة محلول الملح NH_4Cl إلى محلول NH_3 إلى:

أ) خفض قيمة pH ب) رفع قيمة pH

جـ) لا تتأثر قيمة pH د) تصبح pH = ٧

(٤) المحلول الذي له أعلى pH من بين المحاليل الآتية المتساوية في التراكيز هو:

أ) KBr ب) $NaNO_2$ جـ) $N_2H_5NO_3$ د) KOH

(٥) إذا كانت قيمة pH لمحلول مكوّن من الحمض HA والملح KA لهما التركيز نفسه تساوي ٤، فإن Ka للحمض يساوي:

أ) $١٠^{-٤}$ ب) $١٠^{-٨}$ جـ) ٤ د) $١٠^{-١٦}$

(٦) الرقم الهيدروجيني لخليط مكون من الحمض الضعيف HC (Ka = ٢×١٠^{-٥})، وملحه NaC لهما التركيز نفسه هو:

أ) ٥ ب) أكبر من ٥ جـ) أقل من ٥ د) ٧

(٧) ما أثر إضافة الملح KNO_2 إلى محلول HNO_2؟

أ) زيادة $[H_3O^+]$ ب) نقص $[H_3O^+]$

جـ) نقص قيمة pH د) نقص $[HNO_2]$

(٨) الرقم الهيدروجيني لمحلول الحمض HBr الذي تركيزه ١ مول/لتر يساوي:

أ) صفرًا ب) ١ جـ) ٢ د) ٤

٢) مستعينًا بالجدول المجاور لمجموعة من الحموض الافتراضية الضعيفة، أجب عن الأسئلة الآتية:

الحمض	Ka
HX	$٦,٣ \times ١٠^{-٥}$
HY	$٤,٥ \times ١٠^{-٤}$
HZ	$١,٨ \times ١٠^{-٥}$
HQ	$١,٧ \times ١٠^{-٤}$

أ) اكتب صيغة القاعدة المرافقة للحمض الأضعف.

ب) أيُّ المحلولين HY أم HQ يكون تركيز H_3O^+ فيه أقل إذا كان لهما التركيز نفسه؟

جـ) احسب pH للحمض HX الذي تركيزه ٠,٠٢ مول/لتر.

د) احسب الرقم الهيدروجيني للمحلول المنظم الذي حُضّر بإذابة ٠,٠١ مول من الملح KY في ٥٠٠ مل من محلول الحمض HY الذي تركيزه ٠,٠١ مول/لتر .

هـ) حُضّر محلول منظم بإذابة ٢,٣١٢ غ من الملح NaQ في ٢٠٠ مل من محلول الحمض HQ . فإذا علمت أن الرقم الهيدروجيني للمحلول المنظم = ٤، والكتلة المولية لـ NaQ = ٦٨ غ/مول. احسب تركيز الحمض HQ.

و) ما صيغة الأيون المشترك للمحلول المنظم المكون من الحمض HZ والملح KZ؟

٣) بيّن أثر إضافة كل من المواد الآتية في قيمة pH للمحلول (تقل، تزداد، تبقى ثابتة):

أ) مول من KCl إلى ٥٠٠ مل من محلول KOH.

ب) مول من LiBr إلى ٥٠٠ مل من محلول HBr.

جـ) مول من NaCN إلى ٥٠٠ مل من محلول HCN.

د) مول من CH_3NH_3Cl إلى ٥٠٠ مل من محلول CH_3NH_2.

٤) مستعينًا بالجدول المجاور لمجموعة من القواعد الضعيفة التي لها التركيز نفسه، أجب عن الأسئلة الآتية:

القاعدة	Kb
NH_3	$١,٨ \times ١٠^{-٥}$
CH_3NH_2	$٤,٤ \times ١٠^{-٤}$
C_5H_5N	$١,٧ \times ١٠^{-٩}$
N_2H_4	$١,٣ \times ١٠^{-٦}$
$C_6H_5NH_2$	$٣,٨ \times ١٠^{-١٠}$

أ) ما صيغة القاعدة الأقوى؟

ب) ما صيغة الحمض المرافق الذي له أقل pH؟

جـ) احسب قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) لمحلول $C_6H_5NH_2$ ذي التركيز ٠,١ مول/لتر.

د) أكمل المعادلة الآتية، وحدّد زوجي الحمض والقاعدة المترافقين فيها:

$$CH_3NH_2 + NH_4^+ \rightleftharpoons \text{.....} + \text{.....}$$

هـ) كم غرامًا من N_2H_5Cl يجب إضافتها إلى ٤٠٠ مل من محلول N_2H_4 بتركيز ٠,٤ مول/لتر لتصبح قيمة pH للمحلول تساوي ٨,٤٢؟ مع العلم أن الكتلة المولية للملح N_2H_5Cl = ٦٩ غ/مول.

و) كم تصبح قيمة pH للمحلول السابق إذا أضيف إليه ٠,٠٤ مول من الحمض HCl؟

٥) فسّر مستعينًا بالمعادلات، كلًّا مما يأتي:

أ) التأثير الحمضي لمحلول الملح NH_4NO_3.

ب) التأثير القاعدي لمحلول الملح NaOCl.

جـ) التأثير القاعدي للأمينات RNH_2 حسب مفهوم لويس.

٦) الجدول الآتي يبيّن عددًا من المحاليل الافتراضية وقيم pH لها، أي هذه المحاليل يمثل:

المحلول الافتراضي	A	B	C	D	E	F
pH	٤,٥	٨,٧	٠	٧	١٢	٦

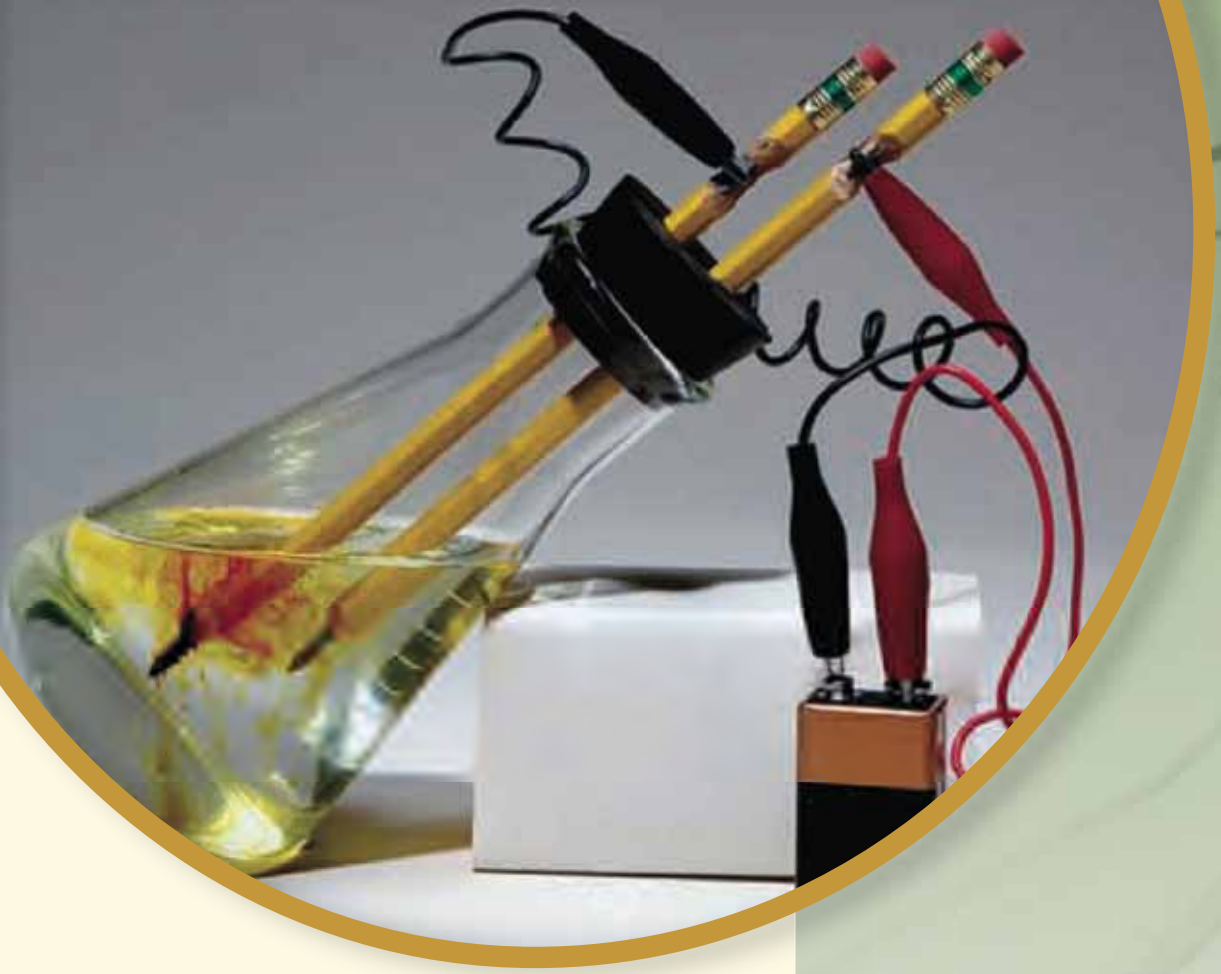
أ) القاعدة الأقوى.

ب) محلول NaCl.

جـ) محلول HNO_3 الذي تركيزه ١ مول/لتر.

د) قاعدة $[OH^-]$ فيها = ٥×١٠^{-٦} مول/لتر.

هـ) حمض $[H_3O^+]$ فيه = ٣×١٠^{-٥} مول/لتر.



الوحدة الثانية ٢

التأكسد والاختزال والكيمياء الكهربائية

- التأكسد والاختزال
- الخلايا الكهركيميائية

- ما دور الكيمياء الكهربائية في استخلاص العناصر من أملاحها؟

التأكسد والاختزال

Oxidation and Reduction

تعـد تفاعـلات التأكسد والاختزال مـن التفاعلات المهمـة التي تحدث في حياتنـا، فالطعام الـذي نتناولـه يتأكسد فـي أجسامنا ليمدنا بالطاقـة اللازمة للعمليات الحيويـة المختلفة، ووسائل النقـل بأنواعها تتحرك بالطاقة الناتجة عن تأكسد الوقـود عند احتراقه داخل محركاتها، والفلزات كالحديـد والألمنيوم يتم استخلاصها باختزال أيوناتهـا من خاماتها باستخدام عوامل مختزلة. فما المقصـود بالتأكسـد والاختزال؟ وما المقصـود بالعوامل المؤكسدة والعوامـل المختزلة؟ وكيف يمكن موازنة معادلات التأكسد والاختزال؟

يمكنك الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- توضّـح المقصـود بكل من المفاهيـم الآتية: التأكسـد، والاختزال، وعـدد التأكسد، والعامل المؤكسد، والعامل المختزل، والتأكسد والاختزال الذاتي.
- تحسب عدد التأكسد لذرات العناصر في المركبات المختلفة.
- توازن معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل.
- تعطي أمثلة على استخدامات تفاعلات التأكسد والاختزال في الحياة.

أولًا

مفهوم التأكسد والاختزال

درست في الصف التاسع تفاعلات التأكسد والاختزال، وعرفت أن مفهوم التأكسد كان يُستخدم في البداية لوصف اتحاد العناصر بالأكسجين، كما استخدم مفهوم الاختزال ليصف نزع الأكسجين من خامات أكاسيد العناصر. وعرفت أيضًا أنه يمكن التعبير عن التأكسد والاختزال عن طريق فقد أو كسب الإلكترونات. ولتتذكر ذلك، ادرس المعادلة الآتية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

$$Ni + Cu^{2+} \longrightarrow Ni^{2+} + Cu$$

- ما التغير الذي حدث على ذرة Ni؟
- ما التغير الذي حدث على أيون Cu^{2+}؟

لاحظ أن ذرة النيكل فقدت إلكترونين وتحولت إلى أيون النيكل Ni^{2+}، كما في المعادلة الآتية:

$Ni \longrightarrow Ni^{2+} + 2e^-$ (نصف تفاعل التأكسد)

واكتسب أيون النحاس هذين الإلكترونين ليتحول إلى ذرة متعادلة Cu على النحو الآتي:

$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$ (نصف تفاعل الاختزال)

يطلق على عملية فَقْدِ المادة للإلكترونات أثناء التفاعل **التأكسد** ويطلق على عملية اكتساب المادة للإلكترونات أثناء التفاعل **الاختزال**. لاحظ أن عدد الإلكترونات التي اكتسبتها أيونات Cu^{2+} في المعادلة يساوي عدد الإلكترونات التي فقدتها ذرات Ni. ويمكن كتابة معادلة التفاعل الكلي بجمع نصفي التفاعل كالآتي:

$Ni \longrightarrow Ni^{2+} + 2e^-$ (نصف تفاعل التأكسد)

$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$ (نصف تفاعل الاختزال)

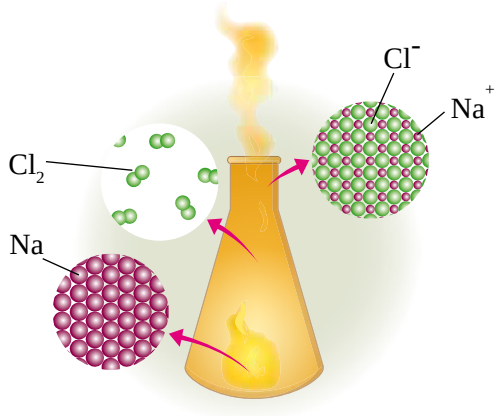
$Ni + Cu^{2+} \longrightarrow Ni^{2+} + Cu$ (التفاعل الكلي)

سؤال

- يتفاعل الكلور مع الصوديوم لإنتاج كلوريد الصوديوم حسب المعادلة الآتية:

$$2Na + Cl_2 \longrightarrow 2NaCl$$

- حدّد ذرة العنصر التي تأكسدت وذرة العنصر التي اختُزِلت في التفاعل.
- اكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال في التفاعل.

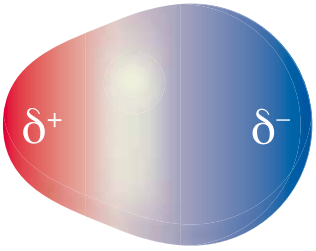


الشكل (٢–١): تفاعل الصوديوم مع الكلور لإنتاج كلوريد الصوديوم.

والسؤال الآن: هل جميع تفاعلات التأكسد والاختزال تتضمن انتقالًا كاملًا للإلكترونات؟ لتتعرّف ذلك، ادرس التفاعل الآتي:

$$H_2 + F_2 \longrightarrow 2HF$$

لاحظ أن الرابطة في جزيء HF الناتج من التفاعل هي رابطة تساهمية، وبسبب اختلاف الكهرسلبية بين ذرتي H وF فإن الإلكترونات تنزاح للذرة الأعلى كهرسلبية (F)؛ فتكتسب شحنة جزئية سالبة، و تكتسب ذرة H شحنة جزئية موجبة؛ لذا تكون الرابطة التساهمية الناتجة قطبية كما في الشكل (٢–٢).



$H - F$

الشكل (٢–٢): الرابطة القطبية في جزيء HF.

وبسبب هذا الانزياح الجزئي لإلكترونات الرابطة يمكن اعتبار هذا النوع من التفاعلات "تفاعل تأكسد واختزال" رغم عدم فقْدِ الإلكترونات أو اكتسابها كليًّا، الأمر الذي يشير إلى قصور في تعريف التأكسد والاختزال بأنهما خسارة أو كسب الإلكترونات؛ لذا أصبح من الضروري الحديث عن مفهوم آخر أكثر شمولًا، ليعبّر عن تفاعلات التأكسد والاختزال، وهو مفهوم عدد التأكسد. فما المقصود بعدد التأكسد؟ وكيف نعبّرعن تفاعلات التأكسد والاختزال في ضوء عدد التأكسد؟

١– عدد التأكسد

يعرف عدد التأكسد بأنه **الشحنة الفعلية لأيون الذرة في المركبات الأيونية**، أما في المركبات الجزيئية

فيعـرّف بأنه **الشحنـة التي يُفترض أن تكتسبها الـذرة المكوّنة للرابطة التساهمية مـع ذرة أخرى فيما لو كسبت الذرة التي لها أعلى كهرسلبية إلكترونات الرابطة كليًّا وخسرت الأخرى هذه الإلكترونات.** وبناءً على ذلك، يكون عدد تأكسد F في جزيء HF هو −١، وعدد تأكسد H هو +١

وكي تُحدد أعداد التأكسد للذرات في المركبات المختلفة، عليك مراعاة القواعد الآتية:

أ − عدد تأكسد الذرة في العناصر الحرة سواء أكانت ذرات أم جزيئات، يساوى صفرًا، مثل: $A1_{(s)}$، $N_{2(g)}$ ، $Zn_{(s)}$ ، $O_{2(g)}$.

ب− عدد تأكسد الذرة في الأيون أحادي الذرة يساوي شحنة الأيون، مثل: Na^{+} = +١، وN^{3-} = −٣، وO^{2-} = −٢

جـ−أعـداد تأكسـد ذرات عناصـر المجموعـة الأولـى (القلويات) في الجـدول الدوري والمجموعـة الثانية (القلويـات الترابية) والألمنيوم تكون موجبـة، وهي على التوالي +١، +٢، +٣، ومن الأمثلة على المجموعة الأولى: Li^{+}، Na^{+}، K^{+}، وعلى المجموعة الثانية: Mg^{2+}، Ca^{2+}، Ba^{2+}.

د− عـدد تأكسد الهيدروجين في جميع المركبات يساوي +١، باستثناء هيدريدات الفلزات، إذ يكون عدد تأكسده −١، مثل: LiH ، CaH_2.

هـ− عدد تأكسد الأكسجين في مركباته يساوي −٢، ما عدا بعض الحالات مثل فوق الأكاسيد فيكـون عدد تأكسده −١ مثل: فـوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 وفـوق أكسيد الباريوم BaO_2. أما مع الفلور فيكون عدد تأكسده في جزيء OF_2 = +٢.

و− عـدد تأكسـد ذرات عناصر المجموعـة السابعـة (الهالوجينات) في المركبـات الأيونية يسـاوي −١، مثـل: MgI_2 ، NaBr ، NH_4Cl . ويكون موجبًا في المركبات التي تحتوى على الأكسجين مثل: HClO ، أما الفلور فعدد تأكسده في مركباته دائما −١ مثل: HF.

ز− مجموع أعداد التأكسد لجميع الذرات في المركب المتعادل يساوي صفرًا، مثل Na_2CO_3.

ح− مجمـوع أعـداد التأكسد لجميع الذرات في الأيون متعدد الذرات يساوي شحنة الأيون، مثل: HSO_4^{-}.

والآن كيـف يمكـن الاستفـادة مـن القواعد السابقـة في حساب عـدد التأكسـد للذرات في المركبات؟ لتوضيح ذلك، ادرس المثالين الآتيين:

مثال (١)

ما عدد تأكسد المنغنيز Mn في كل من:

١) MnO_2 ٢) MnO_4^-

الحل

١) MnO_2

اعتمادًا على القواعد السابقة يكون عدد تأكسد الأكسجين = −٢

وبما أن المركب متعادل؛ فإن مجموع عددي التأكسد لذرتي الأكسجين وذرة المنغنيز يساوي صفرًا. لذا يمكن حساب عدد تأكسد المنغنيز على النحو الآتي:

مجموع أعداد التأكسد في المركب = (عدد ذرات الأكسجين× عدد تأكسده) + (عدد ذرات المنغنيز×عدد تأكسده)

$$(س \times ١) + (٢- \times ٢) = ٠$$

$$س + ٤- = ٠$$

$$س = +٤$$

∴ عدد تأكسد Mn يساوي +٤

٢) MnO_4^-

لاحظ أن مجموع أعداد التأكسد لجميع الذرات في الأيون MnO_4^- = −١

مجموع أعداد التأكسد في الأيون MnO_4^- = (عدد ذرات الأكسجين × عدد تأكسده) + (عدد ذرات المنغنيز×عدد تأكسده)

$$(س \times ١) + (٢- \times ٤) = ١-$$

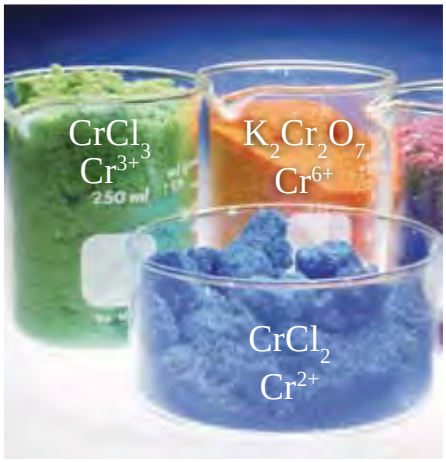
$$س + ٨- = ١-$$

$$س = -١ + ٨ = +٧$$

∴ عدد تأكسد Mn يساوي +٧

لاحظ أن عدد تأكسد المنغنيز في MnO_2 هو +٤ وعدد تأكسده في MnO_4^- هو +٧، مما يشير إلى أنه قد يكون لذرات العنصر الواحد أكثر من عدد تأكسد في مركباته المختلفة. انظر الشكل

(٢–٣)، الذي يبيّن اختلاف أعداد تأكسد عنصر الكروم في أملاحه.



الشكل (٢–٣): اختلاف أعداد تأكسد الكروم في أملاحه.

مثال (٢)

ما عدد تأكسد الكلور في $HClO_4$

الحل

٠ = (عدد ذرات الأكسجين × عدد تأكسده) + (عدد ذرات الكلور×عدد تأكسده) + (عدد ذرات الهيدروجين×عدد تأكسده)

٠ = (٤×−٢) + (١ × س) + (١×+١)

٠ = −٨ + س + ١

٠ = −٧ + س

❖ عدد تأكسد Cl يساوي +٧

سؤال

■ ما عدد تأكسد الذرة التي تحتها خط في كل مما يأتي:

$\underline{B}F_3$, $K\underline{Cl}O_3$, $\underline{Cr}_2O_7^{2-}$, $H\underline{P}O_4^{2-}$

٢– مفهوم التأكسد والاختزال بالاعتماد على عدد التأكسد

لقد استدعى تغيير مفهومي التأكسد والاختزال بما يتلاءم ومفهوم عدد التأكسد إلى تغيير طريقة

التعبيـر عن مفهـوم التأكسد والاختزال. ولتتعـرّف ذلك، ادرس التفاعـل الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

$$Zn + 2Ag^{+} \longrightarrow Zn^{2+} + 2Ag$$

- حدّد المادة التي اختُزِلت والمادة التي تأكسدت، ثم اكتب معادلات أنصاف التفاعلات.
- ما عدد تأكسد كل من Zn و Ag في المواد المتفاعلة؟
- ما عدد تأكسد كل من Zn و Ag في المواد الناتجة؟
- كيف تغير عدد تأكسد Zn وعدد تأكسد Ag في التفاعل؟

يتضـح مـن التفاعـل السابـق أن ذرات الخارصين Zn قـد فقدت الإلكترونـات – أي أنها تأكسدت– ويمكن تمثيل عملية التأكسد بنصف التفاعل الآتي:

(نصف تفاعل التأكسد) $Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$

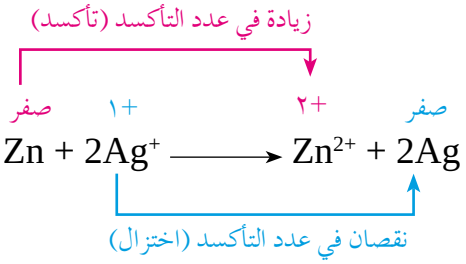
لاحظ أن عدد تأكسد Zn قد تغير من صفر إلى +٢ أي أنه ازداد بمقدار ٢

كمـا يتضـح أيضا أن أيونات الفضة Ag^{+} قد اكتسبت الإلكترونات –أي أنها اختُزِلت– كما في نصف التفاعل الآتي:

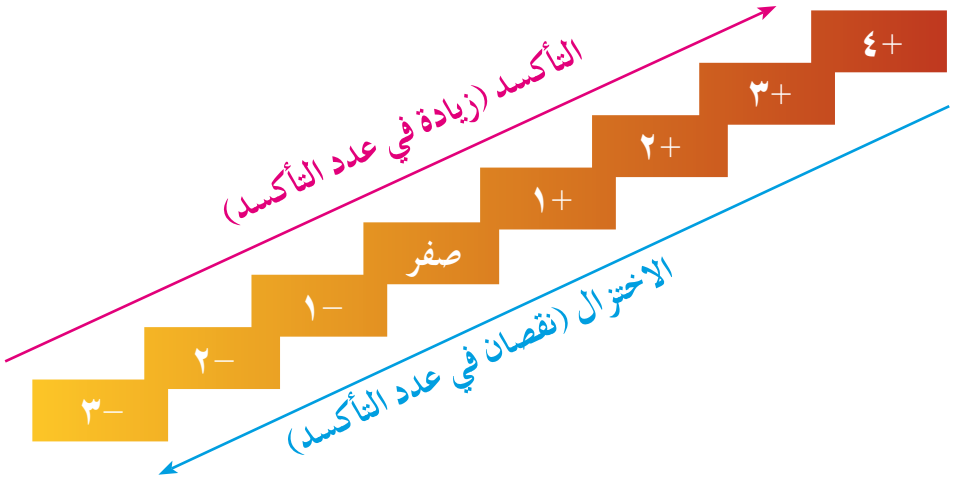
(نصف تفاعل الاختزال) $Ag^{+} + e^{-} \longrightarrow Ag$

لاحظ أن عدد تأكسد Ag قد تغير من +١ إلى صفر أي أنه نقص بمقدار ١

وبناءً على ذلك، فإن تفاعلات التأكسد والاختزال يرافقها تغير في أعداد التأكسد لبعض ذرات العناصـر في التفاعل، إذ يزداد عدد التأكسد للـذرات التي تتأكسد، في حين يقل عدد التأكسد للذرات التي تُختزل.



وبهـذا يمكـن تحديد الذرات التي تأكسدت والتي اختُزِلت في التفاعل بمعرفة التغير في أعداد تأكسدها. لاحظ الشكل (٢–٤).



الشكل (٢−٤): علاقة التأكسد والاختزال بعدد التأكسد.

مثال (٣)

ادرس المعادلة الآتية: $Fe_2O_3 + 3CO \longrightarrow 2Fe + 3CO_2$

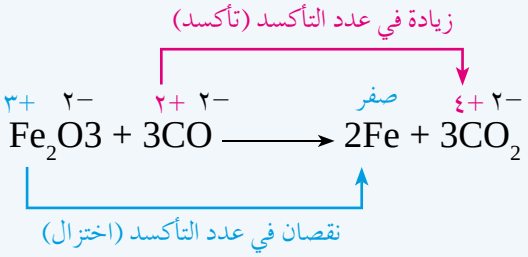
ثم بيّن الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختُزِلت باستخدام التغير في أعداد التأكسد.

الحل

في البداية نحدد عدد تأكسد كل ذرة في المواد المتفاعلة والناتجة:

$$\overset{٣+\ ٢-}{Fe_2O_3} + \overset{٢+\ ٢-}{3CO} \longrightarrow \overset{\text{صفر}}{2Fe} + \overset{٤+\ ٢-}{3CO_2}$$

ثم نحدد التغير في عدد التأكسد لتحديد أي الذرات قد تأكسدت، وأيها قد اختُزِلت.



لاحظ أن عدد تأكسد الحديد قد تغير من +٣ إلى صفر؛ أي نقص بمقدار ٣، وهذا يعني أنه اختُزِل، في حين تغير عدد تأكسد الكربون من +٢ إلى +٤؛ أي ازداد بمقدار ٢؛ مما يدل على أنه قد تأكسد.

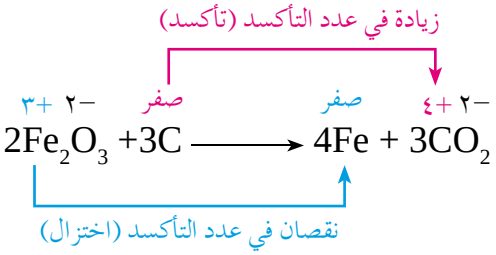
■ حـدّد الـذرات التـي تأكسدت والـذرات التي اختُزِلت فـي كل من المعادلتيـن الآتيتين بالاعتماد على التغير في عدد التأكسد:

$$SnO_2 + 2C \longrightarrow Sn + 2CO$$

$$MnO_2 + 4HCl \longrightarrow MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O$$

ثانيًا العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة

عنـد استخلاصـ الحديد من خام الهماتيـت Fe_2O_3 فإنه يتم تحويل أيونـات الحديد Fe^{3+} إلى ذرات الحديـد Fe المتعادلـة، وهـذه العملية تحتاج إلـى أن يكتسب أيـون Fe^{3+} ثلاثة إلكترونات ليتحـول إلى ذرة Fe متعادلة، وكي تكتسب أيونات الحديد هذه الإلكترونات لابد من وجود مادة أخـرى تعطيها الإلكترونات التي تحتاجها (تختزلها)، مثل ذرات الكربون، فالكربون هنا تأكسد، ولكنه اختَزل أيونات الحديد. وأيونات الحديد اختُزِلت، ولكنها أكسدت الكربون. ويمكن تمثيل التفاعل الكلي بين Fe_2O_3 والكربون، كما في المعادلة الآتية:



وإذا تفحصت المعادلة تجد أن Fe_2O_3 عامل مؤكسد؛ لأنه تسبب في أكسدة الكربون، في حين أن الكربـون عامل مختـزل؛ لأنه اختزل Fe^{3+} . وعليه فإنه يمكن تعريف **العامـل المؤكسد بأنه المادة التـي يحدث لها اختزال في التفاعـل، وتتسبب في أكسدة غيرها**، أما **العامل المختزل فهو المادة التي تتأكسد فـي التفاعـل وتتسبب في اختزال غيرها**. ولتتعرّف كيفية تحديد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعلات، ادرس المثالين الآتيين:

مثال (٤)

حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:

$$2Al + 3CuCl_2 \longrightarrow 3Cu + 2AlCl_3$$

الحل

في البداية نحدد أعداد التأكسد للذرات في المواد المتفاعلة والناتجة.

$$\overset{\text{صفر}}{2Al} + \overset{+2\ -1}{3CuCl_2} \longrightarrow \overset{\text{صفر}}{3Cu} + \overset{+3\ -1}{2AlCl_3}$$

لاحظ أن عدد تأكسد الألمنيوم Al زاد بمقدار ٣؛ أي أنه تأكسد؛ لذا يعد Al عاملًا مختزلًا، بينما نَقَص عدد تأكسد النحاس بمقدار ٢، أي أنه اختُزِل؛ لذا يعد $CuCl_2$ عاملًا مؤكسدًا.

زيادة في عدد التأكسد / تأكسد/عامل مختزل

$$\overset{\text{صفر}}{2Al} + \overset{+2\ -1}{3CuCl_2} \longrightarrow \overset{+3\ -1}{2AlCl_3} + \overset{\text{صفر}}{3Cu}$$

نقصان في عدد التأكسد /اختزال/عامل مؤكسد

ورغم أن التأكسد أوالاختزال قد يحدث لذرة واحدة في المركب أو الأيون متعدد الذرات، إلا أن كامل المركب أو الأيون متعدد الذرات يُعد العامل المؤكسد، أو العامل المختزل. ففي المثال السابق اختُزِلت ذرات النحاس ولم يحدث تغيّر على ذرات الكلور ومع ذلك تم اعتبار المركب $CuCl_2$ كاملًا العامل المؤكسد.

مثال (٥)

هل يحتاج حدوث نصف التفاعل الآتي لعامل مؤكسد أم لعامل مختزل.

$$Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni$$

الحل

لحل هذا السؤال، نحتاج أولًا إلى تحديد طبيعة نصف التفاعل، وبتفحصه نجد أنه نصف تفاعل اختزال؛ لأن أيونات النيكل قد اختُزِلت فيه، وكي يتم اختزال هذه الأيونات، فلا بد من وجود عامل مختزل يختزلها؛ لذا فإن نصف التفاعل يحتاج إلى عامل مختزل.

سؤال

- حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعلين الآتيين:

$$ZnSO_4 + Mg \longrightarrow Zn + MgSO_4$$

$$2FeCl_3 + SnCl_2 \longrightarrow 2FeCl_2 + SnCl_4$$

- أيٌّ نصفي التفاعلين الآتيين يحتاج إلى عامل مؤكسد؟ وأيهما يحتاج إلى عامل مختزل؟

$$Cr^{3+} + 3e^- \longrightarrow Cr$$

$$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

ومن الجدير بالذكر، أن هناك مواد تسلك كعوامل مؤكسدة في بعض التفاعلات، وعوامل مختزلة في تفاعلات أخرى. و يحدد ذلك طبيعة المواد التي تتفاعل معها، فمثلًا يسلك الهيدروجين كعامل مختزل عند تفاعله مع الأكسجين، كما في التفاعل الآتي:

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

في حين يسلك كعامل مؤكسد عندما يتفاعل مع الليثيوم:

$$H_2 + 2Li \longrightarrow 2LiH$$

سؤال

- في أي التفاعلين الآتيين يكون سلوك النيتروجين N_2 كعامل مؤكسد، وفي أيهما يكون سلوكه كعامل مختزل:

$$N_2 + 2O_2 \longrightarrow 2NO_2$$

$$N_2 + 3H_2 \longrightarrow 2NH_3$$

ويمكن أن تسلك بعض المواد كعامل مؤكسد وكعامل مختزل في التفاعل نفسه، فمثلًا: يتحلل فوق أكسيد الهيدروجين لينتج الماء وغاز الأكسجين، وفق المعادلة الآتية:

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

- ما عدد تأكسد كل ذرة في التفاعل؟
- أي الذرات تأكسدت؟ وأيها اختُزِلت؟

● حدّد العامل المختزل والعامل المؤكسد؟

عنـد تحديـد أعداد التأكسد للـذرات في المعادلـة السابقة نلاحظ أن الأكسجيـن هو العنصر الوحيد الذي حدث له تغيّر في عدد تأكسده، إذ يتغيّر من −١ في أحد جزيئات H_2O_2 إلى −٢ في H_2O، أي يحـدث اختـزال لذرة الأكسجين ، ويعد H_2O_2 عاملًا مؤكسدًا. وفي الوقت نفسه، يتغير عـدد تأكسـد الأكسجين من −١ في جزيء آخر من H_2O_2 إلى صفر في O_2، أي يحدث له تأكسد، ويُعَـدّ H_2O_2 في هذه الحالة عاملًا مختزلًا. لاحـظ أن H_2O_2 سلك كعامل مؤكسد وكعامل مختزل في التفاعل نفسه. ويسمى هذا النوع من التفاعلات **التأكسد والاختزال الذاتي**.

زيادة في عدد التأكسد / تأكسد /عامل مختزل

صفر

$$\overset{+1\ -1}{2H_2O_2} \longrightarrow \overset{+1\ -2}{2H_2O} + \overset{0}{O_2}$$

نقصان في عدد التأكسد / اختزال /عامل مؤكسد

سؤال

■ بيّن سلوك البروم Br_2 كعامل مؤكسد وكعامل مختزل في التفاعل الآتي:

$$2OH^- + Br_2 \longrightarrow BrO^- + Br^- + H_2O$$

ثالثًا موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل (أيون -إلكترون)

درسـت في الصـف العاشر، أن المعادلة الكيميائية الموزونة هـي تعبير بالرموز والأرقام يعطي وصفًـا لتفاعـل كيميائي معيـن، وعرفت أهميتها فـي الحسابات الكيميائيـة المختلفة. ودرست أيضًـا كيفية موازنة المعادلات الكيميائية بطريقة المحاولة والخطأ. وكي تكون المعادلة الكيميائية موزونة، فلابد من تحقق شرطين هما:

- **قانون حفظ المادة**، وينص على: تساوي أعداد الذرات وأنواعها في طرفي المعادلة الكيميائية.
- **قانـون حفـظ الشحنـة الكهربائيـة**، وينص على: تسـاوي المجموع الجبـري للشحنات في طرفي المعادلة.

ففي المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$2Ag^{+} + Ni \longrightarrow 2Ag + Ni^{2+}$$

نلاحـظ أن عـدد ذرات الفضة في طرفي المعادلة يساوي ٢، وعـدد ذرات النيكل يساوي ١، وكذلك فإن الشحنة الكهربائية في الطرفين تساوي +٢

سؤال

- وازن المعادلـة الكيميائيـة الآتيـة بطريقة المحاولة والخطأ، ثـم تحقّق من قانوني حفظ المادة والشحنة في طرفي المعادلة.

$$Al + Cl_2 \longrightarrow AlCl_3$$

- لماذا تعد المعادلة الكيميائية الآتية معادلة غير موزونة؟

$$Cu + Au^{3+} \longrightarrow Cu^{2+} + Au$$

والآن، حاول موازنة المعادلة الآتية بطريق المحاولة والخطأ:

$$Cr_2O_7^{2-} + C_2H_6O \longrightarrow Cr^{3+} + CO_2$$

لابـد أنك توصلت إلى صعوبة موازنة هذه المعادلة بطريقة المحاولة والخطأ، فهناك عدد كبير من تفاعلات التأكسد والاختزال التي يصعب موازنتها بهذه الطريقة؛ لذا لجأ العلماء إلى اقتراح عدة طرائق لموازنة هذه التفاعلات كطريقة نصف التفاعل (أيون – إلكترون)، وهي تعتمد على فصـل معادلة التفاعل الكليـة إلى نصفين: نصف تفاعل التأكسـد، ونصف تفاعل الاختزال، ثم موازنـة كل نصف تفاعل على حدة. وبعد ذلك مساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة فـي نصفـي التفاعل ثم جمع النصفين؛ لنحصل على المعادلة النهائية الموزونة. ولتوضيح ذلك، ادرس المثال الآتي:

مثال (٦)

وازن معادلة التفاعل الآتية: $Al + Cu^{2+} \longrightarrow Al^{3+} + Cu$

الحل

١) في البداية نقسم التفاعل إلى نصفين؛ اعتمادًا على المواد المتفاعلة والناتجة:

$$Al \longrightarrow Al^{3+}$$

$$Cu^{2+} \longrightarrow Cu$$

٢) نوازن ذرات العناصر والشحنة الكهربائية: لاحظ أن عدد تأكسد الألمنيوم زاد بمقدار ٣ نتيجة فقدِه ثلاثة إلكترونات – أي تأكسد – لذا نضع ثلاثة إلكترونات مع المواد الناتجة على النحو الآتي:

(نصف تفاعل التأكسد) $Al \longrightarrow Al^{3+} + 3e^-$

أمـا عدد تأكسد النحاس فقـد نقص بمقدار ٢ نتيجة اكتسابه لإلكترونين– أي اختُزِل – لذا نضع إلكترونين مع المواد المتفاعلة كالآتي:

(نصف تفاعل الاختزال) $Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$

٣) نسـاوي عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة: لاحظ أن عدد الإلكترونات المفقودة فـي نصف تفاعـل التأكسد = ٣، بينما عـدد الإلكترونات المكتسبـة في نصف تفاعل الاختـزال = ٢. وكـي تكـون المعادلـة الكيميائيـة موزونـة، فـلا بد من مسـاواة عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة. لذا نضرب المعادلة الأولى بـ ٢ والثانية بـ٣

$$2(Al \longrightarrow Al^{3+} + 3e^-)$$

$$3(Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu)$$

٤) نجمع نصفي التفاعل للحصول على معادلة التفاعل الموزونة:

$$2Al \longrightarrow 2Al^{3+} + \cancel{6e^-}$$

$$3Cu^{2+} + \cancel{6e^-} \longrightarrow 3Cu$$

$$2Al + 3Cu^{2+} \longrightarrow 2Al^{3+} + 3Cu$$

وتجدر الإشارة إلى أن عددًا كبيرًا من تفاعلات التأكسد والاختزال تحدث في محاليل حمضية وقاعدية، فهل تختلف موازنة هذه التفاعلات عما درسته في المثال السابق؟

١ – موازنة المعادلات في وسط حمضي

للماء وأيونات الهيدروجين H^+ دور هام في موازنة المعادلات الكيميائية في الوسط الحمضي، إذ تختلف موازنة المعادلات باختلاف الوسط الذي يجرى فيه التفاعل. ولتتعرّف كيفية موازنة المعادلات الكيميائية في وسط حمضي سنعود إلى المعادلة التي حاولت موازنتها بطريقة المحاولة والخطأ ولم تتمكن من ذلك، ونحاول موازنتها في وسط حمضي كما يأتي:

مثال (٧)

وازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في وسط حمضي.

$$Cr_2O_7^{2-} + C_2H_6O \longrightarrow Cr^{3+} + CO_2$$

الحل

١) في البداية نقسم التفاعل إلى نصفي تفاعل بالاعتماد على المواد المتفاعلة والناتجة:

$$C_2H_6O \longrightarrow CO_2$$

$$Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow Cr^{3+}$$

٢) نوازن كل نصف تفاعل على النحو الآتي:

أ) نوازن ذرات العناصر عدا الأكسجين والهيدروجين. لاحظ أن عدد ذرات الكربون في نصف التفاعل الأول غير متساو في الطرفين؛ لذا نساوي عدد ذرات الكربون في طرفي المعادلة كالآتي:

$$C_2H_6O \longrightarrow 2CO_2$$

ب) نوازن ذرات الأكسجين بإضافة عدد من جزيئات الماء H_2O يساوي الفرق في ذرات الأكسجين بين المواد المتفاعلة والناتجة، إلى الطرف الذي يحتوي أقل عدد من ذرات الأكسجين. ففي نصف التفاعل السابق لاحظ أن عدد ذرات الأكسجين في المواد المتفاعلة = ١ وعددها في المواد الناتجة = ٤؛ لذا نضيف ٣ جزيئات ماء إلى

المواد المتفاعلة؛ ليصبح عدد ذرات O في الطرفين يساوي ٤.

$$C_2H_6O + 3H_2O \longrightarrow 2CO_2$$

جـ) نوازن ذرات الهيدروجين بإضافة عدد من أيونات الهيدروجين H^+ يساوي الفرق في ذرات الهيدروجين بين المواد المتفاعلة والناتجة إلى الطرف الذي يحتوي أقل عدد من ذرات الهيدروجين. لاحظ أن مجموع ذرات الهيدروجين في المواد المتفاعلة يساوي ١٢، بينما لا يوجد ذرات هيدروجين في المواد الناتجة لذا نضيف ١٢ أيون H^+ إلى المواد الناتجة؛ ليصبح عدد ذرات H في الطرفين يساوي ١٢

$$C_2H_6O + 3H_2O \longrightarrow 2CO_2 + 12H^+$$

د) نوازن الشحنة الكهربائية في طرفي المعادلة بإضافة عدد من الإلكترونات إلى أحد الطرفين، ليصبح المجموع الجبري للشحنات متساويًا على طرفي المعادلة. لاحظ أن المجموع الجبري للشحنات في المواد المتفاعلة = صفرًا، بينما في المواد الناتجة = +١٢

$$\underbrace{C_2H_6O}_{\text{صفر}} + \underbrace{3H_2O}_{\text{صفر}} \longrightarrow \underbrace{2CO_2}_{\text{صفر}} + \underbrace{12H^+}_{+١٢}$$

صفر + صفر = +١٢

لذا، نضيف ١٢ إلكترونًا إلى المواد الناتجة، ليتساوى مجموع الشحنات على الطرفين، ونحصل على معادلة موزونة تمثل نصف التفاعل الأول كما يأتي:

(نصف تفاعل التأكسد) $C_2H_6O + 3H_2O \longrightarrow 2CO_2 + 12H^+ + 12e^-$

صفر — صفر

لاحظ أنه تم إضافة الإلكترونات إلى الطرف الذي يكون فيه المجموع الجبري للشحنات أكبر.

٣) نطبّق الخطوات السابقة على نصف التفاعل الثاني وعلى النحو الآتي:

أ) موازنة الذرات عدا الأكسجين والهيدروجين:

$$Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow 2Cr^{3+}$$

ب) موازنـة ذرات الأكسجيـن بإضافة عدد من جزيئات المـاء إلى الطرف الذي ينقصه الأكسجين يساوي عدد ذرات الأكسجين الناقصة:

$$Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

جـ) موازنـة ذرات الهيدروجين بإضافة عـدد من أيونات H^+ إلى الطـرف الذي ينقصه الهيدروجين يساوي عدد ذرات الهيدروجين الناقصة:

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

د) موازنـة الشحنة عن طريق إضافـة الإلكترونات بحيث تتساوى الشحنات على طرفي المعادلة:

$$\underbrace{\underset{٢-}{Cr_2O_7^{2-}} + \underset{١٤+}{14H^+}}_{١٢+} \longrightarrow \underbrace{\underset{٦+}{2Cr^{3+}} + \underset{\text{صفر}}{7H_2O}}_{٦+}$$

$$\underbrace{Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^-}_{٦+} \longrightarrow \underbrace{2Cr^{3+} + 7H_2O}_{٦+}$$ (نصف تفاعل الاختزال)

وبذلـك نكون قد وازنا كلًّا من نصفي التفاعل على حدة، وعلينا الانتقال إلى موازنة المعادلة الكلية.

٤) نضـرب أحـد النصفين أو كليهما بأعداد مناسبة لجعل عـدد الإلكترونات المكتسبة في أحدهما يساوي عدد الإلكترونات المفقودة في الآخر. وفي هذا المثال، نضرب نصف تفاعل الاختزال بـ٢

$$2(Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O)$$

فيصبح:

$$2Cr_2O_7^{2-} + 28H^+ + 12e^- \longrightarrow 4Cr^{3+} + 14H_2O$$

٥) نجمع نصفي التفاعل للحصول على المعادلة الموزونة، فيتم حذف الإلكترونات وبعض المواد المشتركة من طرفي المعادلة.

$$2Cr_2O_7^{2-} + \cancel{28H^+}^{16H^+} + \cancel{12e^-} \longrightarrow 4Cr^{3+} + \cancel{14H_2O}^{11H_2O}$$ (نصف تفاعل الاختزال)

$$C_2H_6O + \cancel{3H_2O} \longrightarrow 2CO_2 + \cancel{12H^+} + \cancel{12e^-}$$ (نصف تفاعل التأكسد)

$$2Cr_2O_7^{2-} + C_2H_6O + 16H^+ \longrightarrow 4Cr^{3+} + 2CO_2 + 11H_2O$$ (المعادلة الكلية)

وهكذا نكون قد وازنا المعادلة كليًا.

سؤال

■ وازن المعادلتين الآتيتين بطريقة نصف التفاعل في وسط حمضي.

$$MnO_4^- + ClO_3^- \longrightarrow Mn^{2+} + ClO_4^-$$

$$As_2O_3 + NO_3^- \longrightarrow H_3AsO_4 + NO$$

٢- موازنة المعادلات في وسط قاعدي

لموازنة المعادلات الكيميائية في وسط قاعدي، نستخدم الخطوات السابقة المستخدمة في الوسط الحمضي نفسها، ثم نضيف عددًا من أيونات الهيدروكسيد OH^- إلى طرفي المعادلة الكيميائية الموزونة لتتعادل مع أيونات H^+، وتكوين جزيئات الماء H_2O. ولتتعرّف كيف يتم ذلك، ادرس المثال الآتي:

مثال (٨)

وازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في وسط قاعدي:

$$Cr_2O_3 + NO_3^- \longrightarrow CrO_4^{2-} + NO_2^-$$

الحل

نطبّق الخطوات السابقة التي استخدمناها في موازنة المعادلة في وسط حمضي على النحو الآتي:

١) نقسم التفاعل إلى نصفي تفاعل بالاعتماد على المواد المتفاعلة والمواد الناتجة.

$Cr_2O_3 \longrightarrow CrO_4^{2-}$

$NO_3^- \longrightarrow NO_2^-$

٢) نوازن النصف الأول على النحو الآتي:

أ) موازنة الذرات عدا الأكسجين والهيدروجين.

$Cr_2O_3 \longrightarrow 2CrO_4^{2-}$

ب) موازنة الأكسجين بإضافة H_2O:

$Cr_2O_3 + 5H_2O \longrightarrow 2CrO_4^{2-}$

جـ) موازنة الهيدروجين بإضافة H^+:

$Cr_2O_3 + 5H_2O \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 10H^+$

د) موازنة الشحنات عن طريق إضافة الإلكترونات:

$Cr_2O_3 + 5H_2O \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 10H^+ + 6e^-$ (نصف تفاعل التأكسد)

٣) نطبّق الخطوات السابقة على نصف التفاعل الثاني.

$NO_3^- \longrightarrow NO_2^-$

$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- + H_2O$

$NO_3^- + 2H^+ \longrightarrow NO_2^- + H_2O$

$NO_3^- + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NO_2^- + H_2O$ (نصف تفاعل الاختزال)

٤) نساوي عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة، وذلك بضرب نصف تفاعل الاختزال بـ٣

$3(NO_3^- + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NO_2^- + H_2O)$

$3NO_3^- + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow 3NO_2^- + 3H_2O$

٥) نجمع نصفي التفاعل للحصول على المعادلة الموزونة.

$3NO_3^- + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow 3NO_2^- + 3H_2O$ (نصف تفاعل الاختزال)

$2H_2O$ $4H^+$

$Cr_2O_3 + 5H_2O \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 10H^+ + 6e^-$ (نصف تفاعل التأكسد)

$Cr_2O_3 + 3NO_3^- + 2H_2O \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 3NO_2^- + 4H^+$ (المعادلة الكلية)

٦) نضيف عددًا من أيونات OH^- يساوي عدد أيونات H^+ إلى طرفي المعادلة.

$$Cr_2O_3 + 3NO_3^- + 2H_2O + 4OH^- \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 3NO_2^- + 4H^+ + 4OH^-$$

٧) نجمع أيونات OH^- و H^+ الموجودة في طرف واحد من المعادلة معًا للحصول على جزيئات ماء.

$$Cr_2O_3 + 3NO_3^- + 2H_2O + 4OH^- \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 3NO_2^- + 4H_2O$$

٨) نحذف عددًا متساويًا من جزيئات الماء المشتركة من الطرفين، لتبقى جزيئات الماء في أحدهما فقط.

$$Cr_2O_3 + 3NO_3^- + \overset{2H_2O}{\cancel{2H_2O}} + 4OH^- \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 3NO_2^- + \cancel{4H_2O}$$

$$Cr_2O_3 + 3NO_3^- + 4OH^- \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 3NO_2^- + 2H_2O$$

سؤال

■ وازن المعادلة الآتية في وسط قاعدي، ثم حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل فيها.

$$S^{2-} + I_2 \longrightarrow SO_4^{2-} + I^-$$

تطبيقات حياتية

كيف نعمل وجبة ساخنة باستخدام الماء البارد؟

حل الكيميائيون مشكلة تسخين الوجبات الجاهزة التي يتناولها رواد الفضاء بسبب عدم توافر مرافق للطبخ، وذلك عن طريق ابتكار سخان الطعام عديم اللهب (Flameless Ration Heater FRH).

يعتمد مبدأ هذا السخان على تفاعلات التأكسد والاختزال، وذلك عن طريق توليد الحرارة بأكسدة المغنيسيوم عن طريق تفاعله مع الماء، حسب المعادلة الآتية:

$$Mg + 2H_2O \longrightarrow Mg(OH)_2 + H_2 + \text{حرارة}$$

لكن هذا التفاعل بطيء جدًّا، لا يُنتج الحرارة المطلوبة؛ لذا يتم تسريعه بإضافة الحديد وملح

الطعام إلى المغنيسيوم المتفاعل، وينطلق من التفاعل طاقة حرارية تُقدر بـ ٣٥٥ كيلوجول قادرة على غلي لتر من الماء.

وهذا السخان يتكوّن من كيس شبه مُنفِذ موجود فيه خليط من المغنيسيوم والحديد والملح وهو موضوع في كيس بلاستيكي مقاوم للحرارة.

وعند استخدامه يوضع الكيس شبه المنفذ (الذي يحتوي على خليط من المغنيسيوم والحديد والملح) والوجبة المراد تسخينها والمغلفة جيدًا في الكيس البلاستيكي ثم تضاف إليهما كمية من الماء، ويتركان مدة ١٠ دقائق تكون كافية لتسخين الوجبة.

الشكل(٢-٥): مكونات السخان عديم اللهب

الشكل(٢-٦): تسخين وجبة طعام جاهزة باستخدام السخان عديم اللهب.

للاستزادة يمكنك الرجوع إلى الشبكة المعلوماتية مستعينًا بالعبارات المفتاحية الآتية:

Flameless Ration Heater (FRH)، سخان الطعام عديم اللهب.

١) وضّح المقصود بكل مما يأتي:

عدد التأكسد، العامل المؤكسد، العامل المختزل، التأكسد والاختزال الذاتي.

٢) ما عدد تأكسد النيتروجين N في كل مما يأتي: NO_2 ، NH_3 ، NO ، N_2O ، N_2O_3؟

٣) حدّد الذرات التي تأكسدت والتي اختُزِلت في التفاعلين الآتيين باستخدام التغير في عدد التأكسد:

$$NO_2^- + Cl_2 + 2KOH \longrightarrow NO_3^- + 2KCl + H_2O$$

$$3S + 3H_2O \longrightarrow H_2SO_3 + 2H_2S$$

٤) حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في المعادلتين الآتيتين:

$$3HSO_4^- + 8Al \longrightarrow 3S^{2-} + 4Al_2O_3 + 3H^+$$

$$3BrO^- \longrightarrow 2Br^- + BrO_3^-$$

٥) أيٌّ من المواد الآتية يمكن أن يسلك كعامل مختزل: F_2 ، Cl^- ، Na^+ ، Mg ، H^-

٦) أيٌّ من المواد الآتية يمكن أن يسلك كعامل مؤكسد: Ca^{2+} ، K ، Br_2 ، O^{2-} ، H^+

٧) مثّل التحولات الآتية بأنصاف تفاعلات موزونة في وسط حمضي:

$$H_2SO_3 \longrightarrow SO_4^{2-}$$

$$HClO \longrightarrow ClO_3^-$$

$$PbO_2 \longrightarrow Pb^{2+}$$

٨) وازن المعادلات الآتية في وسط حمضي:

$$Pb + PbO_2 + H_2SO_4 \longrightarrow PbSO_4$$

$$H_2S + NO_3^- \longrightarrow NO_2 + S_8$$

$$ClO_3^- + N_2H_4 \longrightarrow Cl^- + NO$$

٩) وازن المعادلات الآتية في وسط قاعدي:

$$Al + NO_3^- \longrightarrow AlO_2^- + NH_3$$

$$CN^- + MnO_4^- \longrightarrow CNO^- + MnO_2$$

$$Cl_2 \longrightarrow Cl^- + OCl^-$$

الخلايا الكهركيميائية

Electrochemical cells

تُستخدم الخلايا الكهركيميائية في مجالات واسعة في حياتنا، فالبطاريات بأنواعها المختلفة، والتي تلزم لتشغيل العديد من الأجهزة والأدوات، تعد مثالًا على هذه الخلايا، كما أن عملية الطلاء الكهربائي من التطبيقات العملية المهمة لها. وقد درست في الصف التاسع تحولات الطاقة التي تحدث في هذه الخلايا نتيجة لتفاعلات التأكسد والاختزال، وعرفت أنه يتولد فيها فرق جهد كهربائي. فكيف نحسبُ هذا الفرق في الجهد؟ وكيف يمكن الاستفادة منه في تحديد تلقائية التفاعلات، والتنبؤ بإمكانية حدوثها؟

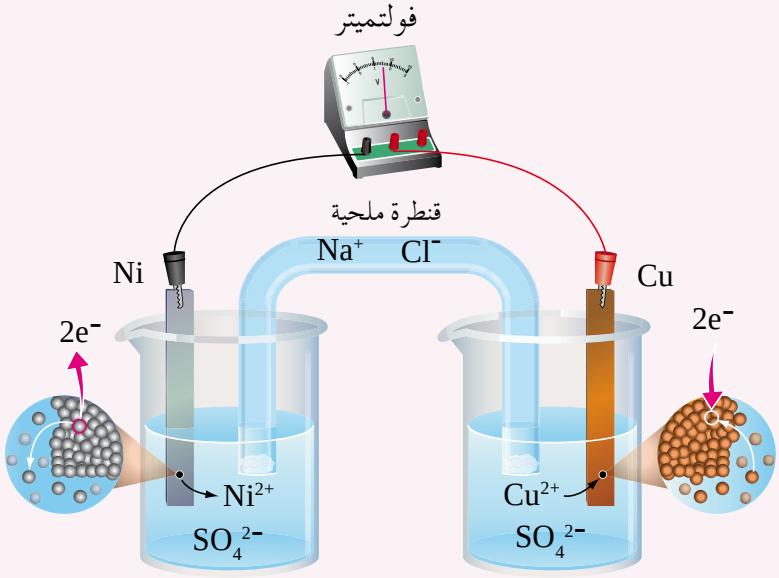
يمكنك الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- تميّز أنواع الخلايا الكهركيميائية.
- تحدّد مكونات الخلايا الكهركيميائية، وكيفية عمل كل منها.
- توضّح المقصود بجهد الخلية المعياري.
- ترتّب العوامل المختزلة والعوامل المؤكسدة وفق قيم جهود الاختزال المعيارية.
- تحسب جهد الخلية الكهركيميائية، وتحدد تلقائية حدوث التفاعل فيها.
- تتنبّأ بنواتج التحليل الكهربائي لمصاهير المركبات الأيونية ومحاليلها.
- تبيّن بعض التطبيقات العملية للخلايا الكهركيميائية.

درست في الصف التاسع الخلية الغلفانية، وعرفت أنها أداة يحدث فيها تفاعل التأكسد والاختزال تلقائيًا لإنتاج تيار كهربائي، ولتتذكر مكوناتها وكيفية عملها، نفذ النشاط الآتي:

نشاط (٢-١) الخلية الغلفانية

يمثل الشكل (٢-٧) خلية غلفانية يتكوّن قطباها من النحاس Cu والنيكل Ni. ادرس الشكل جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٢-٧): خلية غلفانية قطباها من النحاس والنيكل.

- حدّد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الموصل (الأسلاك) في الدارة الخارجية.
- حدّد المصعد والمهبط في الخلية، وشحنة كل منهما.
- اكتب أنصاف التفاعلات التي تحدث عند الأقطاب.
- اكتب معادلة التفاعل الكلي في الخلية.
- ما دور القنطرة الملحية في الخلية؟
- ماذا تتوقع أن يحدث لكتلة كل قطب أثناء عمل الخلية الغلفانية؟

يتضح من الشكل أن هذه الخلية الغلفانية تتكوّن من وعاءين، يحتوي أحدهما على قطب النحاس Cu ومحلول كبريتات النحاس $CuSO_4$، ويسمى نصف خلية النحاس، ويحتوي الوعاء الثاني على قطب النيكل Ni ومحلول كبريتات النيكل $NiSO_4$، ويسمى نصف خلية النيكل، ويتصل القطبان بأسلاك فلزية موصولة بالفولتميتر الذي يقيس فرق الجهد بين الأقطاب، ويتصل الوعاءان بأنبوب زجاجي على شكل حرف U، يحتوي على محلول مشبع من كلوريد الصوديوم NaCl يسمى القنطرة الملحية. وعند تركيب الخلية كما في الشكل، يُلاحظ انحراف مؤشر الفولتميتر إلى الجهة التي يوجد فيها قطب النحاس، وهذا يشير إلى مرور تيار كهربائي نتيجة لحركة الإلكترونات عبر الأسلاك من قطب النيكل Ni إلى قطب النحاس Cu. ويمثل النيكل في هذه الخلية المصعد، وهو القطب الذي تتأكسد بعض ذراته، وتتحول إلى أيونات موجبة Ni^{2+} تنتشر في المحلول كما في المعادلة الآتية:

نصف تفاعل التأكسد/المصعد $Ni_{(s)} \longrightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

وهذا التأكسد لذرات النيكل يحدث على سطح المصعد، وهو ما يفسر تآكل قطب النيكل ونقصان كتلته مع الزمن، وتتجه الإلكترونات الناتجة عن نصف التفاعل السابق إلى قطب النيكل فتكسبه شحنة سالبة؛ وعليه يكون المصعد هو القطب السالب في الخلية.

تستمر الإلكترونات الناتجة عن عملية تأكسد ذرات النيكل بالحركة عبر الأسلاك نحو قطب النحاس الذي يمثل المهبط، وهو القطب الموجب، حيث تُختزل أيونات النحاس Cu^{2+} المحيطة بالقطب في نصف خلية النحاس نتيجة اكتسابها هذه الإلكترونات، وتتحول إلى ذرات نحاس متعادلة تتجمع على قطب النحاس؛ وهذا يفسر زيادة كتلته مع الزمن. والمعادلة الآتية توضح ذلك.

نصف تفاعل الاختزال/المهبط $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Cu_{(s)}$

ويمكن تمثيل التفاعل الكلي، والذي يمثل مجموع نصفي التفاعلين السابقين على النحو الآتي:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + Ni_{(s)} \longrightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

والسؤال الآن ما دور القنطرة الملحية في الخلية الغلفانية؟

سبق أن أشرنا إلى تناقص كتلة قطب النيكل (المصعد) نتيجة لتأكسد بعض ذراته؛ مما يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات النيكل الموجبة في المحلول، فيصبح تركيزها أعلى من تركيز الأيونات السالبة في نصف خلية النيكل، كما أن اختزال أيونات النحاس الموجبة يؤدي إلى تناقص تركيزها في المحلول، فيصبح تركيزها أقل من تركيز الأيونات السالبة في نصف خلية النحاس؛ وهذا يؤدي إلى اختلال التوازن في الشحنات الكهربائية في نصفي الخلية الغلفانية. ولحفظ التوازن الكهربائي يتم وصل نصفي الخلية من خلال القنطرة الملحية التي تعمل على موازنة الشحنات الكهربائية في الخلية أثناء عملها.

سؤال

- إذا علمت أن التفاعل الآتي يحدث في خلية غلفانية، فأجب عن الأسئلة التي تليه:

$$Cd_{(s)} + Sn^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Cd^{2+}_{(aq)} + Sn_{(s)}$$

- اكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال.
- حدّد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الدارة الخارجية.
- أيُّ القطبين Cd أم Sn تزداد كتلته مع استمرار مرور التيار الكهربائي؟

وتجدر الإشارة إلى أن جهاز الفولتميتر الموصول بين قطبي الخلية الغلفانية، يُستخدم لقياس جهد الخلية. فما المقصود بجهد الخلية؟ وكيف يمكن حسابه؟

١ – جهد الخلية

تتفاوت الأقطاب في ميلها للتأكسد والاختزال، فلكل قطب ميل للتأكسد يسمى جهد تأكسد القطب ($E_{\text{التأكسد}}$)، أو ميل للاختزال يسمى جهد اختزال القطب ($E_{\text{الاختزال}}$). وعند استخدام قطبين مختلفين في خلية غلفانية تندفع الإلكترونات من المصعد إلى المهبط؛ بسبب قوة دافعة تحرك هذه الإلكترونات عبر الموصل، وهي تنشأ بسبب الاختلاف في جهد الاختزال بين قطبي الخلية، وتعرف هذه القوة **بالقوة الدافعة الكهربائية**. وهي تمثل جهد الخلية ($E_{\text{الخلية}}$)، وتقاس

بوحدة الفولت. ويمكن قياس جهد الخلية في الظروف المعيارية عندما يكون تركيز الأيونات ١ مول/لتر، وضغوط الغازات ١ ض.جـ ، ودرجة الحرارة ٢٥°س، ويعرف جهد الخلية عند هذه الظروف **بجهد الخلية المعياري** Standard Cell Potential، ويرمز له بالرمز ($E^\circ_{\text{الخلية}}$)، ويعبر عنه بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$E^\circ_{\text{الخلية}} = E^\circ_{\text{اختزال (المهبط)}} - E^\circ_{\text{اختزال (المصعد)}}$$

وتعتمد قيمته على ميل نصف تفاعل التأكسد و نصف تفاعل الاختزال للحدوث، فكلما زاد ميل أنصاف التفاعلات للحدوث زاد جهد الخلية. ومن الجدير بالذكر أن جهد التأكسد المعياري للقطب يساوي جهد الاختزال المعياري له، ويعاكسه في الإشارة، فمثلًا:

$$E^\circ_{\text{تأكسد (النحاس)}} = -E^\circ_{\text{اختزال (النحاس)}}$$

مثال (١)

إذا علمت أن جهد الخلية المكونة من الخارصين Zn والنحاس Cu في الظروف المعيارية يساوي (١,١) فولت، وأن جهد الخلية المكونة من الخارصين Zn والفضة Ag في الظروف المعيارية يساوي (١,٥٦) فولت، فإذا كان الخارصين في كلتا الخليتين هو المصعد، فأيهما أكثر ميلًا للاختزال: أيونات النحاس Cu^{2+} ، أم أيونات الفضة Ag^{+}؟

الحل

بما أن جهد الخلية يعتمد على ميل أنصاف التفاعلات للحدوث، ولأن ميل تفاعل التأكسد ثابت للخارصين Zn؛ فإن الاختلاف في قيمة جهد الخلية ($E^\circ_{\text{الخلية}}$) يعتمد على جهد اختزال أيونات المهبط، ولأن جهد الخلية المكونة من الخارصين Zn والفضة Ag أكبر من جهد الخلية المكونة من الخارصين Zn والنحاس Cu، فإن أيونات الفضة Ag^{+} أكثر ميلًا للاختزال من أيونات النحاس Cu^{2+}.

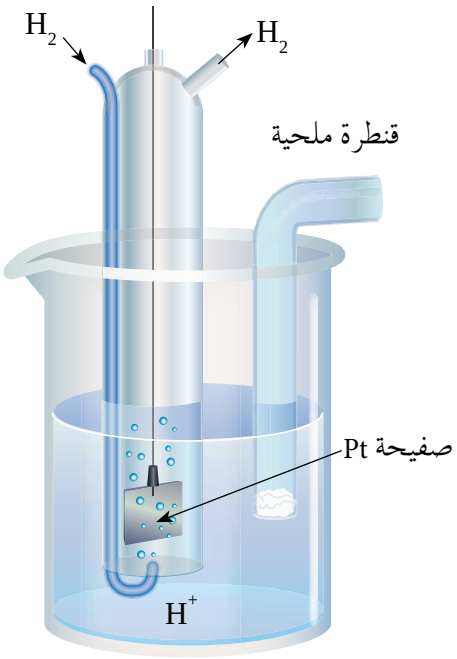
سؤال

■ إذا علمت أن جهد الخلية المكونة من الأقطاب (X,Y) في الظروف المعيارية تساوي (٠,٥٧) فولت، وأن جهد الخلية المكونة من الأقطاب (X,W) في الظروف المعيارية تساوي (٠,٧٨) فولت، وأن المادة X في الخليتين هي المهبط، فأي العنصرين (Y ,W) أكثر ميلًا للتأكسد؟

٢- جهد الاختزال المعياري

عرفت أن جهد الخلية يمثل فرق الجهد الكهربائي بين قطبيها، وأن جهاز الفولتميتر يقيس جهد الخلية، ولكنه لا يستطيع قياس جهد القطب منفردًا، فكيف يمكن تحديد جهد الاختزال المعياري للأقطاب المختلفة؟

فكّر العلماء في تحديد قطب مرجعي يمكن استخدامه لمعرفة جهد الاختزال المعياري لقطبي الخلية الغلفانية، فتم اختيار قطب الهيدروجين المعياري كقطب مرجعي؛ لأن نشاطه الكيميائي متوسط بين العناصر، فيمكن أن يكون مهبطًا أو مصعدًا. والشكل (٢-٨) يبيّن قطب الهيدروجين المعياري.



الشكل (٢-٨): قطب الهيدروجين المعياري.

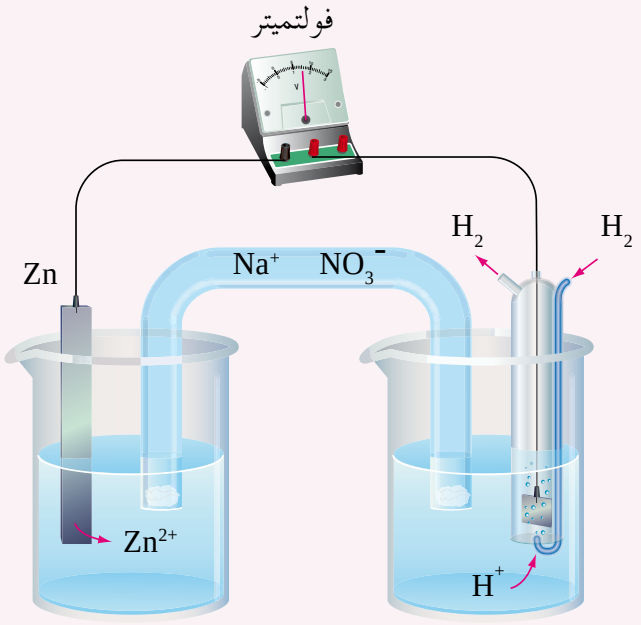
ويتكوّن قطب الهيدروجين المعياري، كما تلاحظ، من وعاء يحتوي على صفيحة من البلاتين مغموسة في محلول حمض HCl يحتوي على أيونات H^+ بتركيز ١ مول/لتر، وتحت ضغط من غاز الهيدروجين مقداره ١ ض.جـ، وعند درجة حرارة ٢٥°س. ويمكن تمثيل التفاعل في قطب الهيدروجين المعياري كما في المعادلة الآتية:

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons H_{2(g)}$$

وقـد اصطلـح العلماء علـى أن تكون قيمة جهـد الاختزال المعيـاري للهيدروجين تساوي صفـرًا، وباستخـدام هذا القطب تمكن العلمـاء من التوصل إلى جهـود الاختزال المعيارية للأقطاب المختلفة. ولتتعرّف ذلك، نفذ النشاط (٢–٢).

نشـاط (٢–٢) تحديد جهود الاختزال المعيارية

تـم بناء ثلاث خلايا غلفانية مختلفة باستخدام قطب الهيدروجين مع أحد الفلزات الآتية: (Zn ، Cu ، Ag) ومحاليل أملاحها في كل خلية، ويمثل الشكل (٢–٩) إحدى هذه الخلايا.



الشكل (٢–٩): خلية غلفانية قطباها الخارصين والهيدروجين.

فإذا قيس جهد الخلية في كل منها في الظروف المعيارية، وتم الحصول على المعلومات المبّينة في الجدول أدناه. ادرس الجدول، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

رقم الخلية	قطبا الخلية	انحراف مؤشر الفولتميتر باتجاه	جهد الخلية المعياري (فولت)
١	Zn/H_2	قطب الهيدروجين	٠,٧٦
٢	Cu/H_2	قطب النحاس	٠,٣٤
٣	Ag/H_2	قطب الفضة	٠,٨٠

- أيُّ الخلايا السابقة يكون قطب الهيدروجين فيها هو المهبط؟
- احسب جهد الاختزال المعياري لكل من الفلزات المستخدمة في الخلايا السابقة.

يتبيّـن مـن النشاط السابق أن قطب الهيدروجين المعيـاري في الخلية رقم (١) يمثل المهبط، وهذا يعني أن جهد اختزاله أكبر من جهد اختزال الخارصين، وبما أن جهد اختزال الهيدروجين يساوي صفرًا، فيمكن حساب جهد اختزال الخارصين E° اختزال (الخارصين)، على النحو الآتي:

$$E^\circ \text{ الخلية} = E^\circ \text{ اختزال (المهبط)} - E^\circ \text{ اختزال (المصعد)}$$

$$E^\circ \text{ اختزال (الخارصين)} - E^\circ \text{ اختزال (الهيدروجين)} = ٠,٧٦$$

$$E^\circ \text{ اختزال (الخارصين)} - \text{صفر} = ٠,٧٦$$

$$E^\circ \text{ اختزال (الخارصين)} = -٠,٧٦ \text{ فولت}$$

وبالمثـل، يمكن حساب جهد اختزال النحاس، حيـث إن قطب النحاس في الخلية رقم (٢) يمثل المهبط، ويكون قطب الهيدروجين هو المصعد.

$$E^\circ \text{ الخلية} = E^\circ \text{ اختزال (النحاس)} - E^\circ \text{ اختزال(الهيدروجين)}$$

$$E^\circ \text{ اختزال (النحاس)} - \text{صفر} = ٠,٣٤$$

وعليه، يكون جهد اختزال النحاس المعياري E° اختزال (النحاس) = ٠,٣٤ فولت.

وبالطريقـة نفسهـا، يمكن حساب جهد الاختزال المعيـاري للفضة، فيكون E° اختـزال (الفضة) = ٠,٨٠ فولت.

ونتيجة لاستخدام قطب الهيدروجين المعياري في بناء خلايا مختلفة وقياس جهودها تمكن العلماء مـن حساب جهد الاختزال المعيـاري للأقطاب المختلفة، وتم ترتيبها وفقًا لتزايد جهود اختزالها المعيارية في جدول يعرف بجدول جهود الاختزال المعيارية. جدول (٢-١).

الجدول (٢–١): جهود الاختزال المعيارية عند درجة حرارة ٢٥° س.

نصف تفاعل الاختزال	E° (الفولت)
$Li^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons Li_{(s)}$	٣,٠٥–
$K^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons K_{(s)}$	٢,٩٢–
$Ca^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Ca_{(s)}$	٢,٧٦–
$Na^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons Na_{(s)}$	٢,٧١–
$Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Mg_{(s)}$	٢,٣٧–
$Al^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightleftharpoons Al_{(s)}$	١,٦٦–
$Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Mn_{(s)}$	١,١٨–
$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightleftharpoons 2OH^-_{(aq)} + H_{2(g)}$	٠,٨٣–
$Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Zn_{(s)}$	٠,٧٦–
$Cr^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightleftharpoons Cr_{(s)}$	٠,٧٣–
$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Fe_{(s)}$	٠,٤٤–
$Cd^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Cd_{(s)}$	٠,٤٠–
$Co^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Co_{(s)}$	٠,٢٨–
$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Ni_{(s)}$	٠,٢٣–
$Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Sn_{(s)}$	٠,١٤–
$Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Pb_{(s)}$	٠,١٣–
$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightleftharpoons Fe_{(s)}$	٠,٠٤–
$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons H_{2(g)}$	٠,٠٠
$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Cu_{(s)}$	٠,٣٤
$I_{2(s)} + 2e^- \rightleftharpoons 2I^-_{(aq)}$	٠,٥٤
$Ag^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons Ag_{(s)}$	٠,٨٠
$Hg^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Hg_{(l)}$	٠,٨٥
$Br_{2(l)} + 2e^- \rightleftharpoons 2Br^-_{(aq)}$	١,٠٩
$O_{2(g)} + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O_{(l)}$	١,٢٣
$Cl_{2(g)} + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-_{(aq)}$	١,٣٦
$Au^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightleftharpoons Au_{(s)}$	١,٥
$F_{2(g)} + 2e^- \rightleftharpoons 2F^-_{(aq)}$	٢,٨٧

زيادة قوة العامل المختزل

زيادة قوة العامل المؤكسد

لاحـظ أن الجـدول يتضمن أنصاف تفاعلات الاختزال وجهودها المعياريـة. وبالنظر إلى التفاعل العكسي لهذه التفاعلات، يتبيّن أنها تمثل أنصاف تفاعلات التأكسد، وبما أن المواد التي إلى يسار الجدول (اللون الأزرق) يحدث لها اختزال؛ فهي عوامل مؤكسدة، وتزداد قوتها كعوامل مؤكسدة كلمـا زاد جهـد الاختزال باتجاهنـا إلى أسفل الجـدول، بينما تُعد المواد التي إلـى يمين الجدول (اللون الأحمر) عوامل مختزلة، وتزداد قوتها كعوامل مختزلة كلما قل جهد الاختزال باتجاهنا إلى أعلى الجدول .

ويمكن الاعتماد على جدول جهود الاختزال المعيارية في تحديد عدة جوانب مثل:

أ – حسـاب جهـد الخلية المعياري ($E^\circ_{\text{الخليـة}}$): يمكنك حساب جهد الخليـة المعياري بالاعتماد على جدول جهود الاختزال المعيارية (٢–١) ولتوضيح ذلك، ادرس الأمثلة الآتية:

مثال (٢)

احسب الجهد المعياري ($E^\circ_{\text{الخلية}}$) لخلية غلفانية يحدث فيها التفاعل الآتي:

$$Cu_{(s)} + 2Ag^{+}_{(aq)} \longrightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$$

الحل

يتضح من المعادلة أن النحاس Cu يمثل المصعد، في حين يمثل الفضة Ag المهبط. وباستخدام جدول جهود الاختزال، نحدد جهد اختزال كل من المصعد والمهبط:

$E^\circ_{\text{اختزال (الفضة)}} = +٠,٨٠$ فولت.

$E^\circ_{\text{اختزال (النحاس)}} = +٠,٣٤$ فولت.

ثم نحسب جهد الخلية كالآتي:

$$E^\circ_{\text{الخلية}} = E^\circ_{\text{اختزال (المهبط)}} - E^\circ_{\text{اختزال (المصعد)}}$$

$$E^\circ = E^\circ_{\text{اختزال (الفضة)}} - E^\circ_{\text{اختزال (النحاس)}}$$

$$= ٠,٨٠ - ٠,٣٤$$

$$= ٠,٤٦ \text{ فولت.}$$

ومـن الجديـر ذكره أن قيمة جهد الخلية (E°) لا تتأثر عند ضرب المعادلة بعدد صحيح عند موازنة المعادلة؛ لإن جهود الاختزال من الخواص النوعية للمادة، وهذه الخواص لا تعتمد على كمية المادة.

سؤال

- مستعينـا بالجـدول (٢-١)، احسب قيمة الجهد المعياري لخليـة غلفانية قطباها من الألمنيوم Al والنحاس Cu، ويحدث فيها التفاعل الآتي:

$$2Al_{(s)} + 3Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Cu_{(s)}$$

ب- تحديـد تلقائيـة حدوث تفاعـلات التأكسد والاختـزال: تتفاعل بعض الفلـزات مع محلول حمض الهيدروكلوريـك المخفف وتطلق غاز الهيدروجين، بينما لا يتفاعل بعضها الآخر، فهل يمكن توظيف جهود الاختزال المعيارية للتنبؤ عن إمكانية حدوث هذه التفاعلات؟ للإجابة عن ذلك نفذ النشاط الآتي:

نشـاط

المواد والأدوات

محلـول حمض الهيدروكلوريك المخفف تركيزه (١,٠ مول/لتر)، أنابيب اختبار عدد (٢)، سلك من النحاس، وسلك من الخارصين، حامل أنابيب.

الخطوات

١- ضع ٥ مل من محلول الحمض في كل من الأنبوبين.

٢- ضع سلك النحاس في أحد الأنبوبين، وسلك الخارصين في الأنبوب الثاني.

- في أيّ الأنبوبين حدث تفاعل؟
- ما أدلة حدوث التفاعل؟

يتبيّـن من النشـاط السابق أن سلـك الخارصين يتفاعـل مع محلول حمضـ الهيدروكلوريك المخفف ويتصاعد غاز الهيدروجين، ويمكن التعبيرعن التفاعل على النحو الآتي:

$$Zn_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

٩) الجدول الآتي يبيّن قيم جهود الاختزال المعيارية لعدد من الأقطاب. ادرسه جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

نصف تفاعل الاختزال	E° (فولت)
$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$	٠,٨٠
$Co^{2+} + 2e^- \longrightarrow Co$	٠,٢٨-
$K^+ + e^- \longrightarrow K$	٢,٩٢-
$2H_2O + 2e^- \longrightarrow 2OH^- + H_2$	٠,٨٣-

أ) حدّد العامل المختزل الأقوى.

ب) أيُّ الفلزات يستطيع تحرير الهيدروجين من محاليله الحمضية المخففة؟

جـ) هل يمكن تحضيرعنصر الكوبلت Co مـن محاليل أحد أملاحه باستخدام التحليل الكهربائـي؟

د) احسب E° للخلية الغلفانية المكوّنة من Ag و Co.

١) اختر الإجابة الصحيحة لكل من الفقرات الآتية:

(١) إذا تأكسد كبريتيد الهيدروجين H_2S وأنتج حمض الكبريتيك H_2SO_4؛ فإن مقدار التغير في عدد تأكسد الكبريت S هو:

أ) ٢ ب) ٦ جـ) ٤ د) ٨

(٢) المركب الذي يكون فيه عدد تأكسد الكلور Cl يساوي + ١ هو:

أ) $HClO_3$

ب) $HClO_4$

جـ) $HClO$

د) HCl

(٣) في المعادلة غير الموزونة الآتية: $Br^- + NO_3^- \xrightarrow{H^+} Br_2 + NO$

عدد الإلكترونات المفقودة أوالمكتسبة في التفاعل يساوي:

أ) ٣ ب) ٦ جـ) ٢ د) ١

(٤) أيُّ التفاعلات الآتية يسلك فيها الأكسجين كعامل مختزل؟

أ) $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

ب) $CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$

جـ) $2Cl_2 + O_2 \longrightarrow 2Cl_2O$

د) $2F_2 + O_2 \longrightarrow 2OF_2$

(٥) في أيّ التحولات الآتية يحدث تأكسد لذرات النيتروجين؟

أ) $N_2O_4 \longrightarrow NO$

ب) $NO \longrightarrow N_2$

جـ) $N_2 \longrightarrow NO_2$

د) $NO_2 \longrightarrow N_2O_4$

(٦) عند التحليل الكهربائي لمصهور NaCl باستخدام أقطاب غرافيت، فإنه ينتج:

أ) ذرات الصوديوم عند المهبط، وغاز الكلور عند المصعد.

ب) ذرات الصوديوم عند المصعد، وغاز الكلور عند المهبط.

جـ) غاز الهيدروجين عند المهبط، وغاز الكلور عند المصعد.

د) غاز الهيدروجين عند المهبط، وغاز الأكسجين عند المصعد.

(٧) أيُّ العبارات الآتية صحيحة فيما يتعلق بالخلية الغلفانية؟

أ) المهبط سالب. ب) التفاعل تلقائي.

جـ) جهد الخلية سالب. د) الاختزال عند المصعد.

(٨) إذا علمت أن العنصر X يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المخفف HCl، وينتج غاز الهيدروجين، والعنصر Y لا يستطيع إطلاق غاز الهيدروجين من محلول حمض HCl المخفف، لذا فإن ترتيب جهود الاختزال المعيارية لأيونات العناصر تكون:

أ) $X^+ < Y^{2+} < H^+$ ب) $Y^{2+} < X^+ < H^+$

جـ) $Y^{2+} < H^+ < X^+$ د) $X^+ < H^+ < Y^{2+}$

(٩) خلية غلفانية قطباها Ni /Pb ، واتجاه انحراف مؤشر الفولتميتر فيها باتجاه قطب الرصاص. فأيُّ العبارات الآتية تمثل ما يمكن أن يحدث في هذه الخلية؟

أ) كتلة الرصاص تزداد، وتركيز أيوناته يقل بمرور الزمن.

ب) كتلة النيكل تقل، وتركيز أيوناته يقل بمرور الزمن.

جـ) كتلة الرصاص تقل، وتركيز أيوناته يزداد بمرور الزمن.

د) كتلة النيكل تزداد، وتركيز أيوناته يقل بمرور الزمن.

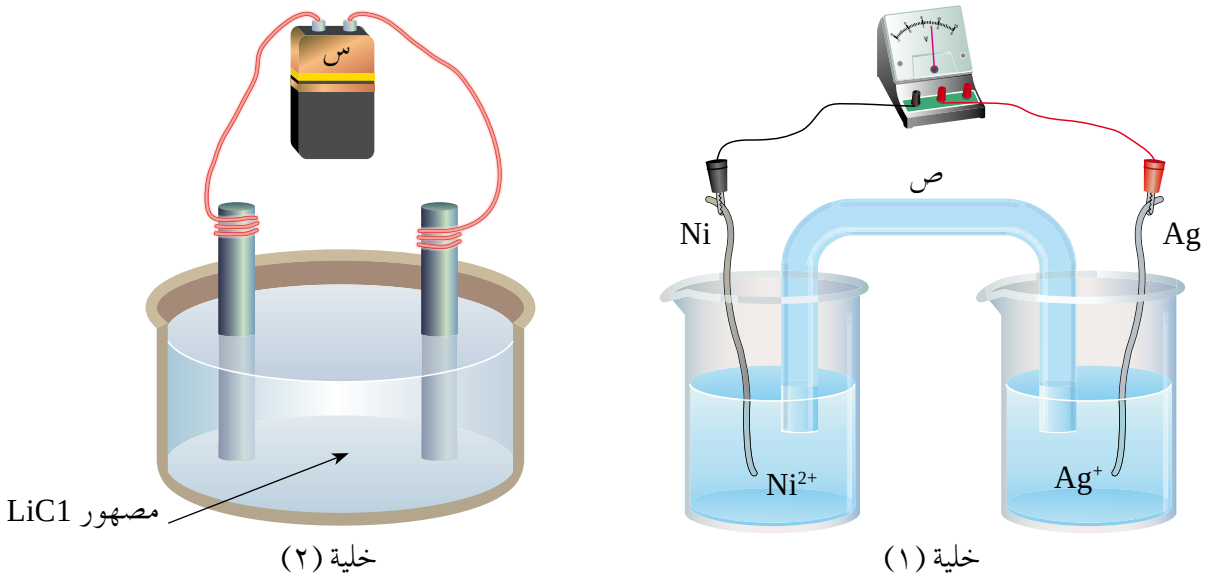
٢) وازن المعادلات الآتية بطريقة نصف التفاعل:

$$HSO_3^- + IO_3^- \xrightarrow{H^+} SO_4^{2-} + I_2$$

$$ICl \xrightarrow{H^+} IO_3^- + I_2 + Cl^-$$

$$MnO_4^- + NO_2 \xrightarrow{OH^-} MnO_2 + NO_3^-$$

٣) يمثل الشكل (٢–١٥) خليتين كهركيميائيتن. بالاستعانة بالجدول (٢–١)، أجب عن الأسئلة التي تليهما:



الشكل (٢–١٥): خليتان كهركيميائيتان.

أ) ما نوع الخلية الثانية؟

ب) ما تحولات الطاقة في الخلية الأولى؟

جـ) ماذا يمثل الرمز (ص) وما دوره في الخلية الأولى؟

د) ما التفاعل الذي يحدث عند المهبط في الخلية الثانية؟

هـ) ما التفاعل الذي يحدث عند المصعد في الخلية الأولى؟

و) ماذا يمثل الرمز (س)؟ وما دوره في الخلية الثانية؟

٤) يبيّن الجدول المجاور عددًا من التفاعلات التي تتم في عدد من الخلايا الغلفانية. ادرسه، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

التفاعلات الخلوية	E° (فولت)
$2Ag^{+} + Ni \longrightarrow 2Ag + Ni^{2+}$	١,٠٣
$Cu^{2+} + H_2 \longrightarrow 2H^{+} + Cu$	٠,٣٤
$Cu + 2Ag^{+} \longrightarrow Cu^{2+} + 2Ag$	٠,٤٦
$Cu^{2+} + Ni \longrightarrow Cu + Ni^{2+}$	٠,٥٧
$Co + 2Ag^{+} \longrightarrow Co^{2+} + 2Ag$	١,٠٨

أ) ما قيمة جهد الاختزال المعياري للفضة؟

ب) خلية غِلفانية قطباها (Ag ، Ni). فأي القطبين تزداد كتلته مع الزمن؟

جـ) خلية غلفانية تتكوّن من الأقطاب (Cu، Co)، احسب قيمة E° للخلية.

د) رتب العناصر (Cu، Co، Ni، Ag) حسب قوتها كعوامل مختزلة تصاعديًّا.

هـ) هل يمكن حفظ محلول $NiSO_4$ في وعاء مصنوع من Ag؟

و) أيُّ الفلزين : Cu أم Ni يستطيع إطلاق غاز الهيدروجين من محلول حمض الهيدروكلوريك المخفف؟

٥) إذا تـم تزويـد خلية التحليـل الكهربائي لمصهور كلوريـد الصوديوم NaCl بجهد مقداره ٣,٥ فولت، فهل تتوقع حدوث تفاعلات تأكسد واختزال؟ فسّر إجابتك مستعينًا بجدول جهـود الاختـزال المعياريـة (٢−١).

٦) لديك الفلزات A، B، C، D، X، Y والتي تكون على شكل أيونات ثنائية موجبة في مركباتها، فإذا علمت أن:

أ) العنصر A يختزل أيونات X^{2+} ، ولا يختزل أيونات C^{2+}.

ب) يمكن حفظ محاليل كل من B و D في وعاء من Y.

جـ) يمكن استخلاص الفلز D من أيوناته باستخدام العنصرB.

د) العنصر B لا يحرر الهيدروجين من محاليله الحمضية، ولكن العنصر X يذوب في محلول حمض HCl المخفف.

أجب عن الأسئلة الآتية:

(١) ما نواتج التحليل الكهربائي لمحلول DSO_4؟

(٢) مـا الفلـز الذي لا يحرر غاز الهيدروجين مـن محلول حمض HCl المخفف، ولا يختزل أيونات D؟

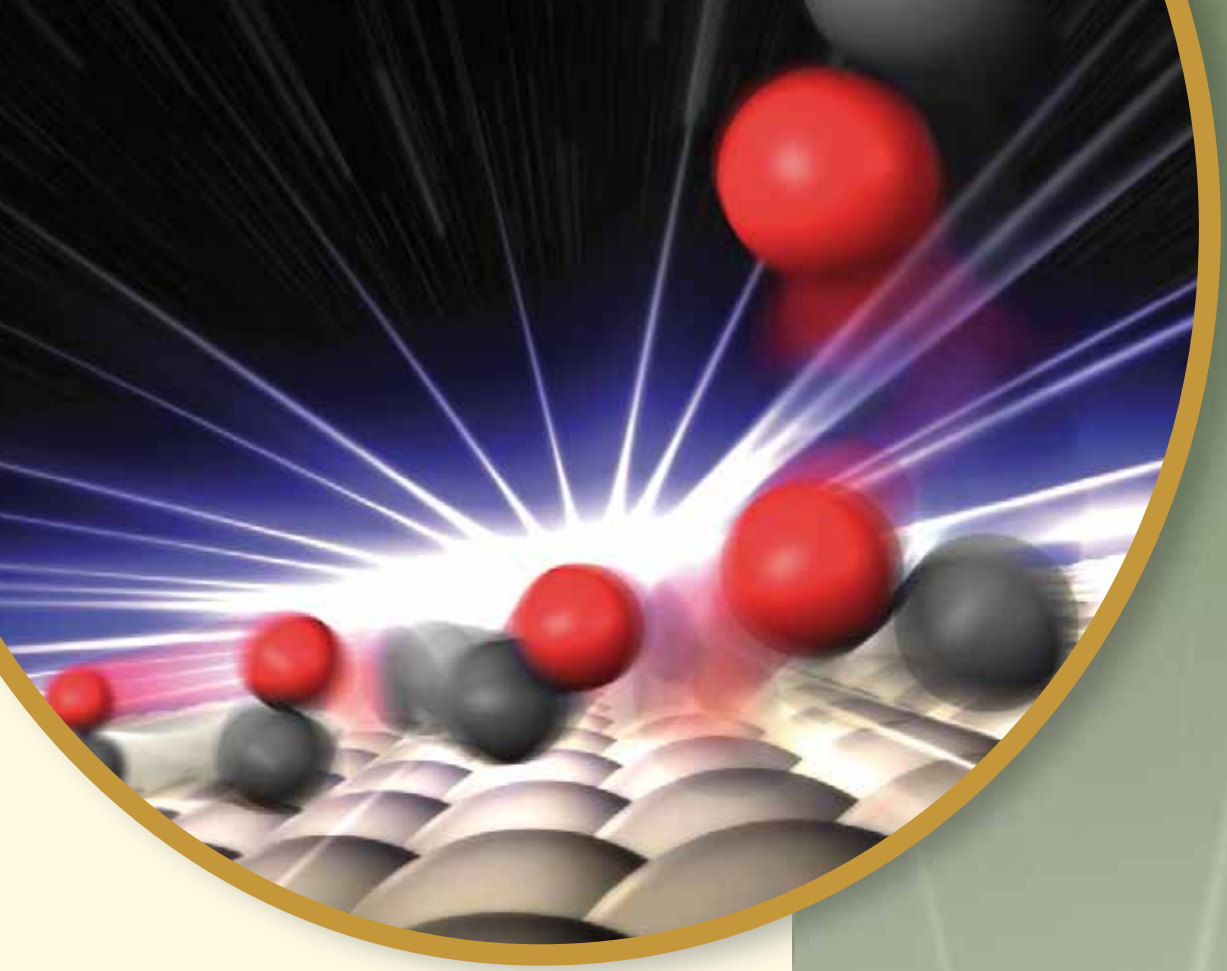
(٣) ماذا يحدث لكتلة القطب X في الخلية الغلفانية التي قطباها D وX؟

(٤) ماذا يحدث لتركيز أيونات C^{2+} في خلية قطباها C وB؟

(٥) هل يمكن حفظ محلول نترات العنصرA في وعاء مصنوع من الفلز B؟

(٦) اكتب التفاعل الذي يحدث عند المصعد في خلية التحليل الكهربائي لمصهور AH_2.

(٧) حدّد فلزين لعمل خلية غلفانية لها فرق جهد أعلى.



الوحدة الثالثة ٣

سرعة التفاعل الكيميائي والعوامل المؤثرة فيها

- سرعة التفاعل الكيميائي
- نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

- لماذا تتفاوت التفاعلات الكيميائية في سرعة حدوثها؟

سرعة التفاعل الكيميائي

Rate of Chemical Reaction

تتفاوت التفاعلات الكيميائية في سرعة حدوثها، فبعضها يتم بسرعة كبيرة كما في احتراق الغابات، ومعظم التفاعلات التي تجري في المحاليل الأيونية، كتفاعل الحموض والقواعد في وسط مائي، وبعض هذه التفاعلات يحدث بسرعة بطيئة، مثل صدأ الحديد، ويستغرق بعضها الآخر آلاف السنين لحدوثه، مثل تفاعلات تكون النفط.

فما المقصود بسرعة التفاعل الكيميائي؟ وكيف يمكن التعبير عنها وقياسها؟

يمكنك الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- توضّح المقصود بسرعة التفاعل الكيميائي.
- تقترح طرائق للتعبير عن سرعة التفاعل الكيميائي وقياسها.
- تجري حسابات تتعلق بسرعة التفاعل الكيميائي.
- تبيّن أثر تركيز المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل الكيميائي.
- تكتب الصيغة العامة لقانون سرعة التفاعل الكيميائي.

أولًا
مفهوم سرعة التفاعل

درست في صفوف سابقة مفهوم السرعة وكيفية حسابها، فسرعة السيارة مثلًا تقاس بحساب التغير في المسافة التي تقطعها في وحدة الزمن، وتقاس سرعة المروحة بحساب عدد دوراتها في وحدة الزمن، كما تقاس سرعة احتراق الوقود في محرك المركبة بحساب معدل استهلاك الوقود في وحدة الزمن، نستنتج من هذه الأمثلة أن **السرعة هي مقياس التغير في كمية معينة في وحدة الزمن.** فهل ينطبق ذلك على التفاعل الكيميائي، وكيف نقيس سرعته؟

تعد **سرعة التفاعل الكيميائي مقياسًا لمقدار التغير في كميات المواد المتفاعلة أو المواد الناتجة في وحدة الزمن.** ونظرًا لاختلاف المواد الكيميائية الداخلة في التفاعل الكيميائي أو الناتجة عنه، في نوعها وطبيعتها فإنه يمكن قياس معدل سرعة التفاعل الكيميائي باستخدام التغير في عدد مولات هذه المواد، أوحجمها، أوكتلتها، أو تركيزها،... في وحدة الزمن. وعليه، فإن طريقة التعبير عن سرعة التفاعل تعتمد على نوع الكميات المستخدمة. فإذا قيست السرعة بالتغير في كتلة المادة المتفاعلة أو الناتجة مع الزمن يكون:

$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \frac{\text{التغير في الكتلة}}{\text{التغير في الزمن}}$$

$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \frac{\text{الكتلة}_{\text{عند الزمن الثاني}} - \text{الكتلة}_{\text{عند الزمن الأول}}}{ن_٢ - ن_١}$$

$ن_١$: الزمن الأول

$ن_٢$: الزمن الثاني

وإذا كانت وحدة كتلة المادة مقيسة بالغرام، والزمن بالثانية؛ فإن وحدة سرعة التفاعل تقاس بالغرام/ثانية (غ/ث).

وأما إذا قيست السرعة بالتغير في تركيز المادة بالمول/لتر مع الزمن بالثانية، فيكون:

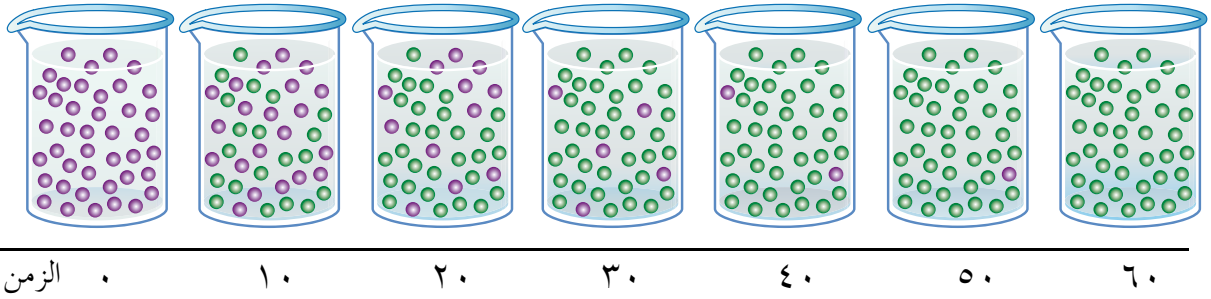
$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \frac{\text{التغير في التركيز}}{\text{التغير في الزمن}}$$

$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \frac{\text{التركيز}_{\text{عند الزمن الثاني}} - \text{التركيز}_{\text{عند الزمن الأول}}}{ن_٢ - ن_١}$$

وتكون وحدة سرعة التفاعل مول/لتر.ث.

ويعد قياس التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة بالنسبة للزمن من أكثر الطرق الشائعة للتعبير عن معدل سرعة التفاعل، إذ تقل تراكيز المواد المتفاعلة مع الزمن وتزداد تراكيز المواد الناتجة كما يوضحه التفاعل العام في الشكل (٣-١).

$$A \longrightarrow B$$



الشكل(٣-١): نقصان تركيز المواد المتفاعلة وزيادة تركيز المواد الناتجة مع الزمن.

ففي تفاعل المغنيسيوم Mg مع محلول حَمض الكبريتيك H_2SO_4 لإنتاج كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4$ وغاز الهيدروجين H_2 كما في المعادلة الآتية:

$$Mg_{(s)} + H_2SO_{4(aq)} \longrightarrow MgSO_{4(aq)} + H_{2(g)}$$

يمكن التعبير عن معدل سرعة التفاعل كالآتي:

$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \text{معدل سرعة إنتاج } MgSO_4 = \frac{[MgSO_4]\Delta}{\text{ن}\Delta}$$

أو:

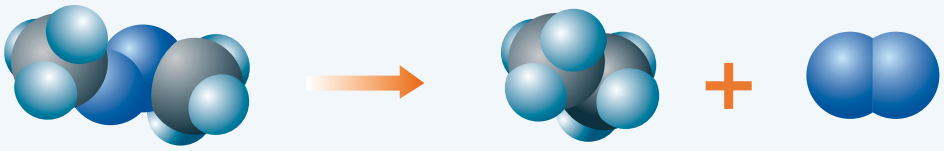
$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \text{معدل سرعة استهلاك } H_2SO_4 = \frac{[H_2SO_4]\Delta -}{\text{ن}\Delta}$$

ويمكن التعبير عن معدل سرعة التفاعل بدلالة التغير في كتلة المغنيسيوم المستهلكة أو التغير في حجم غاز الهيدروجين الناتج في وحدة الزمن.

لاحظ عند حساب معدل السرعة بدلالة استهلاك مادة متفاعلة يكون التغير في التركيز سالبًا، لذلك يضرب التغير في التركيز بإشارة سالب؛ لأن معدل السرعة هو قيمة عددية موجبة.

مثال (١)

يتحلل مركب آزوميثان $(CH_3N = NCH_3)$ وفق المعادلة الآتية:



$$CH_3N = NCH_{3(g)} \longrightarrow C_2H_{6(g)} + N_{2(g)}$$

فإذا كان تركيز $(CH_3N = NCH_3)$ في بداية التفاعل ١,٥ × ١٠$^{-٢}$ مول/لتر وأصبح تركيزه بعد مرور ١٠ دقائق ١,٢٩ × ١٠$^{-٢}$ مول/لتر، احسب معدل السرعة لهذا التفاعل.

الحل

معدل سرعة التفاعل = معدل سرعة استهلاك $CH_3N = NCH_3$

$$= \frac{-\Delta[CH_3N = NCH_3]}{\Delta ن}$$

$$= -\frac{(١,٢٩ \times ١٠^{-٢} - ١,٥ \times ١٠^{-٢})}{١٠} = ٢,١ \times ١٠^{-٤} \text{ مول/لتر.دقيقة}$$

لاحظ أن عدد المولات في معادلة التفاعل متساوية لجميع المواد؛ ولذلك فإن:

معدل سرعة التفاعل = معدل سرعة استهلاك $CH_3N = NCH_3$ = معدل سرعة إنتاج C_2H_6

= معدل سرعة إنتاج N_2

سؤال

■ في التفاعل الآتي: $CO_{(g)} + NO_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} + NO_{(g)}$

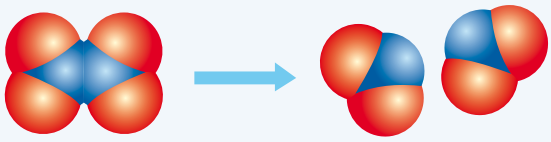
إذا كان تركيز NO يساوي ٠,٤٠ مول/لتر بعد مرور ٤٥ ثانية على بدء التفاعل، ويساوي ٠,٨٥ مول/لتر بعد مرور ٨٠ ثانية على بدئه:

◄ احسب معدل سرعة التفاعل. ◄ احسب معدل سرعة استهلاك CO.

والآن هل يختلف معدل سرعة التفاعل أو سرعة استهلاك المواد أو إنتاجها باختلاف عدد المولات في المعادلة الكيميائية الموزونة؟ لتتعرّف ذلك، ادرس المثال الآتي:

مثال (٢)

يتحلل N_2O_4 إلى NO_2 كما في المعادلة الآتية:



$$N_2O_{4(g)} \longrightarrow 2NO_{2(g)}$$

ادرس الجدول (٣–١)، الذي يبيّن تغير تركيز المواد المتفاعلة والناتجة مع الزمن، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

الجدول (٣–١): تغير تركيز $[N_2O_4]$ و $[NO_2]$ مع الزمن.

الزمن (ث)	$[N_2O_4]$ مول/لتر	$[NO_2]$ مول/لتر
٠	٠,١٠	٠
٢٠	٠,٠٧	٠,٠٦
٤٠	٠,٠٥	٠,١٠
٦٠	٠,٠٤	٠,١٢

١) احسب معدل سرعة استهلاك N_2O_4 في الفترة الزمنية (٢٠–٤٠) ث.

٢) احسب معدل سرعة تكون NO_2 في الفترة الزمنية (٢٠–٤٠) ث .

٣) ما العلاقة بين معدل سرعة استهلاك N_2O_4، ومعدل سرعة تكون NO_2؟

الحل

١) معدل سرعة استهلاك $N_2O_4 = \frac{-\Delta[N_2O_4]}{\Delta ن} = \frac{-(٠,٠٥ - ٠,٠٧)}{٤٠ - ٢٠}$

$= ١ \times ١٠^{-٣}$ مول/لتر.ث

٢) معدل سرعة تكون $NO_2 = \frac{\Delta[NO_2]}{\Delta ن} = \frac{(٠,١٠ - ٠,٠٦)}{٤٠ - ٢٠}$

$= ٢ \times ١٠^{-٣}$ مول/لتر.ث

٣) معدل سرعة استهلاك N_2O_4 يساوي نصف معدل سرعة تكون NO_2.

وهذا يتفق مع النِّسب المولية للمواد في المعادلة الكيميائية الموزونة، إذ إن عدد مولات N_2O_4 يساوي نصف عدد مولات NO_2.

لاحـظ في المثـال السابق، أننا حصلنا علـى قيمتين مختلفتين إحداهما لمعـدل سرعة استهلاك N_2O_4، والأخرى لمعدل سرعة تكون NO_2، فأيهما هو الذي يمثل معدل سرعة التفاعل؟

لقد اصطُلِح للتعبير عن معدل سرعة التفاعل الكلي بدلالة مول واحد من أي من المواد المتفاعلة أو الناتجة، وعليه فإن:

معدل سرعة التفاعل = معدل سرعة استهلاك N_2O_4 = $\frac{١}{٢}$ معدل سرعة إنتاج NO_2

وفي التفاعل العام الآتي:

$$aA + bB \longrightarrow cC$$

يمكـن التعبيـر عن معدل سرعة التفاعـل وعلاقتها بمعدل سرعة الاستهـلاك أو الإنتاج للمواد المختلفة على النحو الآتي:

معدل سرعة التفاعل = $\frac{١}{a}$ معدل سرعة استهلاك A = $\frac{١}{b}$ معدل سرعة استهلاك B = $\frac{١}{c}$ معدل سرعة إنتاج C

كما يمكن التعبير عن معدل سرعة التفاعل بدلالة التغير في التركيز مع الزمن على النحو الآتي:

$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \frac{١}{a}\frac{-\Delta[A]}{\Delta ن} = \frac{١}{b}\frac{-\Delta[B]}{\Delta ن} = \frac{١}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta ن}$$

سؤال

■ ادرس بيانـات الجدول أدناه والمتعلقة بالتفاعل الآتـي، والذي يحدث عند ٣٠٠°س، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

$$2NO_{2(g)} \longrightarrow 2NO_{(g)} + O_{2(g)}$$

الزمن (ث)	$[NO_2]$ مول/لتر
٠	٠,٠١٠٠
٥٠	٠,٠٠٨٠
١٠٠	٠,٠٠٦٥
١٥٠	٠,٠٠٥٥

◄ اكتب العلاقة بين معدل سرعة استهلاك NO_2 ومعدل سرعة إنتاج O_2.

◄ احسب معدل سرعة استهلاك NO_2 في الفترة (٠–٥٠).

◄ احسب معدل سرعة إنتاج NO في الفترة (١٠٠–١٥٠).

◄ أيُّ الفترات الآتية يكون معدل سرعة التفاعل فيها أعلى؟

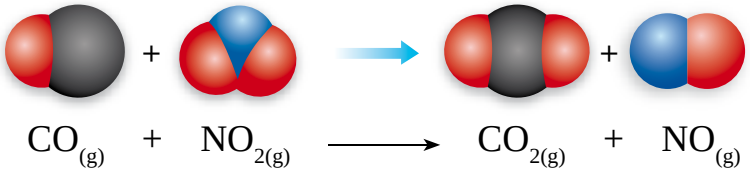
(٠–٥٠)، أو (٥٠–١٠٠)، أو (١٠٠–١٥٠) ولماذا؟

ثانيًا

تغير سرعة التفاعل مع الزمن

عرفت أنه يمكن قياس معدل سرعة التفاعل بمعرفة التغير في تركيز إحدى المواد المتفاعلة أو الناتجة خلال فترة زمنية معينة. والسؤال الآن كيف يمكن قياس سرعة التفاعل عند لحظة زمنية معينة؟ وهل تبقى سرعة التفاعل ثابتة بمرور الزمن؟

للإجابة عن ذلك، ادرس بيانات الجدول (٣–٢) التي تم الحصول عليها بالتجربة والمتعلقة بالتفاعل الآتي:



$$CO_{(g)} + NO_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} + NO_{(g)}$$

ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

الجدول (٣–٢): تغير سرعة التفاعل مع الزمن.

الزمن (ث)	[CO] (مول/لتر)	[NO_2] (مول/لتر)	السرعة اللحظية (مول/لتر.ث)
٠	٠,١٠٠	٠,١٠٠	$٤,٩ \times ١٠^{-٣}$
١٠	٠,٠٦٧	٠,٠٦٧	$٢,٢ \times ١٠^{-٣}$
٢٠	٠,٠٥٠	٠,٠٥٠	$١,٢ \times ١٠^{-٣}$
٣٠	٠,٠٤٠	٠,٠٤٠	$٠,٨ \times ١٠^{-٣}$
٤٠	٠,٠٣٣	٠,٠٣٣	$٠,٥ \times ١٠^{-٣}$
١٠٠	٠,٠١٧	٠,٠١٧	$٠,١ \times ١٠^{-٣}$

- كيف تتغير سرعة التفاعل مع مرور الزمن؟
- ماذا يحدث لسرعة التفاعل مع تناقص تركيز المواد المتفاعلة؟
- عند أي زمن تكون سرعة التفاعل أعلى ما يمكن؟ ولماذا؟

لعلك توصلت من خلال إجابتك عن الأسئلة السابقة، إلى أنه بتناقص تركيز المواد المتفاعلة تتناقص سرعة التفاعل باستمرار، وتكون سرعته أكبر ما يمكن في بداية التفاعل، أي عند الزمن صفر، وتسمى السرعة في هذه الحالة **السرعة الابتدائية**، وتسمى سرعة التفاعل عند أي لحظة زمنية **السرعة اللحظية**، ويمكن حسابها عند زمن محدد من خلال رسم منحنى يمثل التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة مع الزمن، ثم إيجاد ميل المماس للمنحنى الناتج عند تلك اللحظة، فمثلًا:

يمكن إيجاد سرعة التفاعل السابق بدلالة تغير تركيز CO عند الزمن ٣٥ ثانية، برسم مماس المنحنى عند الزمن ٣٥ ثانية، كما في الشكل (٣–٢):

الشكل (٣–٢): تغير تركيز CO مع الزمن.

لاحظ أن المماس يقطع محور التركيز عند ٠,٠٦٢ مول/لتر. ويقطع محور الزمن عند ٧٨ ثانية. وعليه يمكن حساب السرعة اللحظية للتفاعل عند الزمن ٣٥ ثانية كالآتي:

$$\text{السرعة اللحظية} = \frac{\Delta[CO]}{\Delta\text{ن}}$$

$$= \frac{٠-٠,٠٦٢}{٠-٧٨} = ٧,٩٥ \times ١٠^{-٤} \text{ مول/لتر.ث}$$

ثالثًا أثر التركيز في سرعة التفاعل (قانون سرعة التفاعل)

عرفت سابقًا أن سرعة التفاعل تتناقص بمرور الزمن بسبب تناقص تركيز المواد المتفاعلة. وقد وجد عمليًّا أن سرعة التفاعل تتناسب طرديًّا مع تركيز المواد المتفاعلة مرفوعة لأس معينة (x)

فمثلا في التفاعل العام الآتي: $A \longrightarrow$ نواتج

يمكن التعبير عن علاقة سرعة التفاعل بالتركيز على النحو الآتي:

سرعة التفاعل $\alpha [A]^x$

حيث x تسمى رتبة التفاعل للمادة A، وهي قيمة عددية صحيحة (٠، ١، ٢،....) أو قد تكون قيمة كسرية، ويتم حسابها عادة من التجربة العملية.

ويمكن تحويل العلاقة السابقة إلى علاقة تساوٍ بإدخال ثابت التناسب الذي يسمى ثابت سرعة التفاعل (Rate Constant) ويرمز له بالرمز k على النحو الآتي:

سرعة التفاعل $= k\,[A]^x$ ويسمى الصيغة العامة لقانون السرعة.

وللوصول إلى هذا القانون، يتم حساب رتبة التفاعل x أولًا، وتعويضها في الصيغة العامة لقانون السرعة. والمثال الآتي يوضح كيفية إيجاد قيمة x عمليًّا:

مثال (٣)

يتفكك غاز N_2O_5 عند درجة ٤٥°س كما في المعادلة الآتية:

$$2N_2O_{5(g)} \longrightarrow 4NO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

وعند قياس سرعة التفاعل الابتدائية باستخدام تراكيز ابتدائية مختلفة للمادة المتفاعلة N_2O_5 في عدة تجارب، تم الحصول على البيانات الموجودة في الجدول أدناه، ادرس هذه البيانات، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

رقم التجربة	$[N_2O_5]$ الابتدائي (مول/لتر)	السرعة الابتدائية (مول/لتر . ث)
١	٠,٠٢	$١,٢ \times ١٠^{-٦}$
٢	٠,٠٤	$٢,٤ \times ١٠^{-٦}$
٣	٠,٠٨	$٤,٨ \times ١٠^{-٦}$

١) ما رتبة التفاعل بالنسبة للمادة N_2O_5؟

٢) اكتب قانون سرعة التفاعل.

٣) احسب قيمة ثابت سرعة التفاعل k وبين وحدته.

الحل

١) تحديد رتبة التفاعل بالنسبة للمادة N_2O_5:

أ) نكتب الصيغة العامة لقانون السرعة:

$$\text{س} = k\,[N_2O_5]^{x}$$

ب) نجد قيمة x بتعويض قيم التركيز والسرعة في قانون السرعة لأي تجربتين مثل (١ و ٢):

$$(\text{سرعة التفاعل})_{١} = \text{س}_{١} = k\,[N_2O_5]^{x}_{١} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

$$(\text{سرعة التفاعل})_{٢} = \text{س}_{٢} = k\,[N_2O_5]^{x}_{٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

جـ) نقسم سرعة التفاعل$_{٢}$ على سرعة التفاعل$_{١}$ فنحصل على:

$$\frac{\text{س}_{٢}}{\text{س}_{١}} = \frac{٢{,}٤ \times ١٠^{-٦}}{١{,}٢ \times ١٠^{-٦}} = \frac{k\,(٠{,}٠٤)^{x}}{k\,(٠{,}٠٢)^{x}}$$

(٢) = (٢)^{x} ولكي يكون الطرف الأيسر مساويًا للطرف الأيمن لهذه النتيجة فإنه لا بد أن تكون قيمة $x = ١$ أي أن:

(٢) = (٢)^{١}

وهذا يعني أن رتبة التفاعل بالنسبة للمادة N_2O_5 = ١

كذلك يمكن استنتاج أن قيمة $x = ١$ من ملاحظة التجربتين (١,٢) فعند مضاعفة $[N_2O_5]$ مرتين، تضاعفت السرعة بالمقدار نفسه.

٢) كتابة قانون سرعة التفاعل

ولأنّ هذا التفاعل أحادي الرتبة؛ فإن قانون سرعة التفاعل يكتب بتعويض قيمة x في الصيغة العامة لقانون السرعة على النحو الآتي:

سرعة التفاعل = $k\,[N_2O_5]^{١}$

٣) حساب قيمة ثابت سرعة التفاعل k ووحدته

لحساب قيمة k نعوض التركيز والسرعة لأي من التجارب الواردة في الجدول في قانون السرعة أعلاه، مثلًا من تجربة رقم (١):

$$\frac{\text{مول}}{\text{لتر.ث}} = k\,(\frac{\text{مول}}{\text{لتر}})^{١} \quad ٠,٠٢ \quad ١٠\times١,٢^{-٦}$$

نقسم طرفي المعادلة على ٠,٠٢

$$\frac{٠,٠٢}{٠,٠٢}k = \frac{١٠\times١,٢^{-٦}}{٠,٠٢}$$

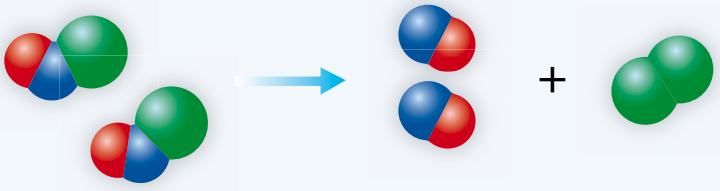
$$\text{ث}$$

فتكون قيمة k = ٦ × ١٠ $^{-٥}$ ث $^{-١}$

بعد دراستك المثال السابق، لابد أنك توصلت إلى أنه لا يوجد علاقة بين عدد مولات N_2O_5 في المعادلة الموزونة ورتبة التفاعل؛ لأن عدد مولات N_2O_5 في المعادلة = ٢ ورتبة التفاعل بالنسبة لها = ١.

مثال (٤)

في التفاعل الآتي:



$$2NOCl_{(g)} \longrightarrow 2NO_{(g)} + Cl_{2(g)}$$

تم الحصول بالتجربة العملية على البيانات المبينة في الجدول أدناه:

رقم التجربة	[NOCl] الابتدائي (مول/لتر)	سرعة التفاعل الابتدائية (مول/لتر.ث)
١	٠,٢	١٠ × ١,٦ $^{-٩}$
٢	٠,٤	١٠ × ٦,٤ $^{-٩}$
٣	٠,٦	١٠ × ١,٤٤ $^{-٨}$

١) اكتب قانون سرعة التفاعل.

٢) احسب قيمة ثابت السرعة k وبين وحدته.

٣) احسب سرعة إنتاج Cl_2 في التجربة رقم ٢

٤) احسب سرعة تكون NO عندما يكون [NOCl] = ٠,١ مول/لتر.

الحل

١) إيجاد قانون سرعة التفاعل.

أ) نكتب الصيغة العامة لقانون السرعة:

$$\text{س} = k\,[NOCl]^{x}$$

ب) لإيجاد قيمة x نأخذ التجربتين (١ و ٢) مثلًا:

نلاحظ عند مضاعفة التركيز مرتين تضاعفت السرعة ٤ مرات إذن قيمة $x = ٢$

أي أن رتبة التفاعل بالنسبة للمادة NOCl = ٢ (الرتبة الثانية)، وعليه فإن قانون سرعة التفاعل:

$$\text{س} = k\,[NOCl]^{٢}$$

٢) لحساب قيمة ثابت السرعة k يمكن أن نعوض القيم في التجربة رقم (١) كالآتي:

$$٦,٤ \times ١٠^{-٩} \text{ مول/لتر.ث} = k\,(٠,٢ \text{ مول/لتر})^{٢}$$

ومنها $k = ٤ \times ١٠^{-٨}$ لتر/مول.ث

لاحظ أن وحدة ثابت السرعة k تختلف باختلاف رتبة التفاعل.

فعندما كان التفاعل من الرتبة الأولى كانت وحدة ثابت السرعة k (ث$^{-١}$)، وعندما كان التفاعل من الرتبة الثانية كانت وحدة k (لتر/مول.ث).

٣) لحساب سرعة إنتاج Cl_2 في التجربة رقم ٢ نلاحظ أن:

سرعة التفاعل = سرعة إنتاج Cl_2 = $٦,٤ \times ١٠^{-٩}$ مول/لتر.ث

٤) لحساب سرعة تكون NO عندما يكون [NOCl]= ٠,١ مول/لتر نحسب أولًا سرعة التفاعل من قانون السرعة كما يأتي:

س = k [NOCl]^{٢}

س = ٤ × ١٠ $^{-٨}$ × (٠,١)^{٢} = ٤ × ١٠ $^{-١٠}$ مول/لتر.ث

سرعة التفاعل = $\frac{١}{٢}$ سرعة تكون NO

٤ × ١٠ $^{-١٠}$ = $\frac{١}{٢}$ سرعة تكون NO

ومنها، فإن سرعة تكوّن NO = ٤×٢ × ١٠ $^{-١٠}$

= ٨ × ١٠ $^{-١٠}$ مول/لتر.ث

سؤال

- في التفاعل العام الآتي: $2A \longrightarrow$ نواتج

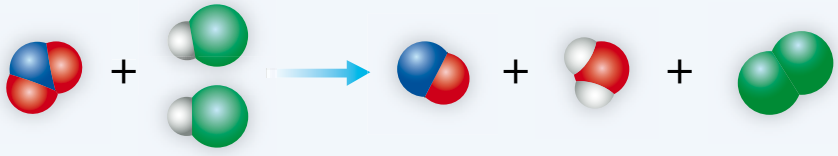
إذا علمت أن قيمة ثابت السرعة k عند درجة حرارة معينة يساوي ١,٥ × ١٠ $^{-٤}$ ث$^{-١}$.

- اكتب قانون سرعة التفاعل.
- احسب سرعة التفاعل عندما يكون [A] = ٠,١ مول/لتر.

ويمكن استخدام الطريقة السابقة لتعيين رتب التفاعلات التي تشتمل على أكثر من مادة متفاعلة، ولتتعرّف ذلك ادرس المثال الآتي:

مثال (٥)

في التفاعل:



$$NO_{2(g)} + 2HCl_{(g)} \longrightarrow NO_{(g)} + H_2O_{(g)} + Cl_{2(g)}$$

تم جمع البيانات في الجدول الآتي عند درجة حرارة ٢٥°س:

رقم التجربة	$[NO_2]$ الابتدائي (مول/لتر)	$[HCl]$ الابتدائي (مول/لتر)	السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)
١	٠,٣٠	٠,٣٠	$١٠ \times ١,٤^{-٣}$
٢	٠,٦٠	٠,٣٠	$١٠ \times ٢,٨^{-٣}$
٣	٠,٣٠	٠,٦٠	$١٠ \times ٢,٨^{-٣}$

١) ما رتبة التفاعل بالنسبة لكل من NO_2 ، HCl؟

٢) ما رتبة التفاعل الكلية؟

٣) اكتب قانون سرعة التفاعل؟

الحل

١) نكتب الصيغة العامة لقانون سرعة التفاعل:

$$\text{س} = k\,[NO_2]^{x}[HCl]^{y}$$

ولإيجاد رتبة التفاعل بالنسبة لـ NO_2 نأخذ التجربتين (١,٢) والذي يكون تركيز HCl فيهما ثابت، فيكون قانون سرعة التفاعل$_٢$ كما يأتي:

$$\text{س}_٢ = k\,(٠,٦٠)^{x}\,(٠,٣٠)^{y} = ١٠ \times ٢,٨^{-٣}$$

وقانون سرعة التفاعل$_١$ كالآتي:

$$\text{س}_١ = k\,(٠,٣٠)^{x}\,(٠,٣٠)^{y} = ١٠ \times ١,٤^{-٣}$$

وبقسمة س$_٢$ على س$_١$ نحصل على:

$$\frac{\text{س}_٢}{\text{س}_١} = \frac{١٠ \times ٢,٨^{-٣}}{١٠ \times ١,٤^{-٣}} = \frac{k\,(٠,٦٠)^{x}(٠,٣٠)^{y}}{k\,(٠,٣٠)^{x}(٠,٣٠)^{y}}$$

$$٢ = (٢)^{x} \qquad \text{ومنها } x = ١$$

أي أن رتبة التفاعل بالنسبة لـ NO_2 = ١ وهذا يعني أنه عند مضاعفة $[NO_2]$ مرتين تتضاعف سرعة التفاعل مرتين.

ولإيجاد رتبة التفاعل بالنسبة لـ HCl نأخذ التجربتين (١,٣) والذي يكون تركيز NO_2 فيهما ثابت.

وبقسمة س٢ على س١ نحصل على:

$$\frac{\text{س}_٢}{\text{س}_١} = \frac{٢,٨ \times ١٠^{-٣}}{١,٤ \times ١٠^{-٣}} = \frac{k(٠,٦٠)^{١}(٠,٣٠)^{y}}{k(٠,٣٠)^{١}(٠,٣٠)^{y}}$$

$٢ = (٢)^{y}$ ومنها $y = ١$

أي أن رتبة التفاعل بالنسبة لـ HCl = ١. وهذا يعني إذا تضاعف [HCl] مرتين، تتضاعف سرعة التفاعل بالمقدار نفسه.

٢) رتبة التفاعل الكلية = مجموع الرتب بالنسبة للمواد المتفاعلة $(x + y) = ١ + ١ = ٢$

٣) قانون سرعة التفاعل هو: س $= k\,[NO_2]^{١}[HC1]^{١}$

سؤال

- ما معنى أن تكون رتبة التفاعل بالنسبة لمادة ما تساوي صفرًا؟
- في التفاعل الافتراضي الآتي: $D + E + F \longrightarrow$ نواتج

تم تسجيل البيانات المبينة في الجدول المجاور عمليًّا من خلال التجربة:

رقم التجربة	[D] الابتدائي (مول/لتر)	[E] الابتدائي (مول/لتر)	[F] الابتدائي (مول/لتر)	السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)
١	٠,١	٠,١	٠,٢	$٤,٤ \times ١٠^{-٦}$
٢	٠,١	٠,١	٠,٤	$٨,٨ \times ١٠^{-٦}$
٣	٠,١	٠,٠٥	٠,٢	$٤,٤ \times ١٠^{-٦}$
٤	٠,٣	٠,١	٠,٢	$١,٣٢ \times ١٠^{-٥}$
٥	؟؟	٠,١	٠,١	$٨,٨ \times ١٠^{-٦}$

- اكتب قانون سرعة التفاعل.
- احسب تركيز المادة D في التجربة رقم ٥.

١) وضّح المقصود بكل مما يأتي:

معدل سـرعة التفاعل الكيميائي، رتبة التفاعل ، السـرعة الابتدائية للتفاعل ، السرعة اللحظية، قانون السرعة، رتبة التفاعل الكلية .

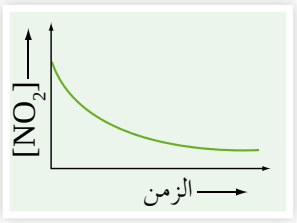
٢) في تفاعل المغنيسيوم مع محلول حَمض HCl

$$Mg_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow MgCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

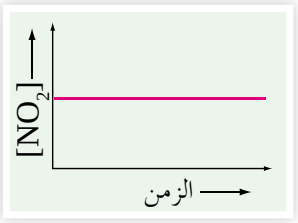
اختفت قطعة من Mg كتلتها ٢ غ عند وضـعها في محلول HC1 بعد مرور ٥ دقائق، احسـب معدل سرعة التفاعل.

٣) يتحول N_2O_4 إلى NO_2 في وعاء مغلق، فإذا تمت متابعة التغير في تركيز النواتج بالنسبة للزمن، فأيُّ الأشكال (A , B , C , D) تمثل المعلومات التي تم جمعها؟

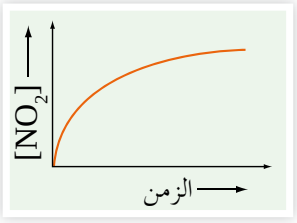
A



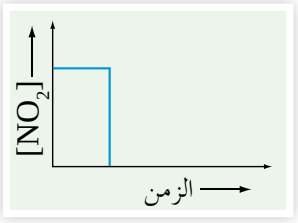
B



C



D



٤) يتحلل الأوزون O_3 وفقًا للمعادلة الآتية: $3O_{2(g)} \longrightarrow 2O_{3(g)}$

إذا تغير تركيز O_3 من ٤,٢ مول/لتر إلى ٣,٦ مول/لتر خلال ١٠٠ دقيقة:

أ) احسب معدل سرعة إنتاج O_2 خلال الفترة الزمنية نفسها بوحدة مول/لتر.ث.

ب) احسب معدل سرعة التفاعل.

جـ) ما العلاقة بين معدل سـرعة تحلل O_3 ومعدل سـرعة تكون O_2 بدلالـة التغير في التركيز والتغير في الزمن؟

٥) في التفاعل الآتي:

$$BrO_3^-{}_{(aq)} + 5Br^-{}_{(aq)} + 6H^+{}_{(aq)} \longrightarrow 3Br_{2(l)} + 3H_2O_{(l)}$$

تم الحصول على البيانات الآتية من التجربة العملية:

رقم التجربة	$[BrO_3^-]$(مول/لتر)	$[Br^-]$ (مول/لتر)	$[H^+]$ (مول/لتر)	السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)
١	٠,١	٠,١	٠,١	٨ × ١٠$^{-٤}$
٢	٠,٢	٠,١	٠,١	١,٦ × ١٠$^{-٣}$
٣	٠,٢	٠,٢	٠,١	٣,٢ × ١٠$^{-٣}$
٤	٠,١	٠,١	٠,٢	٣,٢ × ١٠$^{-٣}$

أ) اكتب قانون سرعة التفاعل.

ب) احسب قيمة ثابت السرعة k وما وحدة قياسه؟

جـ) ما رتبة التفاعل الكلية؟

٦) ادرس الجدول الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

رقم التفاعل	معادلة التفاعل	قانون السرعة	المعلومات
١	A + B + C ⟶ نواتج	س= k [A]^{١}[B]^{٢}	
٢	R + M ⟶ نواتج		رقم التجربة / [R] مول/لتر / [M] مول/لتر / سرعة التفاعل مول/لتر.ث ١ / ٠,١ / ٠,١ / ٢×١٠$^{-٥}$ ٢ / ٠,٢ / ٠,١ / ٨×١٠$^{-٥}$
٣	$2N_2O_5 \longrightarrow 4NO_2 + O_2$	س= k $[N_2O_5]^{١}$	
٤	$CH_3CHO \longrightarrow CH_4 + CO$		k = ٢,٥×١٠$^{-٤}$ لتر/مول.ث

أ) ماذا يحدث لسرعة التفاعل رقم (١) إذا تضاعف [C] ثلاث مرات مع ثبوت العوامل الأخرى؟

ب) اكتب قانون سرعة التفاعل رقم (٢) علمًا بأن الرتبة الكلية للتفاعل ٢.

جـ) حدد العلاقة بين معدل سرعة استهلاك N_2O_5 ومعدل سرعة إنتاج NO_2 في التفاعل رقم (٣) بدلالة التغير في التركيز والتغير في الزمن.

د) احسب سرعة التفاعل رقم (٤) عندما يكون $[CH_3CHO]$ = ٠,٢ مول/لتر، مع ثبوت العوامل الأخرى.

٧) في التفاعل الافتراضي $E + 2B \longrightarrow$ نواتج

إذا علمت أن قانون سرعة التفاعل هو: س = $k[E]^{x}[B]^{١}$

وعند مضاعفة تركيز E ٣ مرات و تركيز B ٤ مرات تضاعفت سرعة التفاعل ٣٦ مرة. ما رتبة E؟

٨) مستخدمًا البيانات الواردة في الجدول الآتي والمتعلقة بالتفاعل العام:

$2D \longrightarrow F + C$

الزمن (ثانية)	[D] مول/لتر	سرعة التفاعل (مول/لتر. ث)
٢	٠,٥٠	١٥×١٠^{-٢}
٤,٢	٠,٢٥	$٧,٥ \times ١٠^{-٢}$
ن	٠,٧٥	؟؟

إذا علمت أن قانون سرعة التفاعل هو: س = $k[D]^{١}$

أ) احسب سرعة التفاعل عندما يكون تركيز D = ٠,٧٥ مول/لتر.

ب) هل قيمة الزمن ن أكبر من ٤,٢ ثانية أم أقل من ٢ ثانية؟ وضّح إجابتك.

٩) في التفاعل الآتي: $A + 2B \longrightarrow 3C + D$

إذا علمت أن قيمة ثابت السرعة k للتفاعل عند درجة حرارة معينة يساوي

٢×١٠^{-٣} لتر/مول.ث، وأن قانون سرعة التفاعل هو: س = $k[A]^{x}$

أ) ما رتبة التفاعل بالنسبة لكل من A و B ؟

ب) احسب سرعة التفاعل عندما يكون تركيز A = ٠,١ مول/لتر، و تركيز B = ٠,٥ مول/لتر.

جـ) احسب سرعة إنتاج C، عندما تكون سرعة استهلاك B تساوي ٠,٦ مول/لتر.ث.

د) كم مرة تتضاعف سرعة التفاعل عند مضاعفة [A] مرتين ، و[B] ثلاث مرات؟

نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

Collision Theory and the Factors that Affect Reaction Rate

تعرّفت في الفصل الأول من هذه الوحدة مفهوم سرعة التفاعل، وطرائق التعبير عنها، وكيفية حسابها. وقد توصلت من خلال ذلك إلى أن سرعة التفاعلات الكيميائية تتفاوت من تفاعل لآخر.

من المهم معرفة العوامل المؤثرة في سرعة التفاعلات الكيميائية المختلفة لزيادة سرعة بعضها بهدف زيادة الإنتاجية كزيادة سرعة إنتاج الأمونيا أو المواد الصناعية المختلفة أو تقليل سرعة بعضها الآخر التي هي غير مرغوب فيها كتقليل سرعة تحلل الأغذية وفسادها. فما هذه العوامل؟ وكيف تؤثر في سرعة التفاعل؟ وما النظرية التي تبناها العلماء لتفسير أثر هذه العوامل؟

يمكنك الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- توضّح بنود نظرية التصادم، وتوظفها في تفسير العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.
- تستنتج العلاقة بين طاقة التنشيط والتغير في المحتوى الحراري للتفاعل في اتجاهيه: الأمامي والعكسي باستخدام منحنى الطاقة – سير التفاعل.
- تستقصي العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي.
- توضّح مفهوم العامل المساعد، وتبيّن أثره في سرعة التفاعل، وطاقة التنشيط.

أولًا

نظرية التصادم

تتفاوت سرعة التفاعلات الكيميائية تبعًا لآلية حدوثها، والظروف والعوامل التي تؤثر فيها، فمنها ما هو سريع مثل تفاعل كربونات الصوديوم الهيدروجينية مع الخل، ومنها ما هو بطيء مثل تكوّن الماس في باطن الأرض. ولتفسير كيفية حدوث التفاعل الكيميائي، وفهم أثر العوامل المختلفة المؤثرة في سرعة حدوثه، وضع العلماء نظرية أسموها نظرية التصادم، وهي تشتمل على عدة افتراضات، فما هي؟ وكيف ساهمت هذه الافتراضات في تفسير أثر العوامل المختلفة في سرعة التفاعلات؟

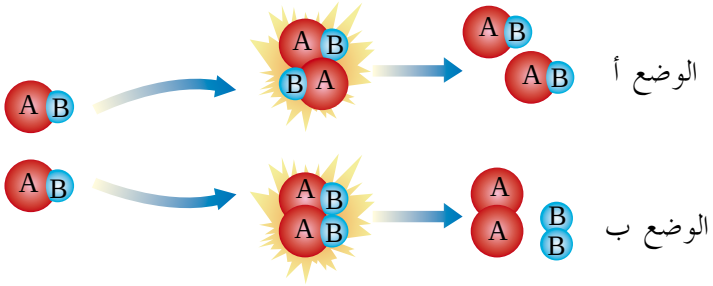
تتضمن نظرية التصادم عدة افتراضات أهمها:

الافتراض الأول: ينص على أن التصادم بين دقائق المواد المتفاعلة شرط أساسي لحدوث التفاعل الكيميائي، وهذا يعني عدم حدوث تفاعل بين المواد دون حدوث تصادم بين دقائقها. وأما **الافتراض الثاني: فينص على أن سرعة التفاعل الكيميائي تتناسب طرديًّا مع عدد التصادمات الحاصلة بين دقائق المواد المتفاعلة في وحدة الزمن**. فكلما زاد عدد التصادمات بين دقائق المواد المتفاعلة زادت احتمالية حدوث التفاعل.

ولكن هل تؤدي جميع التصادمات بين دقائق المواد المتفاعلة إلى حدوث تفاعل وتكوين مواد ناتجة؟ تقودنا مناقشة هذا السؤال إلى **الافتراض الثالث الذي ينص على ضرورة أن يكون التصادم بين دقائق المواد المتفاعلة تصادمًا فعالًا لكي يحدث التفاعل**، ويقصد بالتصادم الفعال؛ التصادم الذي يؤدي إلى تكوين نواتج. وحتى يكون التصادم فعالًا فلابد من شرطين هما:

- **الشرط الأول:** أن يكون اتجاه التصادم بين دقائق المواد المتفاعلة مناسبًا؛ أي أن تتصادم الدقائق بالاتجاه الذي يؤدي إلى تكوين النواتج. ولتوضيح ذلك، ادرس الشكل (٣–٣) الذي يبيّن تفكك المركب AB كما في المعادلة:

$$2AB \longrightarrow A_2 + B_2$$



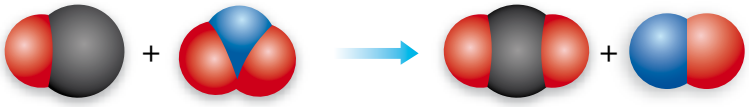
الشكل (٣-٣):التصادمات المحتملة بين جزيئات AB.

تفحص الشكل وبين أي الأوضاع (أ) أم (ب) يكون التصادم فيه مناسبًا بحيث يؤدي إلى تكوين المواد الناتجة؟ ولماذا؟

لاحظ أنّ الوضع (أ) تتصادم فيه ذرة A من الجزيء الأول مع ذرة B من الجزيء الثاني، فيؤدي إلى إعادة تكوين AB، وهو المادة المتفاعلة نفسها، أي ترتيب الجزيئات المتصادمة غيرُ مناسب. وأما الوضع (ب) فتتصادم فيه ذرة A من الجزيء الأول مع ذرة A من الجزيء الثاني،وتتصادم ذرة B مع ذرة B ؛ فيؤدي إلى تكوين A_2 و B_2، وهي النواتج المطلوبة كما يتضح من معادلة التفاعل، وهذا يشير إلى أن الوضع (ب) هو الوضع المناسب لحدوث التصادم الذي يؤدي إلى تكوين نواتج.

سؤال

■ بالرجوع إلى الشكل الآتي، الذي يمثل أحد التفاعلات الكيميائية:



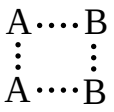
بين أيّ الأوضاع (أ) أم (ب) يكون التصادم فيها مناسبًا ويؤدي إلى تكوين نواتج؟

تصادم يمثل الوضع (أ)

تصادم يمثل الوضع (ب)

◄ **الشرط الثاني:** أن تمتلك الدقائق المتفاعلة عند تصادمها حدًّا أدنى من الطاقة يكفي لكسر الروابط بين ذراتها، وتكوين روابط جديدة تؤدي إلى تكوّن النواتج. ويسمى هذا الحد الأدنى من الطاقة **طاقة التنشيط** (Activation Energy) ويرمز لها بالرمز Ea.

عند حدوث التصـادم الفعال، تضـعف الروابط بين ذرات المـواد المتفاعلة، ويبدأ تكوّن روابط جديدة بين هذه الذرات، فيؤدي إلى تكوين بناء غير مستقر له طاقة وضع عالية، يسمى **المُعقّد المُنشّـط** (Activated Complex)، والذي يتفكك ليكوّن النواتج. وبالرجوع إلى تفاعل تفكك AB يمكن تمثيل بناء المعقد المنشط كما في الشكل (٣–٤):



الشكل (٣–٤): بناء المعقد المنشط.

سؤال

- ارسم بناء المعقد المنشط في التفاعل الآتي:

$$H_2 + I_2 \longrightarrow 2HI$$

وبناء على ذلك، فإن التصـادم الفعال هو التصـادم الذي يحدث بيـن الدقائق التي تمتلك طاقة التنشيط ويكون اتجاه تصادمها مناسبًا، وهذا ما وضحته نظرية التصادم التي تنص على أنه " **لحدوث تفاعـل كيميائـي فلا بد أن يحدث تصـادم بين الجزيئـات المتفاعلة بحيث تمتلك الجزيئات المتصـادمة الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لحدوث تصادم فعال**".

ثانيًا

العلاقة بين طاقة التنشيط (Ea) والتغير في المحتوى الحراري للتفاعل (ΔH)

درست في الصف العاشر أن التفاعلات الكيميائية تكون مصحوبة بحدوث تغيرات في الطاقة، فبعضـها تحتـاج إلى طاقة حتى تحدث، وتسـمى تفاعلات ماصّـة للطاقة، مثـل تحلل كربونات الكالسيوم بالحرارة.

$$CaCO_{3(s)} + 178\ kJ \longrightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

وبعضها الآخر يؤدي حدوثه إلى انبعاث كمية من الطاقة، وتسمى تفاعلات طاردة للطاقة، مثل احتراق الميثان.

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + 889.5\ kJ$$

وهنا يتبادر الى الذهن السؤال الآتي: ما مصدر الطاقة التي تنتج من التفاعلات الطاردة للطاقة؟

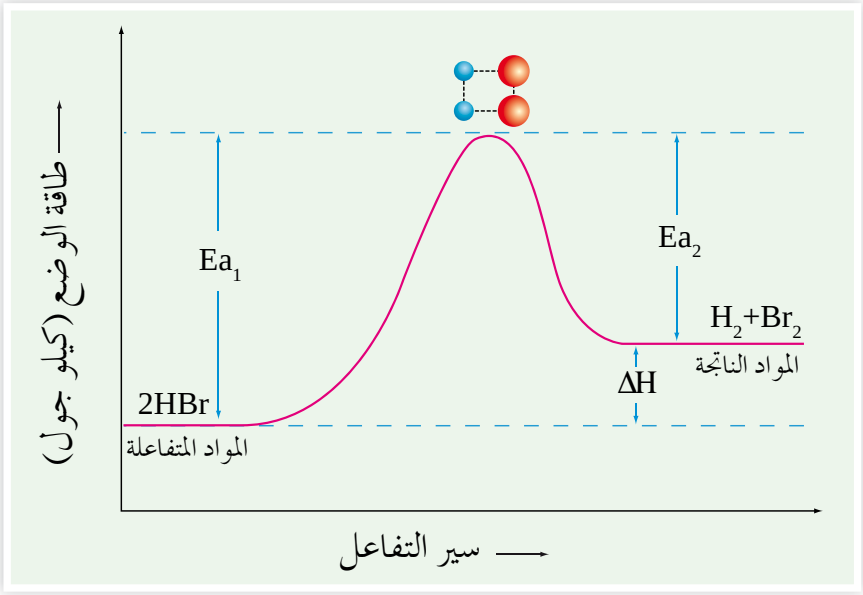
وأين تخزن الطاقة التي تكسبها التفاعلات الماصّة للطاقة؟

يمكن فهم ذلك، إذا عرفنا أن المواد المتفاعلة تختزن كمية من الطاقة تُعرَف بطاقة وضع المواد المتفاعلة، أو المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة، ويرمز له بالرمز ($H_{\text{المواد المتفاعلة}}$)، كما تختزن المواد الناتجة كمية من الطاقة تعرف بطاقة وضع المواد الناتجة، أو المحتوى الحراري للمواد الناتجة، ويرمز له بالرمز ($H_{\text{المواد الناتجة}}$) ويعبر عن الطاقة المصاحبة للتفاعل بالتغير في المحتوى الحراري بين المواد الناتجة والمتفاعلة، ويرمز له بالرمز ΔH إذ إن:

$$\Delta H = H_{\text{المواد الناتجة}} - H_{\text{المواد المتفاعلة}}$$

ولتوضيح تغيرات الطاقة التي تحدث خلال التفاعل الكيميائي ادرس الشكل (٣–٥) الذي يمثل تفكك HBr، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

$$2HBr_{(g)} \rightleftharpoons H_{2(g)} + Br_{2(g)}$$



الشكل (٣–٥): منحنى طاقة الوضع أثناء سير التفاعل.

- ما التغيّرات التي طرأت على طاقة وضع المواد المتفاعلة أثناء سير التفاعل؟
- ماذا يمثل الفرق بين طاقة وضع المواد المتفاعلة وطاقة المعقد المنشط؟
- أيهما طاقة وضعه أعلى، المواد المتفاعلة أم المواد الناتجة؟

يوضح الشكل (٣–٥) أن طاقة وضع المواد المتفاعلة في التفاعل السابق تزداد أثناء سير

التفاعل بسبب تصادمها، حتى تصل الى أعلى قيمة لها تسمى **طاقة وضع المعقد المنشط**، وتسمى الطاقة التي تكتسبها المواد المتفاعلة للوصول إلى طاقة وضع المعقد المنشط **طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي** (Ea_1). ونتيجة تكوّن الروابط الجديدة في جزيئات H_2 وBr_2 ، تنخفض طاقة وضع المواد المتصادمة حتى تصل إلى الوضع المبيّن في الشكل السابق. ولأن طاقة وضع المواد الناتجة أكبر من طاقة وضع المواد المتفاعلة؛ فإن التفاعل يعد ماصًّا للطاقة، وبناء على ذلك تكون إشارة ΔH موجبة.

وعند النظر إلى التفاعل العكسي، فإن الفرق بين طاقة وضع المعقد المنشط وطاقة وضع المواد الناتجة يسمى **طاقة التنشيط للتفاعل العكسي** (Ea_2).

وفي التفاعلات الطاردة للطاقة تكون طاقة وضع المواد الناتجة أقل من طاقة وضع المواد المتفاعلة؛ لذلك تكون إشارة ΔH سالبة.

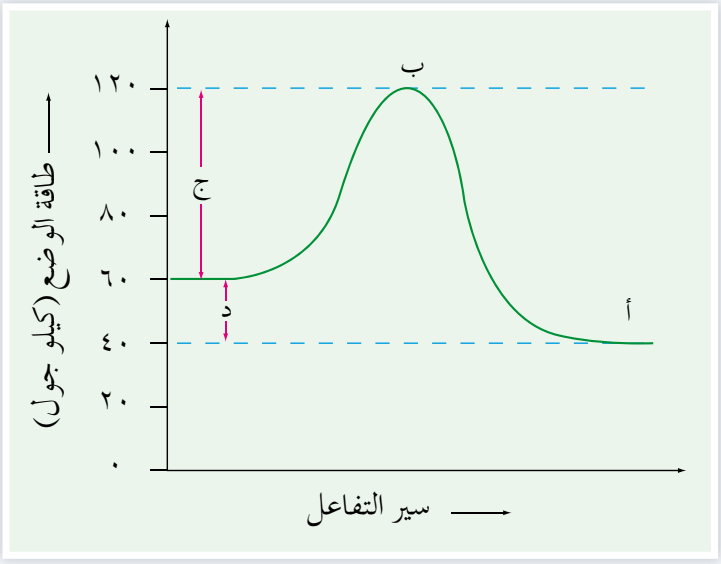
ولتوضيح ذلك، ادرس المثال الآتي:

مثال (١)

ادرس الشكل (٣–٦) الذي يمثل سير التفاعل الافتراضي الآتي:

$$A + B \rightleftharpoons AB$$

ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٣–٦): منحنى طاقة الوضع أثناء سير التفاعل.

١) إلاَم تشير كل من الرموزالآتية: أ، ب، ج، د؟

٢) ما مقدار طاقة وضع المعقد المنشط؟

٣) ما مقدار طاقة وضع المواد المتفاعلة؟

٤) ما قيمة التغير في المحتوى الحراري (ΔH) للتفاعل؟

٥) هل التفاعل ماص للطاقة أم طارد لها؟

٦) ما مقدار طاقة التنشيط للتفاعل العكسي؟

الحل

١) الرمز(أ) يشير إلى المواد الناتجة.

الرمز(ب) يشير إلى حالة المعقد المنشط.

الرمز(ج) يشير إلى طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي (Ea_1).

الرمز(د) يشير إلى التغير في المحتوى الحراري للتفاعل (ΔH).

٢) طاقة وضع المعقد المنشط تساوي ١٢٠كيلوجول.

٣) طاقة وضع المواد المتفاعلة تساوي ٦٠ كيلوجول.

٤) التغير في المحتوى الحراري (ΔH) =٤٠ـ٦٠= ـ٢٠ كيلوجول.

٥) التفاعل طارد للطاقة.

٦) طاقة التنشيط للتفاعل العكسي (Ea_2) = ١٢٠ – ٤٠ =٨٠ كيلوجول.

سؤال

- إذا كانت قيم طاقات الوضع (كيلوجول) لتفاعل افتراضي هي:

المـواد المتفاعلـة ٨٠، المـواد الناتجة ٥٠، طاقة التنشـيط للتفاعـل الأمامي Ea_1 =٧٥،

فأجب عن الأسئلة الآتية:

- ما قيمة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي؟
- ما طاقة وضع المعقد المنشط؟
- ما قيمة ΔH للتفاعل؟

ثالثًا العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

تتأثر سرعة التفاعل بعدد من العوامل منها تركيز المواد المتفاعلة، وطبيعتها، ومساحة السطح المعرض للتفاعل، ودرجة الحرارة، واستخدام العامل المساعد. فكيف تؤثر هذه العوامل في سرعة التفاعل الكيميائي؟ وكيف يمكن تفسير أثر هذه العوامل في ضوء نظرية التصادم؟

١- تركيز المواد المتفاعلة

تتأثر سرعة التفاعل الكيميائي بتغير تركيز المواد المتفاعلة، ولتتعرّف أثر التركيز في سرعة التفاعل، نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (٣-١): أثر التركيز في سرعة التفاعل

المواد والأدوات

شريط من المغنيسيوم Mg، ٣محاليل HCl أحدهما بتركيز ١مول/لتر والثاني بتركيز ٠,١ مول/لتر، والثالث بتركيز ٠,٠١مول/لتر، وثلاثة أنابيب اختبار، وحامل أنابيب الاختبار، وقفازات.

الخطوات

١- ضع في أنبوب الاختبار الأول ٥مل من حمض HCl الذي تركيزه ١مول/لتر.

٢- ضع في أنبوب الاختبار الثاني ٥ مل من HCl الذي تركيزه ٠,١مول/لتر.

٣ - ضع في أنبوب الاختبار الثالث ٥ مل من HCl الذي تركيزه ٠,٠١مول/لتر.

٤- قص ١٠سم من شريط المغنيسيوم وقطّعه إلى ثلاث قطع متساوية.

٥- أضف قطعة من المغنيسيوم إلى كل أنبوب من الأنابيب السابقة.

- ما دلائل حدوث التفاعل؟
- في أي الأنابيب كانت سرعة التفاعل أكبر؟ ولماذا؟

الشكل(٣-٧): تفاعل حمض HCl بتراكيز مختلفة مع المغنيسيوم.

يؤدي تفاعل المغنيسيوم مع محلول HCl إلى تصاعد غاز الهيدروجين، كما في المعادلة الآتية:

$$Mg_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow MgCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

ويتضح من النشاط السابق أن الأنبوب الذي يحتوي على محلول HCl الذي تركيزه ١ مول/لتر كانت كمية غاز الهيدروجين المتصاعدة منه أكبر ما يمكن، ويليه الأنبوب الذي يحتوي على محلول HCl ذي التركيز ٠,١ مول/لتر، وأقلها المحلول ذو التركيز ٠,٠١ مول/لتر، وهذا يدل على أن سرعة التفاعل الكيميائي زادت بزيادة تركيز HCl.

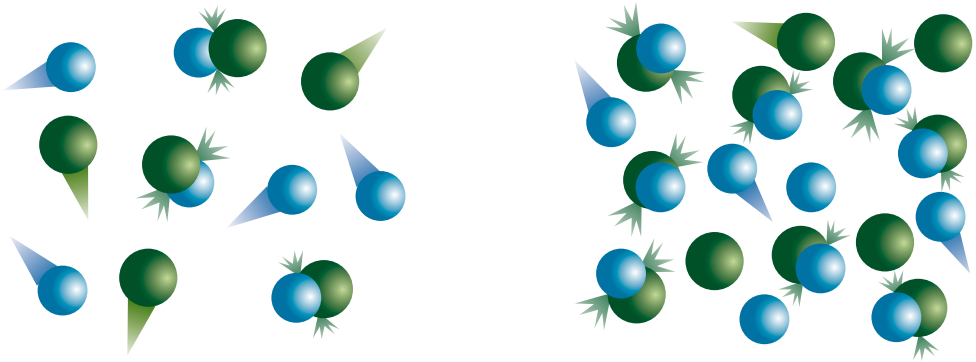
والآن كيف نفسر ذلك بالاعتماد على نظرية التصادم؟

إن ازدياد تركيز HCl يزيد من عدد أيونات Cl^- و H^+ الموجودة في وحدة الحجم، وهذا بدوره يزيد من عدد التصادمات الكلية المحتملة بينها وبين دقائق المغنيسيوم، فيزداد عدد التصادمات الفعالة، فيؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل.

ويمكن توضيح ذلك من خلال المخطط الآتي:

ازدياد تركيز HCl ← ازدياد عدد الدقائق في وحدة الحجم ← ازدياد عدد التصادمات الكلية المحتملة ← ازدياد عدد التصادمات الفعالة ← زيادة سرعة التفاعل.

والشكل (٣-٨) يوضح أثر التركيز في عدد التصادمات.



الشكل(٣-٨):زيادة عدد التصادمات الممكنة بزيادة تركيز المواد المتفاعلة.

٢- طبيعة المادة المتفاعلة

تختلف المواد في سرعة تفاعلها تبعًا لاختلاف تركيبها الكيميائي وخصائصها. ولتوضيح ذلك، أجب عن الأسئلة الآتية:

أ - أيهما أسرع تفاعلًا مع الماء فلز الصوديوم أم فلز المغنيسيوم؟

ب- في أيّ الحالات الآتية يظهر اللون الأصفر بسرعة أكبر، عند خلط محلول نترات الفضة

$AgNO_3$ مع محلول يوديد البوتاسيوم KI أم عند خلط مسحوقين منهما؟

بعد إجابتك عن الأسئلة السابقة، لعلك توصلت إلى أن الصوديوم يتفاعل مع الماء بسرعة أكبر من المغنيسيوم؛ لأنه أكثر نشاطًا، ويعود ذلك إلى طبيعة تركيبه الكيميائي فهو يحتوي على إلكترون واحد في مداره الأخير مما يسهل فقْده. كما أن سرعة ظهور اللون الأصفر عند تفاعل المواد في حالة المحلول أكبر من سرعة ظهوره في حالة المسحوق؛ لأن الأيونات في حالة المسحوق تكون مقيدة الحركة، وفي حالة المحلول تكون حرة الحركة وهذا بدوره يزيد من عدد التصادمات الكلية المحتملة بين الأيونات، فيزداد عدد التصادمات الفعالة، وتزداد سرعة التفاعل.

٣- مساحة سطح المواد المتفاعلة في الحالة الصلبة

ماذا تتوقع أن يحدث لسرعة التفاعل عند ازدياد مساحة سطح المواد الصلبة المتفاعلة؟ لتتعرّف ذلك نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (٣-٢): أثر مساحة سطح المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل

المواد والأدوات

ثلاث قطع من الطباشير المتساوية في الكتلة، محلول من الخل، كأس زجاجية سعة ١٠٠ مل عدد ٣.

الخطوات

١- ضع إحدى قطع الطباشير كاملة في الكأس الأول.

٢- قسم القطعة الثانية إلى قطع صغيرة، ثم ضعها في الكأس الثاني.

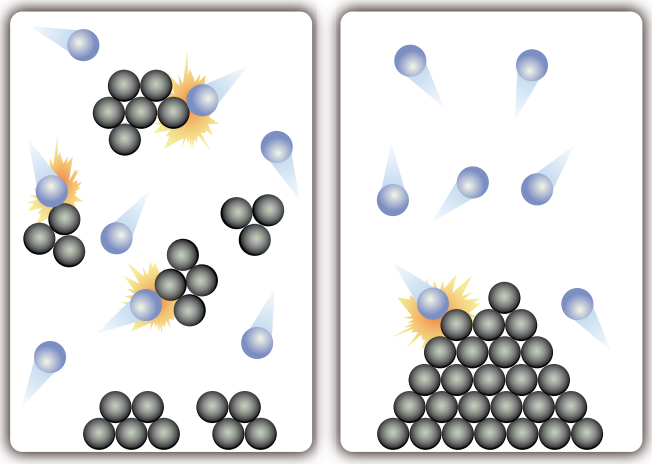
٣- اسحق قطعة الطباشير الثالثة باستخدام الهاون، ثم ضعها في الكأس الزجاجي الثالث.

٤-أضف ٢٠ مل من الخل إلى كل من الكؤوس الثلاثة السابقة، وسجّل ملاحظاتك.

- في أي الكؤوس كان التفاعل أسرع؟ ولماذا؟
- ما اسم الغاز الناتج عن التفاعل؟

لعلك توصلت بعد تنفيذ النشاط، إلى أن الغاز الناتج عن التفاعل هو غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، وأن سرعة تصاعده في الكأس الذي يحتوي على مسحوق الطباشير كانت أكبر، ويرجع

ذلك إلى أن مساحة السطح المُعرّض للتفاعل في هذه الحالة أكبر؛ وهذا يزيد من عدد التصادمات الكلية المحتملة، فيزداد عدد التصادمات الفعالة، فتزداد سرعة التفاعل. انظر الشكل (٣–٩).



الشكل(٣–٩): زيادة عدد التصادمات بزيادة مساحة السطح.

٤– درجة الحرارة

تؤثر درجة الحرارة في حياتنا بشكل كبير وواضح، ففي المطبخ نزيد درجة الحرارة لإنضاج الطعام بسرعة أكبر، ونضع الأطعمة في الثلاجة لنقلل من احتمالية حدوث التفاعلات التي تؤدي إلى تحللها وفسادها، ونحفظ عبوات الأدوية عند درجات حرارة معينة لمنع تلفها. لذلك تعد درجة الحرارة من العوامل المهمة التي تؤثر في سرعة التفاعل.

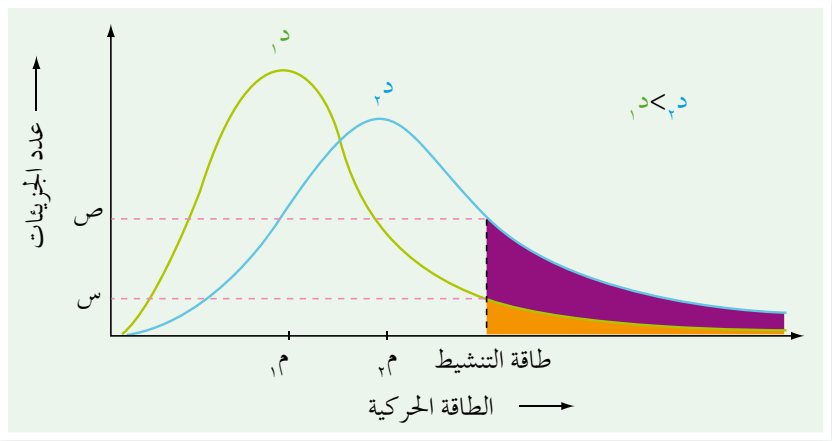
ومن الأمثلة التي تبيّن أثر درجة الحرارة في سرعة التفاعل بوضوح تفاعل بيرمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$ مع حمض الأوكساليك $H_2C_2O_4$ لإنتاج ثاني أكسيد الكربون والماء عند درجتي حرارة مختلفتين، كما في الشكل (٣–١٠).

الشكل(٣–١٠) زيادة سرعة التفاعل الكيميائي بزيادة درجة الحرارة.

لاحظ اختفاء اللون البنفسجي لبيرمنغنات البوتاسيوم بالتسخين، في حين أنه ما زال موجودًا عند درجة حرارة الغرفة بعد مضي الوقت نفسه؛ وهذا يدل على أن التفاعل قد انتهى عند درجة الحرارة الأعلى، ولكنه ما زال مستمرًا عند درجة الحرارة الأقل؛ فسرعة هذا التفاعل ازدادت بزيادة درجة الحرارة.

والآن، كيف تفسر نظرية التصادم أثر درجة الحرارة في سرعة التفاعل الكيميائي؟

درست في الصف الحادي عشر افتراضات نظرية الحركة الجزيئية، وعرفت أن توزيع الطاقة الحركية على الجزيئات يمكن توضيحه من خلال منحنى ماكسويل–بولتزمان. ويبيّن الشكل (٣–١١) توزيع الطاقة الحركية لجزيئات أحد الغازات عند درجتي حرارة مختلفتين.



الشكل (٣–١١): توزيع الطاقة الحركية على جزيئات غاز ما عند درجتي حرارة مختلفتين.

ادرس الشكل، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

- هل تغيرت طاقة التنشيط بتغير درجة الحرارة؟
- عند أي درجة حرارة ($د_١$) أم ($د_٢$) يكون عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة التنشيط أكبر؟
- أيهما أعلى: متوسط الطاقة الحركية ($م_١$) أو ($م_٢$)؟

من الواضح أن زيادة درجة الحرارة يزيد من متوسط الطاقة الحركية للجزيئات ($م_٢$ أكبر من $م_١$) مع بقاء طاقة التنشيط ثابتة، وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة التنشيط؛ فيزيد ذلك من عدد التصادمات الفعالة، فتزداد سرعة التفاعل الكيميائي.

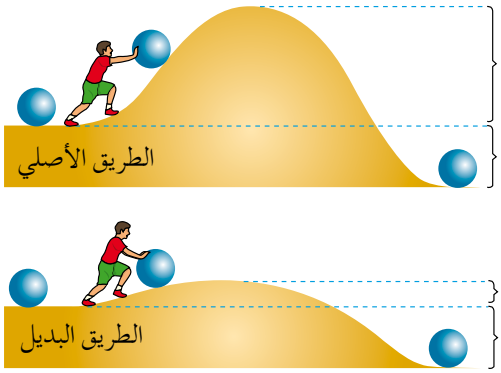
لاحظ أن عدد الجزيئات (ص) التي تمتلك طاقة التنشيط عند درجة حرارة ($د_٢$) أكبر من عدد الجزيئات (س) التي تمتلك طاقة التنشيط عند ($د_١$).

وتجدر الإشارة إلى أن مساحة المنطقة المظللة عند درجتي الحرارة د$_1$ ود$_2$ تمثل عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة تساوي طاقة التنشيط أو أكبر منها. ويمكن تلخيص ما سبق من خلال المخطط الآتي:

زيادة درجة الحرارة ← زيادة متوسط الطاقة الحركية للجزيئات ← زيادة عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة التنشيط ← زيادة عدد التصادمات الفعالة ← زيادة سرعة التفاعل الكيميائي.

٥-العوامل المساعدة

عرفت سابقًا أن نظرية التصادم تنص على ضرورة امتلاك الجزيئات المتفاعلة حدًّا أدنى من الطاقة (طاقة التنشيط) لحدوث التفاعل فيما بينها، ولكننا نحتاج في كثير من الأحيان إلى زيادة سرعة بعض التفاعلات التي لها طاقة تنشيط عالية وتقليل زمن حدوثها، فنستخدم أكسيد الفناديوم V_2O_5 مثلًا لتسريع عملية تحضير حمض الكبريتيك H_2SO_4 الذي يستخدم في الصناعات المختلفة، لذلك يعد أكسيد الفناديوم من **العوامل المساعدة** (Catalysts) **وهي مواد تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية دون أن تستهلك أثناء التفاعل.**



الشكل (٣-١٢): العامل المساعد يمهد طريقًا بديلا أكثر سهولة

وقد أثبتت التجارب أن العامل المساعد يمهد طريقًا بديلًا – أكثر سهولة – للتفاعل. تمعن الشكل (٣-١٢).

ولمعرفة أثر العامل المساعد في سرعة التفاعل الكيميائي نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (٣-٣): أثر العامل المساعد في سرعة التفاعل الكيميائي.

المواد والأدوات

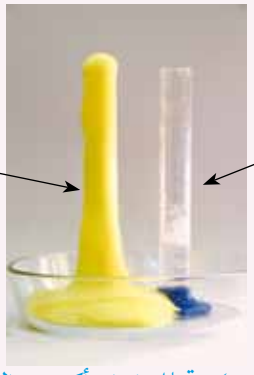
مِخبار مدرّج سعة ١٠٠ مل عدد ٢، ومحلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، وسائل تنظيف، وقطارة، ويوديد البوتاسيوم KI، قفازان.

الخطوات

١– ضع ٢٠ مل من H_2O_2 في كلا المخبارين.

٢– أضف إلى كل منهما بضع نِقاط من سائل التنظيف، مع التحريك (ملاحظة: سائل التنظيف يوضع لمشاهدة فقاعات الغاز المتصاعد بوضوح).

٣–أضف إلى إحدى المخبارين ٠,٥ غ من يوديد البوتاسيوم KI.



الشكل (٣–١٣): تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2.

- في أيّ المخبارين تظهر الفقاعات أسرع؟ ولماذا؟
- ما أثر إضافة يوديد البوتاسيوم في سرعة التفاعل؟

يتحلل فوق أكسيد الهيدروجين ببطء عند درجة حرارة الغرفة العادية إلى ماء وأكسجين وفق المعادلة الآتية:

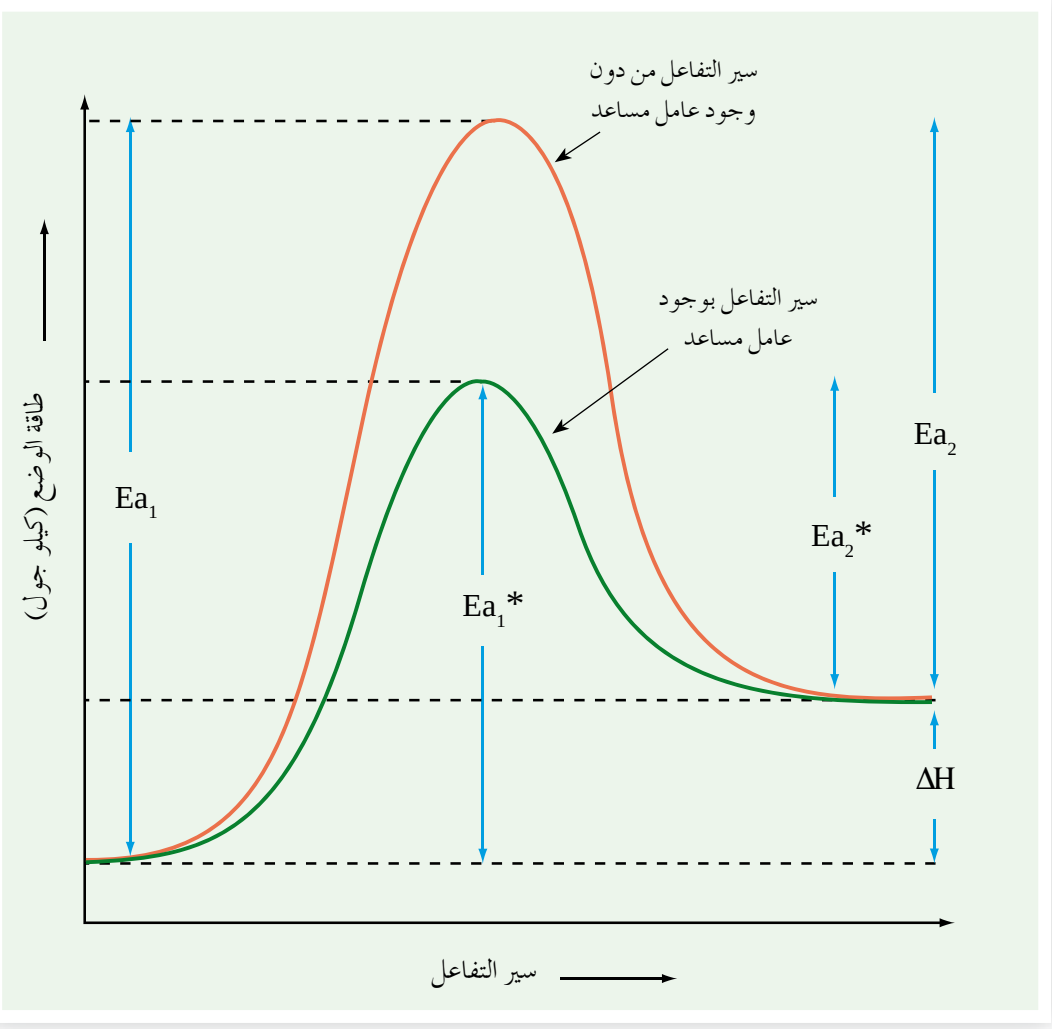
$$2H_2O_{2(aq)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$$

وعند إضافة يوديد البوتاسيوم KI إلى أحد المخبارين تزداد سرعة التفاعل. ويمكن تمثيل معادلة التفاعل الحاصل على النحو الآتي:

$$2H_2O_{2(aq)} \xrightarrow{KI} 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$$

وتعد مادة KI عاملًا مساعدًا،وهناك أمثلة أخرى كثيرة على العوامل المساعدة التي تستخدم في مجالات الصناعات الكيميائية أو العمليات الحيوية، فكيف يعمل العامل المساعد على زيادة سرعة التفاعل الكيميائي؟ لتتعرّف ذلك، ادرس الشكل (٣–١٤) الذي يبيّن أثر العامل المساعد في سير التفاعل.

لاحظ أن العامل المساعد يعمل على إيجاد مسار بديل للتفاعل إذ تكون طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل بالطريقة البديلة بوجود العامل المساعد أقل منها في حالة إجراء التفاعل بغياب العامل المساعد، وهذا يقلل من طاقة تنشيط كل من التفاعل الأمامي والعكسي. كما تقل طاقة وضع المُعقّد المُنشّط بالمقدار نفسه فيقل زمن حدوث التفاعل، ولكنه لا يؤثر في طاقة وضع كل من المواد المتفاعلة والمواد الناتجة، كما لا يؤثر في قيمة ΔH.



حيث إن:

Ea_1 طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي من دون عامل مساعد

Ea_1* طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد

Ea_2 طاقة التنشيط للتفاعل العكسي من دون عامل مساعد

Ea_2* طاقة التنشيط للتفاعل العكسي بوجود عامل مساعد

الشكل (٣-١٤): أثر العامل المساعد في سير التفاعل.

سؤال

إذا كانت قيم طاقات الوضع (كيلوجول) لتفاعل افتراضي هي:

المواد المتفاعلة ١١٠، و المواد الناتجة ٨٠، و المعقد المنشط من دون عامل مساعد ١٨٠، و المعقد المنشط بوجود عامل مساعد ١٤٠، فأجب عن الأسئلة الآتية:

- ما قيمة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي من دون عامل مساعد؟
- ما قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بوجود العامل المساعد؟
- ما قيمة ΔH للتفاعل؟
- ما أثر إضافة العامل المساعد للتفاعل في طاقة وضع المواد المتفاعلة؟

تطبيقات حياتية

الأنزيمات

يستخدم الغازولين وقودًا للسيارات، فهو يتأكسد في محرك السيارة، مُنتجًا غاز ثاني أكسيد الكربون والماء والطاقة، علمًا بأن درجة حرارة الغازات الموجودة في المحرك قد تصل إلى أكثر من ٢٢٠٠ °س، وبالمقابل فإن الخلية الحية تحصل على حاجتها من الطاقة عن طريق أكسدة الغلوكوز إلى غاز ثاني أكسيد الكربون والماء عند ٣٧ °س فقط فإذا كان تأكسده خارج الجسم يتطلب توافر درجات حرارة عالية فكيف يحدث ذلك داخل الجسم عند درجة حرارة ٣٧ °س؟

وهب الله سبحانه وتعالى بعض الخلايا في أجسامنا القدرة على إنتاج مواد تُعرف بالأنزيمات، التي تُعد أحد أهم العوامل المساعدة؛ فهي تخفض طاقة التنشيط للتفاعلات. وتحتوي أجسامنا على أنزيمات مختلفة تعمل على تسريع العمليات الحيوية وتنظمها فلولا وجود الأنزيمات لتعذر حدوث التفاعلات من دون توافر طاقة كبيرة ومن الأمثلة عليها: أنزيم الأميليز الذي يحلل النشا إلى سكريات ثنائية، والأنزيمات الهاضمة التي تفرزها المعدة.

توجد الأنزيمات أيضًا في أجسام الكائنات الحية المختلفة، ومنها مسببات الأمراض مثل البكتيريا، ولهذا يعتمد عمل بعض المضادات الحيوية المستخدمة في علاج بعض الأمراض على تعطيل الأنزيمات في أجسام مسببات الأمراض؛ ما يؤثر في بعض عملياتها الحيوية، مسبِّبا موتها.

للاستزادة يمكنك الرجوع إلى الشبكة المعلوماتية مستعينًا بالعبارات المفتاحية الآتية: الأنزيمات وطاقة التنشيط، Activation Energy and Enzymes، Enzymes.

١) وضّح المقصود بالمصطلحات الآتية:

طاقة التنشيط، العامل المساعد، المحتوى الحراري للتفاعل، المعقد المنشط ، التصادم الفعال.

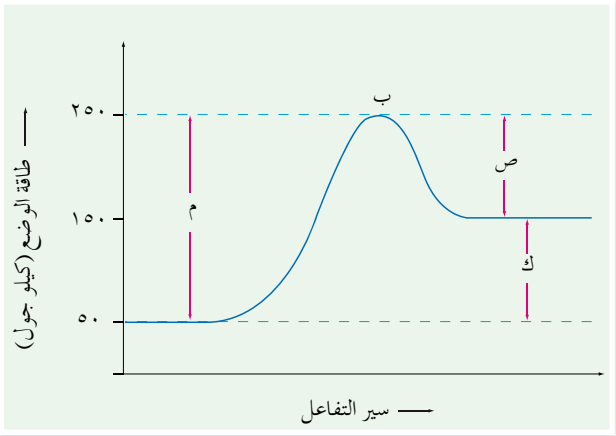
٢) اعتمادًا على الشكل (٣–١٥)، أجب عن الأسئلة الآتية:

أ) ما رمز طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي؟

ب) ما رمز طاقة التنشيط للتفاعل العكسي؟

جـ) ما رمز التغير في المحتوى الحراري للتفاعل (ΔH)؟

د) هل التفاعل ماصّ للطاقة أم طارد لها؟



الشكل (٣–١٥): منحنى طاقة الوضع أثناء سير التفاعل.

٣) في التفاعل الافتراضي: $A_2 + 3B_2 \underset{}{\overset{C}{\rightleftharpoons}} 2AB_3 + 90\ kJ$

إذا علمت أن كتلة العامل المساعد C تساوي ٣ غ عند بدء التفاعل، وأن طاقة التنشيط للتفاعل العكسي بوجود العامل المساعد تساوي ١٦٣ كيلوجول.

أ) ما كتلة العامل المساعد عند نهاية التفاعل؟

ب) احسب طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بوجود العامل المساعد.

٤) فسّر كلًّا مما يأتي:

أ) يتم حرق السكر في جسم الإنسان عند ٣٧°س بينما يحتاج حرقه في المختبر إلى درجة حرارة أعلى بكثير.

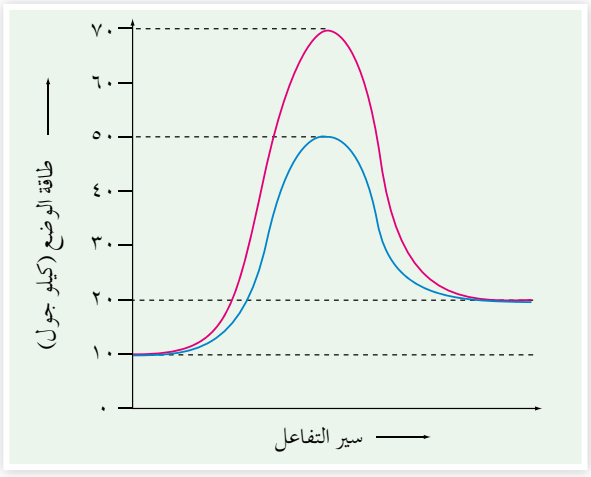
ب) يتم حرق نشارة الخشب بسرعة أكبر من حرق قطعة من الخشب لها الكتلة نفسها.

جـ) لا تؤدي جميع التصادمات بين دقائق المواد المتفاعلة إلى حدوث تفاعل.

د) عند خلط محلولين من نترات الفضة وكلوريد الصوديوم يتكون راسب أبيض بسرعة أكبر من سرعة ظهوره عند خلطهما وهما على شكل مسحوق.

٥) ادرس الشكل الآتي الذي يبين التفاعل بوجود عامل مساعد ومن دونه، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

$$E + B \rightleftharpoons C + D$$



الشكل (٣-١٦): منحنى طاقة الوضع أثناء سير التفاعل.

أ) ما قيمة كل مما يأتي:

(١) طاقة وضع كل من المواد المتفاعلة والمواد الناتجة؟

(٢) طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد؟

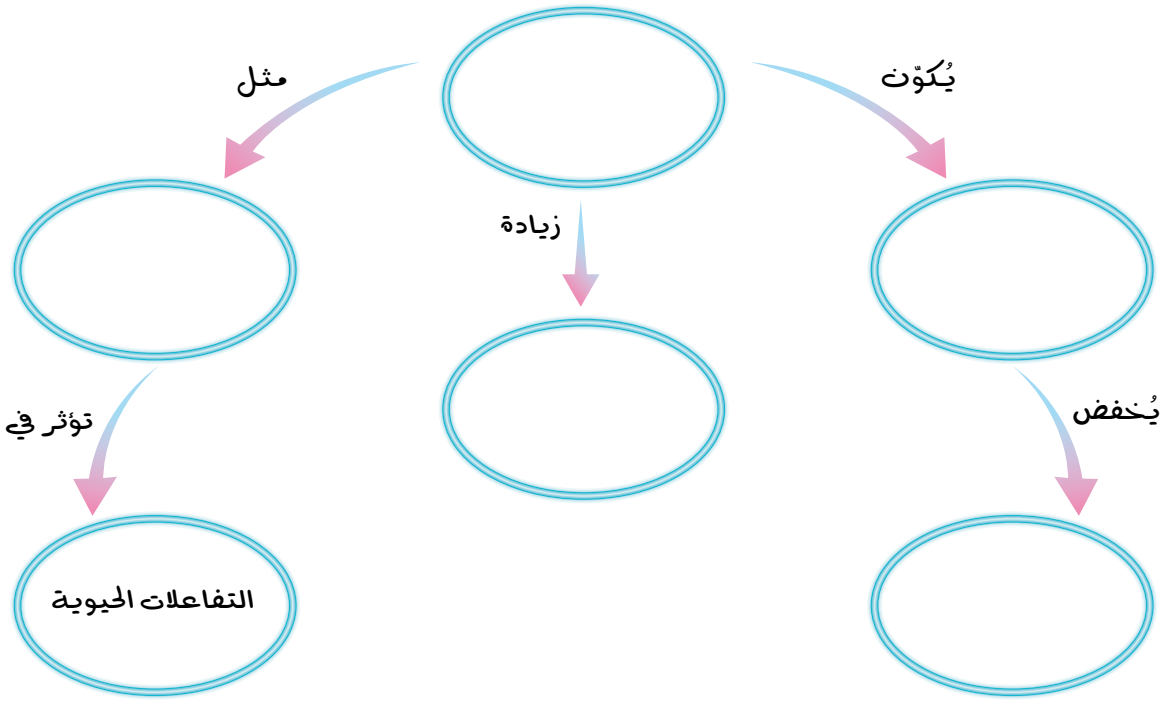
(٣) طاقة تنشيط التفاعل العكسي مع عامل مساعد؟

(٤) طاقة وضع المعقد المنشط من دون عامل مساعد؟

ب) هل التفاعل ماصّ أم طارد للطاقة؟

٦) بيّن أثر رفع درجة الحرارة في سرعة التفاعل، وفسّر هذا الأثر بالاعتماد على نظرية التصادم.

٧) أكمل الفراغ في المخطط الآتي، مستخدمًا مصطلحات سرعة التفاعل، العامل المساعد، مسار بديل لسير التفاعل، أنزيمات، طاقة التنشيط.



أسئلة الوحدة

١) اختر الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

(١) العبارة الصحيحة فيما يتعلق بسرعة التفاعل الكيميائي:

أ) تبقى ثابتة من بداية التفاعل وحتى نهايته. ب) لا تتأثر بالتركيز.

جـ) لا تتأثر بالحرارة. د) تتناقص مع الزمن.

(٢) في التفاعل الآتي: $A + 3B \longrightarrow 2C$ سرعة استهلاك B تساوي:

أ) ضعفي سرعة إنتاج C. ب) ثلثَي سرعة إنتاج C.

جـ) ثلاثة أضعاف سرعة استهلاك A. د) ثلث سرعة استهلاك A.

(٣) يمثل قانون السرعة العلاقة بين:

أ) سرعة التفاعل ودرجة الحرارة. ب) الطاقة والتركيز.

ج) درجة الحرارة والتركيز. د) سرعة التفاعل والتركيز.

(٤) اعتمادًا على التفاعل الآتي: $N_{2(g)} + 2H_{2(g)} \longrightarrow N_2H_{4(g)}$

إذا علمت أن معدل سرعة استهلاك N_2H_4 يساوي ٠,٢ مول/لتر.ث فإن معدل سرعة تكوّن H_2 بوحدة مول/لتر.ث يساوي:

أ) ٠,١ ب) ٠,٤ جـ) ٠,٨ د) ٠,٦

(٥) تزداد سرعة التفاعل عند رفع درجة الحرارة بسبب:

أ) زيادة طاقة المواد الناتجة.

ب) زيادة طاقة المعقد المنشط.

جـ) زيادة عدد التصادمات الفعالة.

د) نقصان طاقة التنشيط.

(٦) إضافة العامل المساعد للتفاعل، تؤدي إلى:

أ) رفع طاقة المعقد المنشط. ب) خفض طاقة المواد الناتجة.

جـ) التقليل من طاقة التنشيط. د) زيادة سرعة التفاعل الأمامي وليس العكسي.

(٧) أيُّ التفاعلات الآتية يُنتج كمية أكبر من غاز H_2؟

أ) تفاعل قطعة من الخارصين مع حمض HCl الذي تركيزه ١مول/لتر.

ب) تفاعل مسحوق من الخارصين مع حمض HCl الذي تركيزه ١مول/لتر.

جـ) تفاعل مسحوق من الخارصين مع حمض HCl الذي تركيزه ٠,١ مول/لتر.

د) تفاعل قطعة من الخارصين مع حمض HCl الذي تركيزه ٠,٥مول/لتر.

(٨) إذا كان قانون السرعة للتفاعل الافتراضي $D + E \longrightarrow Z$ هو:

سـرعة التفاعل $= k[D]^{٢}[E]^{١}$ وعند مضـاعفة تركيز E ثلاث مرات وتركيز D مرتين فإن سرعة التفاعل تتضاعف بمقدار:

أ) ١٢مرة. ب) ٩مرات. جـ) ٦مرات. د) ٣ مرات.

٢) في التفاعل الافتراضي الآتي:

$2A + B + C \longrightarrow$ نواتج

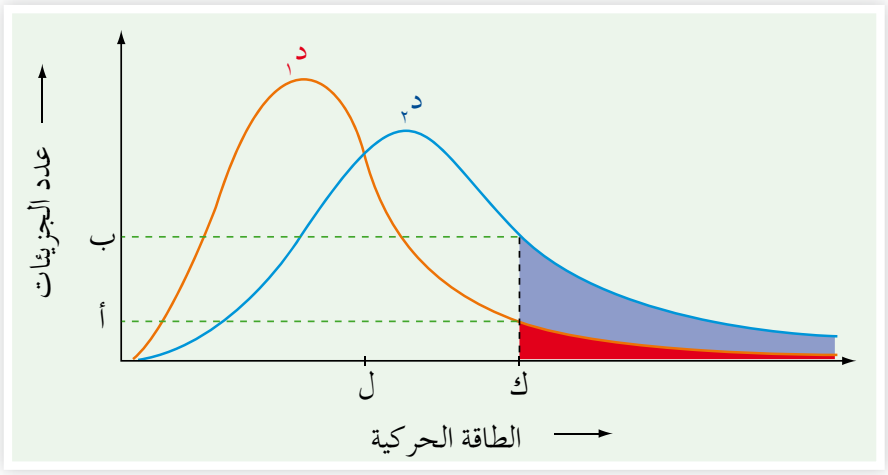
تم الحصول على البيانات الآتية عمليًّا من خلال التجربة:

رقم التجربة	[A] (مول/لتر)	[B] (مول/لتر)	[C] (مول/لتر)	السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)
١	٠,١	٠,١	٠,٢	٠,٠٢
٢	٠,٢	٠,١	٠,٣	٠,٠٩
٣	٠,٢	٠,٢	٠,٤	٠,١٦
٤	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,١٦

أ) اكتب قانون سرعة التفاعل.

ب) احسب تركيز C عندما تكون السرعة الابتدائية تساوي ١×١٠^{-٢} مول/لتر.ث، و$[A] = [B] =$ ٠,٠٥ مول/لتر.

٣) اعتمد على الشكل (٣–١٧)، للإجابة عن الأسئلة الآتية:



الشكل (٣–١٧): توزيع الطاقة الحركية على جزيئات غاز ما عند درجتي حرارة مختلفتين.

أ) ما الرمز الذي يمثل طاقة التنشيط؟

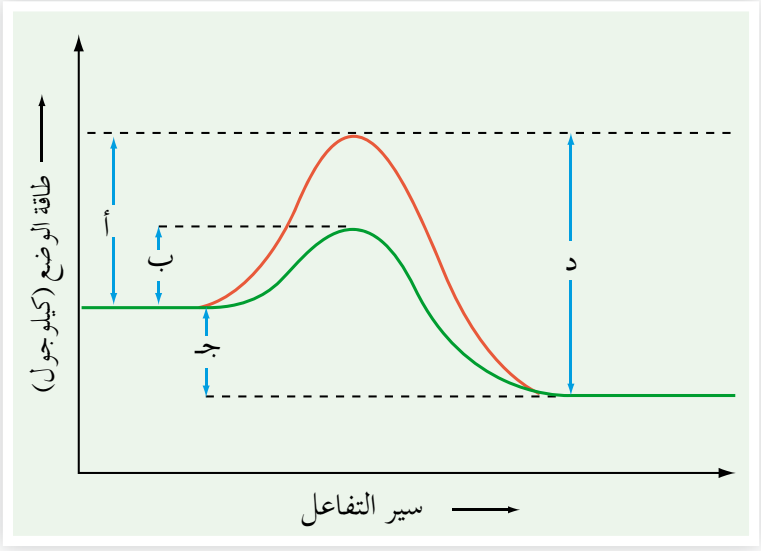
ب) ما أثر زيادة درجة الحرارة في سرعة التفاعل؟

جـ) ما الرمز الذي يمثل عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة التنشيط عند درجة الحرارة الأقل؟

٤) اعتمادا على الشكل (٣–١٨) الذي يمثل سير التفاعل لأحد التفاعلات، أجب عن الأسئلة الآتية:

أ) إلامَ تشير كل من الرموز (أ ،ب ،جـ، د)؟

ب) ما أثر إضافة العامل المساعد في كل من: طاقة التنشيط للتفاعل العكسي، المحتوى الحراري للتفاعل (ΔH)، طاقة المواد المتفاعلة.

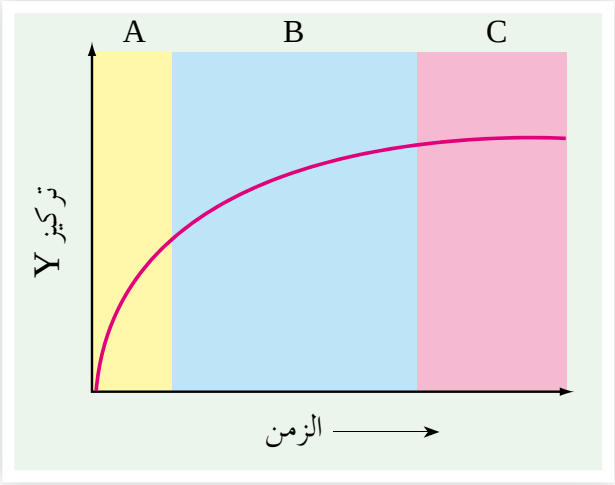


الشكل (٣–١٨): منحنى طاقة الوضع أثناء سير التفاعل.

٥) أجريت تجربة لقياس سرعة تفاعل ما عن طريق دراسة التغير في تركيز المادة Y بالنسبة للزمن، ومُثلت النتائج بالشكل (٣–١٩)، ادرس الشكل، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

أ) هل المادة Y مادة متفاعلة أم ناتجة؟ وضّح إجابتك.

ب) أيُّ الفترات الزمنية (A أم B أم C) يكون معدل سرعة التفاعل فيها أعلى؟

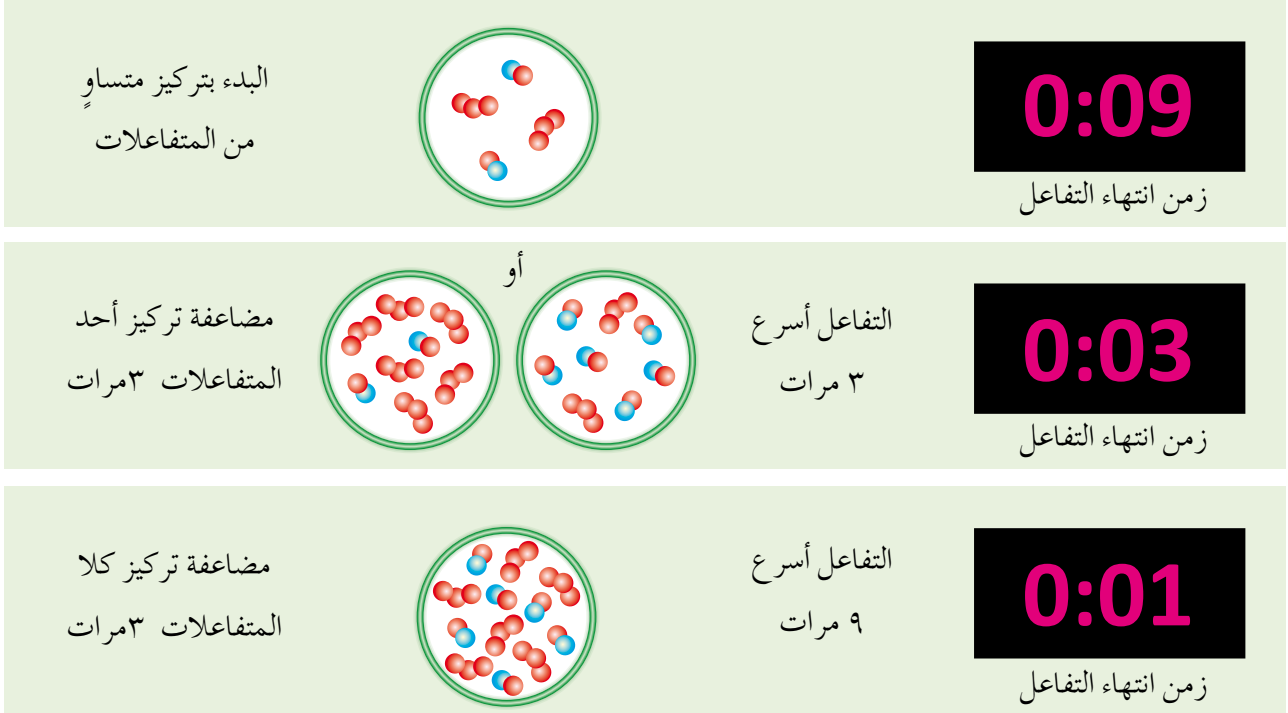


الشكل (٣–١٩): التغير في تركيز المادة Y بالنسبة للزمن.

٦) تم الحصول على النتائج في الشكل (٣–٢٠) للتفاعل الآتي:

$$NO_{(g)} + O_{3(g)} \longrightarrow NO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

اكتب قانون سرعة التفاعل.



الشكل (٣–٢٠): نتائج تجربة توضح العلاقة بين تراكيز المواد المتفاعلة وسرعة التفاعل.

٧) تم جمع البيانات للتفاعل الآتي عند درجة حرارة معينة. ادرسها، ثم أجب عما يليها من أسئلة:

$$2NO_{(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2NO_{2(g)}$$

رقم التجربة	[NO] (مول/لتر)	$[O_2]$ (مول/لتر)	سرعة استهلاك O_2 (مول/لتر.ث)
١	٠,١	٠,٢	٦×١٠^{-٧}
٢	٠,٢	٠,١	$١,٢\times١٠^{-٦}$
٣	٠,٣	٠,١	$٢,٧\times١٠^{-٦}$

أ) اكتب قانون سرعة التفاعل.

ب) احسب قيمة ثابت السرعة k.

جـ) احسب سرعة تكوّن NO_2 عندما يكون $[NO] = [O_2] = ٠,١$ مول/لتر.

٨) في تفاعل طارد للطاقة، إذا علمت أن ΔH للتفاعل تساوي -٢٠٠ كيلوجول، وأن طاقة وضع المواد الناتجة ٨٠ كيلوجول. وعند استخدام عامل مساعد، انخفضت طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بمقدار ٢٠ كيلوجول، وأصبحت طاقة وضع المعقد المنشط ٣٥٠ كيلوجول. احسب:

أ) طاقة وضع المواد المتفاعلة بوجود العامل المساعد.

ب) طاقة وضع المعقد المنشط من دون وجود عامل مساعد.

جـ) طاقة التنشيط للتفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.

د) طاقة التنشيط للتفاعل العكسي من دون وجود عامل مساعد.

٩) ما أثر كل من الآتية في زمن ظهور النواتج لتفاعل ما (يزيد، يقل، يبقى ثابتًا):

أ) خفض درجة الحرارة.

ب) استخدام العامل المساعد.

الوحدة الرابعة ٤

الكيمياء العضوية

- تفاعلات المركبات العضوية وطرائق تحضيرها
- المركبات العضوية الحيوية

- كيف تتفاعل المركبات العضوية المختلفة؟ وكيف تُحضر؟ وما أهميتها في حياتنا؟

تفاعلات المركبات العضوية وطرائق تحضيرها

Reactions and Preparation of Organic Compounds

درست في سنوات سابقة، أن المركبات العضوية تحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين بشكل رئيس، لكن قد تحتوي على عناصر أخرى، مثل: O ، N ، P ، S أو الهالوجينات، ويمكن الحصول على هذه المركبات من مصادر طبيعية، كأجسام الكائنات الحية، سواء أكانت نباتية أو حيوانية، ويمكن تحضيرها عن طريق تفاعلات كيميائية مناسبة.

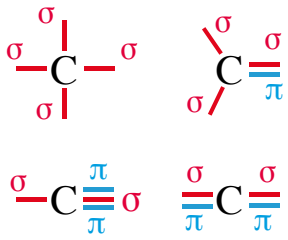
ومن الأمثلة على هذه المركبات: الإيثانول الذي يدخل في صناعة معجون الأسنان؛ لما له من قدرة فائقة على قتل الميكروبات، ومركبات هاليدات الألكيل التي تستخدم في صناعة المبيدات الحشرية، ومشتقات النفط المختلفة التي تُستخدم في العديد من المجالات، كصناعة البلاستيك، بالإضافة لكونها مصدرًا للطاقة.

ونظرًا لما لهذه المركبات من أهمية كبيرة في جوانب حياتنا المختلفة، فقد اهتم العلماء بدراستها وتعرّف طرائق تحضيرها، فما أهم تفاعلات هذه المركبات؟ وكيف يمكن تحضيرها؟

يمكنك الاجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

- تكتب معادلات كيميائية تعبّر عن تفاعلات الإضافة، والاستبدال، والحذف، والتأكسد والاختزال لبعض المركبات العضوية.
- تميّز مخبريًّا بين بعض أنواع المركبات العضوية.
- تكتب معادلات كيميائية تبيّن كيفية تحضير بعض المركبات العضوية.
- تقدّر أهمية بعض المركبات العضوية في حياتنا اليومية.

تتميز ذرة الكربون بقدرتها على تكوين أربع روابط مختلفة قد تكون جميعها أحادية من نوع سيغما σ، وقد تكون ثنائية أو ثلاثية تحتوي على روابط سيغما σ وباي π، كما يتضح في الشكل (٤-١):



الشكل (٤-١): أنواع الروابط التي تكوّنها ذرة الكربون.

وقد ترتبط ذرات الكربون مع بعضها ومع ذرات الهيدروجين فقط، فتكوّن المركبات الهيدروكربونية (ألكان، ألكين، ألكاين)، وقد ترتبط بذرات أخرى، مثل الأكسجين والنيتروجين وغيرهما إضافة إلى ذرات الهيدروجين، فتُكوّن مركبات عضوية مختلفة تعد بالملايين، ولها تفاعلات كثيرة.

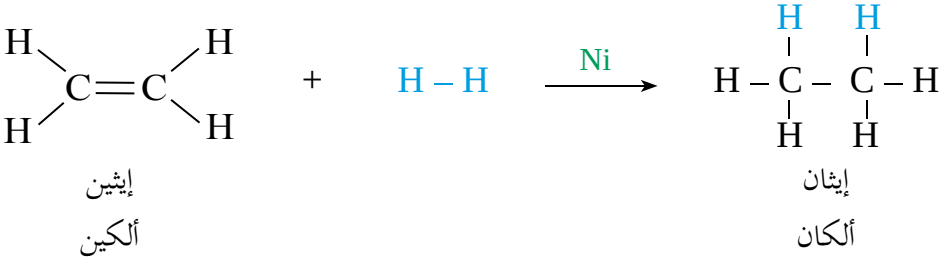
يمكن تصنيف هذه التفاعلات بناءً على طريقة حدوثها إلى تفاعلات: الإضافة والحذف والاستبدال والتأكسد والاختزال، وقد تتفاعل المركبات العضوية أيضا كحموض وقواعد. فكيف تحدث هذه التفاعلات؟ وما نواتجها العضوية؟

١- تفاعلات الإضافة

تتميز بعض المركبات العضوية غير المشبعة، كالألكينات والألكاينات ومركبات الكربونيل (الألديهايد، والكيتون) باحتوائها على روابط ثنائية أو ثلاثية، تتكوّن من نوعين من الروابط هما: σ و π. وإن وجود روابط π يجعل هذه المركبات تتفاعل بالإضافة؛ فعند إضافة مادة عضوية أو غير عضوية إلى هذه المركبات تنكسر الروابط الأضعف من نوع π، ويتكوّن بدلًا منها روابط أقوى من نوع σ. فما المواد التي يمكن إضافتها إلى المركبات العضوية؟ وما المركبات الناتجة عن هذه التفاعلات؟

أ- الإضافة إلى الألكينات: تتميز الألكينات باحتوائها على رابطة ثنائية بين ذرتي كربون، مما يجعلها قادرة على التفاعل بالإضافة. فما المواد التي تتم إضافتها إلى الألكينات؟ وكيف تحدث عملية الإضافة؟

١. إضافة الهيدروجين (الهدرجة): عند إضافة الهيدروجين إلى الألكين بوجود أحد العوامل المساعدة، كالنيكل Ni أو البلاتين Pt، يحدث تفاعل بينهما، وينتج مركب مشبع (ألكان). كما هو مبيّن في المعادلة الآتية:



لاحظ من المعادلة، أنه تم إضافة ذرة هيدروجين واحدة إلى كل ذرة كربون تشترك بالرابطة الثنائية في الألكين.

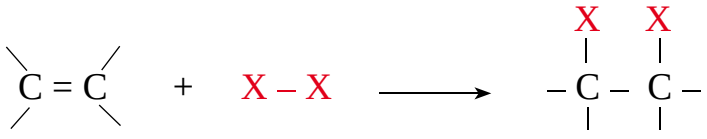
سؤال

■ أكمل التفاعلين الآتيين:

$$CH_3CH = CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni}$$

$$CH_3CH_2CH = CHCH_2CH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni}$$

٢. إضافة الهالوجينات (X_2) مثل Cl_2 ، Br_2: تضاف ذرة X إلى كل ذرة كربون تشترك بالرابطة الثنائية في الألكين، وينتج هاليد الألكيل، كما في المعادلة العامة الآتية:



سؤال

■ اكتب معادلة كيميائية تمثل إضافة Cl_2 إلى ١ – بيوتين $CH_3CH_2CH=CH_2$.

ومن أهم هذه التفاعلات، تفاعل إضافة محلول البروم Br_2 المذاب في CCl_4، ذي اللون البُنيّ المُحمر إلى الألكينات، فيتفاعل البروم مع الألكينات، ويختفي اللون البُنيّ المُحمر لمحلول البروم، ولايتفاعل البروم مع الألكانات، ولذلك يستخدم البروم المذاب في CCl_4 للتمييز مخبريًّا بين الهيدروكربونات غير المشبعة (كالألكينات والألكاينات)، والمشبعة (كالألكانات). والمعادلتان الآتيتان توضحان ذلك:

$$CH_3CH_2CH_2CH_2CH=CH_2 + Br_2 \xrightarrow{CCl_4} CH_3CH_2CH_2CH_2\overset{Br}{\underset{|}{C}}H\overset{Br}{\underset{|}{C}}H_2$$

١– هكسين (ألكين عديم اللون) — بُنيّ محمر — عديم اللون

$$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3 + Br_2 \xrightarrow{CCl_4} \text{لا يحدث تفاعل}$$

هكسان (ألكان عديم اللون) — بُنيّ محمر — يبقى اللون البُنيّ المحمر

تمعـن الشكل (٤–٢)، الذي يبيّن اختفاء لـون البروم عند إضافته إلى ١– هكسين وبقاء اللون عند إضافته للهكسان.

الشكل(٤–٢): اختفاء اللون البُنيّ المُحمر عند إضافة البروم إلى ١– هكسين وبقاء اللون عند إضافته للهكسان.

سؤال

■ أكمل التفاعلين الآتيين:

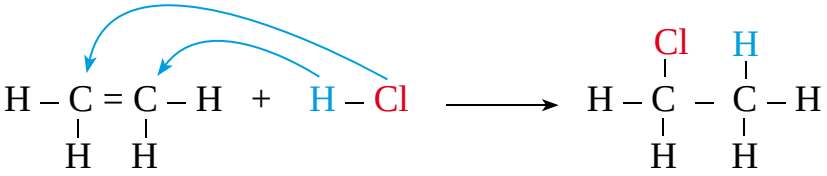
$$CH_3CH=CH_2 + Cl_2 \longrightarrow$$

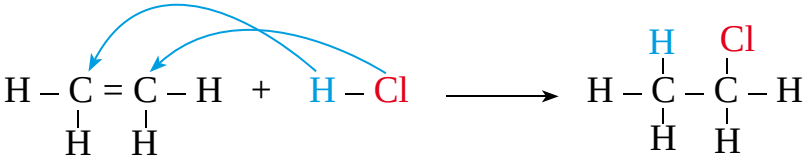
$$CH_3CH_2CH=CHCH_3 + Br_2 \xrightarrow{CCl_4}$$

■ كيف تميّز مخبريًّا بين الإيثين $CH_2=CH_2$ والإيثان CH_3CH_3؟ وضّح إجابتك بمعادلات كيميائية.

٣. إضافة هاليدات الهيدروجين HX، مثل HCl، HBr ، HI: لعلك لاحظت عند إضافة جزيء غير قطبي يتكوّن من ذرتين متماثلتين، مثل H_2 ، X_2 إلى الرابطة الثنائية فإنه يتم توزيعهما على

ذرتـي كربون الرابطة الثنائية بشكل متماثل، بغض النظر عن عدد ذرات الهيدروجين المرتبطة بهمـا. فهـل ينطبق الشيء ذاته عند إضافة مركـب قطبي مثل HX إلى الألكين؟ لتتعرّف ذلك، ادرس المعادلتين الآتيتين لتفاعل الإيثين مع HCl:



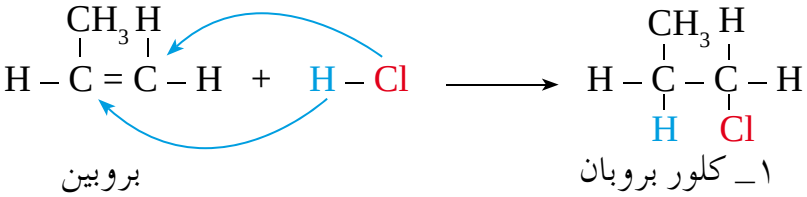


مـن الواضح أن ذرتي الكربـون المشتركتين في تكوين الرابطة الثنائية في جزيء الإيثين متماثلتـان؛ إذ ترتبـط كل منهمـا بذرتي هيدروجيـن، إضافة إلـى ذرة الكربون المكونة للرابطة الثنائية، ويطلق على هذا النوع من الألكينات ألكين متماثل؛ لذا لا نجد فرقًا عند إضافـة H أو Cl إلـى أي من ذرتـي كربون الرابطة الثنائية، ففـي المعادلتين السابقتين نتج المركب نفسه عن عمليتي الإضافة وهو كلورو إيثان.

سؤال

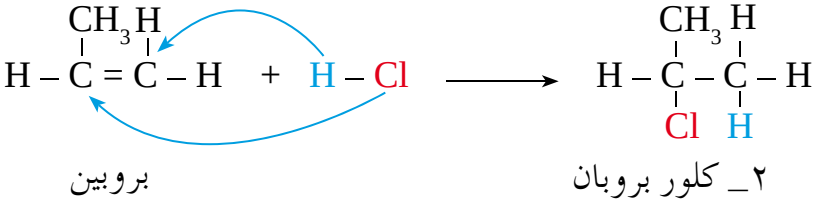
■ اكتب معادلة كيميائية تبيّن إضافة HCl إلى مركب ٢– بيوتين $CH_3CH = CHCH_3$.

والسؤال الآن، كيف يمكن إضافة HCl إلى ألكين غير متماثل؟ لتتعرّف ذلك، ادرس احتمالات إضافة HCl إلى البروبين.



بروبين — ١ـ كلور بروبان

الاحتمال الأول:



بروبين — ٢ـ كلور بروبان

الاحتمال الثاني:

لاحـظ أن هنـاك مركبين يُتوقع تكونهما مـن إضافة HCl إلى البروبين. فأي الاحتمالين يُتوقع حدوثـه أكثر من الآخر؟ لقد أثبتت النتائج التجريبية أن الاحتمال الثاني هو الأرجح؛ إذ تضاف ذرة الهيدروجين من جزيء HX إلى ذرة الكربون التي ترتبط بأكبر عدد من ذرات الهيدروجين فـي الرابطـة الثنائية، فيكـون الناتج ٢– كلورو بروبـان. وهذا ما توصل إليـه العالم الروسي ماركوفنيكوف (Markovnikov) بعد إجراء عدد كبير من تفاعلات الإضافة على ألكينات غير متماثلـة؛ ووضع قاعدة مشهورة لتفاعلات الإضافة سميـت باسمه. ونصها: **عند إضافة مركب قطبي، مثل HX إلى الرابطة الثنائية في ألكين غير متماثل فإن ذرة الهيدروجين من المركب المضاف ترتبط بذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بأكبر عدد من ذرات الهيدروجين.**

سؤال

■ أكمل المعادلة الآتية:

$$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}}=CH-CH_3 \;+\; HBr \longrightarrow$$

٤. **إضافـة المـاء H_2O:** عنـد إضافة الماء إلى الرابطـة الثنائية نحتاج إلى وجـود كمية قليلة من حمض قوي، مثل حمض الكبريتيك H_2SO_4 الذي يعمل كعامل مساعد لإنتاج الكحول. وتوضح المعادلة الآتية عملية إضافة الماء إلى ألكين في وسط حمضي:

$$\underset{\text{ألكين}}{>C=C<} \;+\; H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{كحول}}{-\overset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle |}{C}}-\overset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle |}{C}}-}$$

ومـن الجديـر بالذكر أن إضافة الماء إلى الألكين تتفق مع قاعدة ماركوفنيكوف؛ إذ تضاف ذرة الهيدروجين إلى ذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بأكبرعدد من ذرات الهيدروجين، والمعادلة الآتية، توضح إضافة الماء إلى البروبين:

$$CH_3CH=CH_2 \;+\; H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle |}{C}}HCH_3$$

سؤال

أكمل المعادلتين الآتيتين:

$$CH_3CH_2CH_2CH = CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+}$$

$$CH_3CH = \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}} - CH_3 + H_2O \xrightarrow{H^+}$$

ب- الإضافة إلى الألكاينات: تتميز الألكاينات باحتوائها على رابطة ثلاثية بين ذرتي كربون، وبقدرتها على القيام بتفاعلات الإضافة بطريقة تشبه تفاعلات الإضافة في الألكينات، نظرًا لاحتوائها على رابطتي باي ضعيفتين، وعليه يمكن إضافة الهيدروجين أو الهالوجينات أو هاليدات الهيدروجين وغيرها إلى الألكاينات، حيث تحتاج الرابطة الثلاثية إلى ٢ مول من المادة المتفاعلة (المضافة). ومن الأمثلة على هذه التفاعلات:

١. **إضافة الهيدروجين:** يتم إضافة كمية وافرة من الهيدروجين إلى الرابطة الثلاثية في الألكاين لتحويله إلى ألكان مشبع، ويحتاج التفاعل إلى إضافة ٢ مول من الهيدروجين بوجود عامل مساعد، مثل البلاتين Pt أو النيكل Ni . ويمكن تمثيل إضافة الهيدروجين إلى البروباين، كما هو مبيّن في المعادلة الآتية:

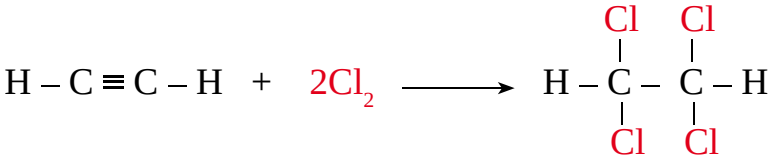
$$CH_3C \equiv CH + 2H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2CH_3$$

سؤال

■ أكمل معادلة التفاعل الآتي:

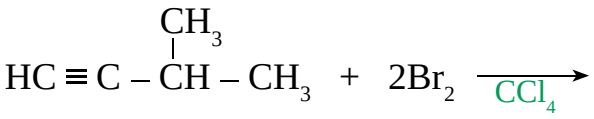
$$CH_3CH_2C \equiv CCH_3 + 2H_2 \xrightarrow{Ni}$$

٢. **إضافة الهالوجينات:** تضاف الهالوجينات لذرتي كربون الرابطة الثلاثية، وينتج عن ذلك كسر رابطتي π وتكوّن ٤ روابط σ جديدة في المركب الناتج. وتبيّن المعادلة الآتية نتيجة إضافة ٢ مول من Cl_2 إلى الإيثاين:



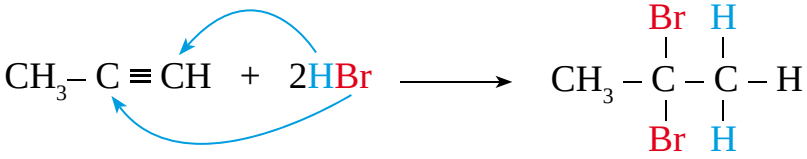
سؤال

- أكمل معادلة التفاعل الآتي:



- كيف تميّز مخبريًّا بين البروبان $CH_3CH_2CH_3$ والبروباين $CH_3-C\equiv CH$؟ وضّح إجابتك بمعادلات كيميائية.

٣. إضافة هاليدات الهيدروجين HX: يمكن إضافة ٢مول من هاليدات الهيدروجين إلى الألكاينات وفق قاعدة ماركوفنيكوف. وتبيّن المعادلة الآتية نتيجة إضافة ٢مول من HBr إلى البروباين:



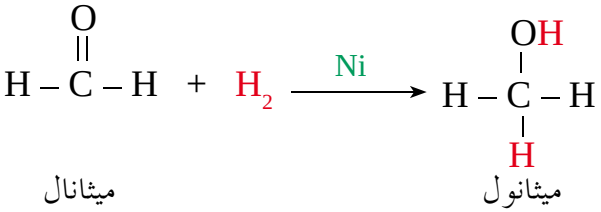
لاحظ أنه تم إضافة ذرتي H إلى ذرة الكربون نفسها؛ لأنها ترتبط بأكبر عدد من ذرات الهيدروجين.

سؤال

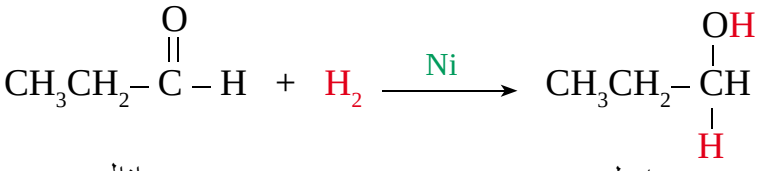
- اكتب معادلة كيميائية تبيّن إضافة ٢ مول من HI إلى ١– بيوتاين $HC\equiv C-CH_2CH_3$.

جـ–الإضافة إلى الألديهايدات والكيتونات: تتميز الألديهايدات والكيتونات باحتوائها على مجموعة الكربونيل القطبية $\diagup C^{\delta+}=O^{\delta-}\diagdown$، التي تحمل فيها ذرة الأكسجين شِحنة جزئية سالبة، وذرة الكربون شِحنة جزئية موجبة، وذلك بسبب اختلاف كهروسلبيتهما. ونظرًا لوجود الرابطة الثنائية التي تحتوي على رابطة π الضعيفة في مجموعة الكربونيل؛ فإنها تتفاعل بطريقة الإضافة. فكيف يتم التفاعل؟ وهل لقطبية مجموعة الكربونيل أثر في ذلك؟

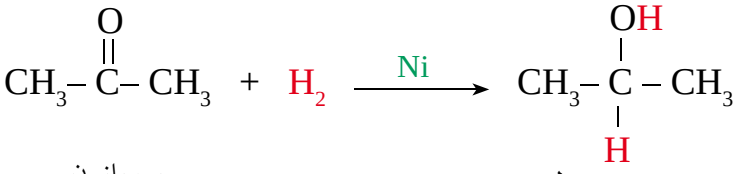
١. **إضافة الهيدروجين:** يضاف الهيدروجين بوجود عامل مساعد إلى مجموعة الكربونيل؛ وذلك لاحتوائها على رابطة ثنائية، وبطريقة مشابهة لإضافته إلى الألكينات، وينتج عن هذه الإضافة كحولات أولية وثانوية، كما هو مبيّن في المعادلات الآتية:



ميثانال ميثانول



بروبانال (ألديهايد) ١ـ بروبانول (كحول أولي)

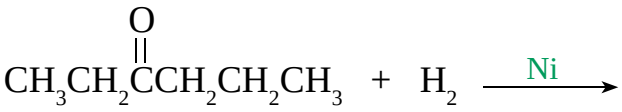


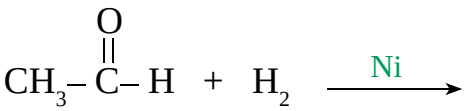
بروبانون (كيتون) ٢ـ بروبانول (كحول ثانوي)

إذا دققت النظر في التفاعلات السابقة تجد عند إضافة الهيدروجين إلى الألديهايد ينتج كحول أولي، وعند إضافته إلى الكيتون ينتج كحول ثانوي.

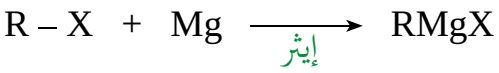
سؤال

■ أكمل التفاعلين الآتيين:





٢. **إضافة مركب غرينيارد (RMgX):** ينتج مركب غرينيارد من تفاعل هاليدات الألكيل مع فلز المغنيسيوم Mg، بوجود الإيثر الجاف (الخالي من الماء)، كما في المعادلة العامة الآتية:



ومـن الأمثلة على مركبات غرينيـارد البسيطة ميثيل كلوريد المغنيسيوم، الذي يتم تحضيره وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3Cl + Mg \xrightarrow[\text{إيثر}]{} CH_3MgCl$$

سؤال

■ أكمل المعادلتين الآتيتين:

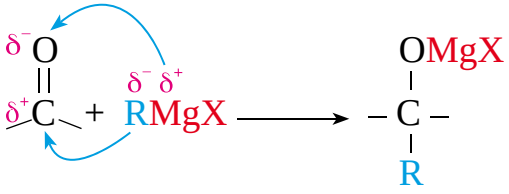
$$CH_3CH_2CH_2Cl + Mg \xrightarrow[\text{إيثر}]{}$$

$$CH_3\underset{\underset{Br}{|}}{C}HCH_2CH_3 + Mg \xrightarrow[\text{إيثر}]{}$$

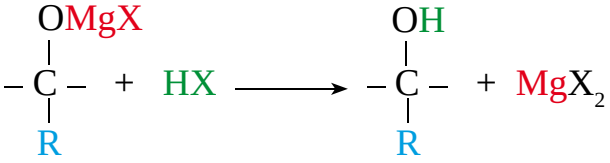
ذكرنـا سابقًا أن مجموعـة الكربونيل قطبية، وأنها تتكوّن مـن ذرة كربون تحمل شحنة جزئية موجبـة، وذرة أكسجين تحمل شحنـة جزئية سالبة. وبالمثل فإن مركب غرينيارد مركب قطبي، إذ إن هنـاك فرقًا في الكهرسلبية بين ذرتي المغنيسيـوم والكربون، فيجعل ذرة المغنيسيوم فيه تحمل شحنة جزئية موجبة، وذرة الكربون تحمل شحنة جزئية سالبة $-\overset{\delta^-}{\underset{|}{C}}\overset{\delta^+}{MgX}$.

والآن كيـف تتـم إضافـة مركب غرينيـارد إلـى مجموعة الكربونيـل؟ لتتعرّف ذلـك، ادرس المعادلتين العامتين الآتيتين:

المعادلة الأولى



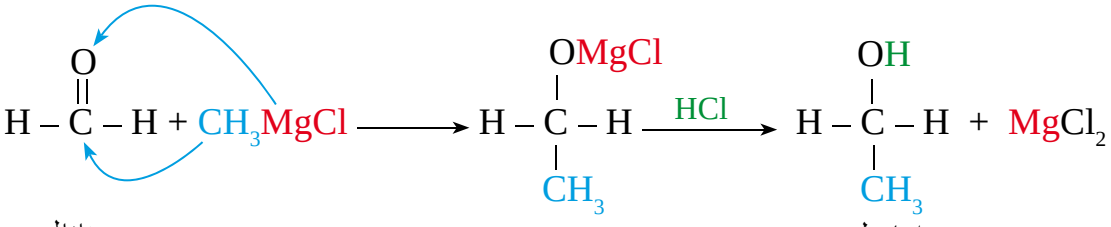
المعادلة الثانية



يتضـح مـن المعادلة الأولـى، أن الطـرف السالب (R) في مركـب غرينيارد يضـاف إلى ذرة الكربـون الموجبـة جزئيًّا فـي مجموعة الكربونيل، وأمـا الطرف الموجـب (MgX) فيضاف إلى

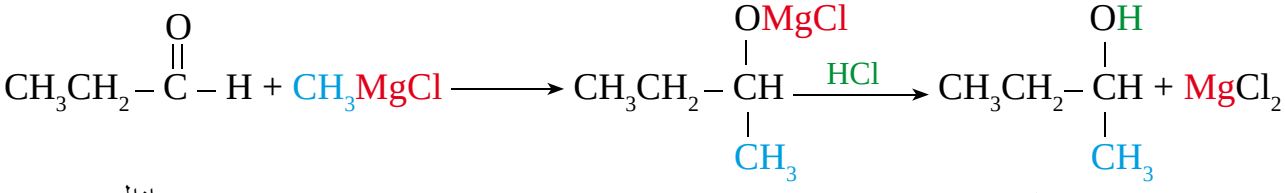
ذرة الأكسجين؛ ليعادل الشِّحنة الجزئية السالبة المتكوّنة عليها، وينتج مركب وسطي يتفاعل مع الحمض HX ، مكوّنًا كحولًا، كما هو موضح في المعادلة الثانية.

وتعد مركبات غرينيارد مهمة في تحضير الكحولات المختلفة، سواء أكانت أولية أو ثانوية أو ثالثية. ويختلف صنف الكحول الناتج تبعًا لاختلاف الألديهايد أو الكيتون المستخدم في التفاعل. ولتوضيح ذلك، ادرس المعادلات الآتية:



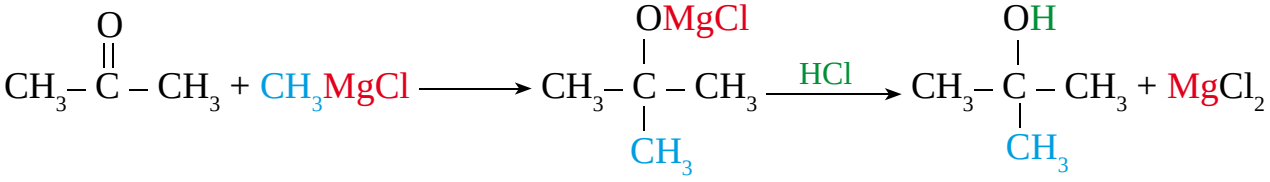
ميثانال
(ألديهايد)

إيثانول
(كحول أولي)



بروبانال
(ألديهايد)

٢ـ بيوتانول
(كحول ثانوي)



بروبانون
(كيتون)

٢ـ ميثيل ـ٢ـ بروبانول
(كحول ثالثي)

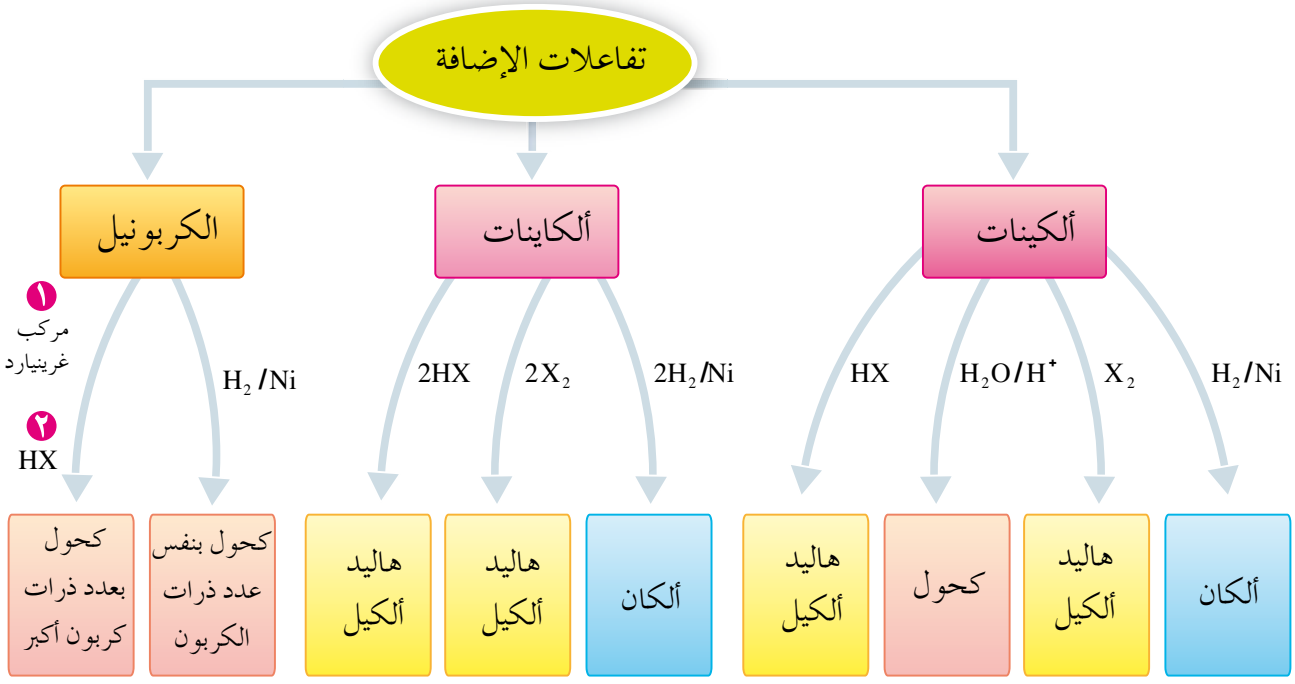
يتبيّن من المعادلات السابقة، أن إضافة مركب غرينيارد إلى الميثانال تُنتج كحولًا أوليًّا،وإضافته إلى الألديهايدات الأخرى تُنتج كحولًا ثانويًّا، وأما إضافته إلى الكيتونات فتُنتج كحولًا ثالثيًّا. ومن الجدير بالذكر، أن عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في مركب الكربونيل (الألديهايد أو الكيتون) ومركب غرينيارد.

■ أكمل المعادلتين الآتيتين:

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H + CH_3\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HMgBr \longrightarrow \text{.....} \xrightarrow{HBr} \text{.....}$$

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2CH_3 \xrightarrow[2)\ HCl]{1)\ CH_3CH_2MgCl}$$

ويبيّن الشكل (٤–٣)، مخططًا يلخص تفاعلات الإضافة السابقة.

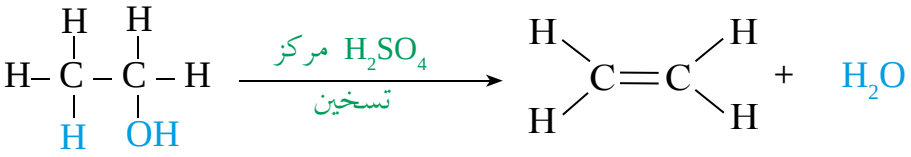


الشكل (٤–٣): مخطط يلخص تفاعلات الإضافة.

٢– تفاعلات الحذف

عرفت أن تفاعل الإضافة يحدث بكسر رابطة π في المركبات غير المشبعة وتحويلها إلى مركبات مشبعة. وأما في تفاعلات الحذف فيحدث العكس، إذ يتم فيها تحويل المركبات العضوية المشبعة إلى مركبات غير مشبعة، وتعد الكحولات وهاليدات الألكيل من أهم المركبات التي تتفاعل بالحذف في ظروف مناسبة، فماذا ينتج عن تفاعلات الحذف؟ وما المواد التي يتم حذفها؟ سنتناول فيما يأتي نوعين من هذه التفاعلات:

أ– حذف الماء من الكحولات: لتتعرّف تفاعلات الحذف في الكحولات، والظروف المناسبة لحدوثها، والناتج العضوي لهذه التفاعلات؛ ادرس المعادلة الآتية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

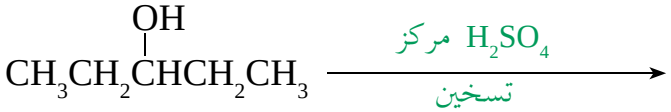


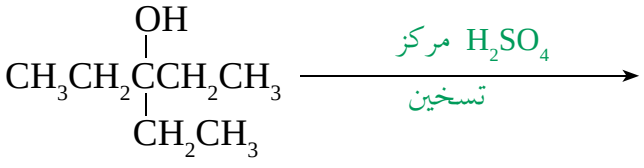
- ما الجزيء الذي تم حذفه من الكحول؟
- ما المادة غير العضوية المستخدمة في تفاعل الحذف؟
- إلى أي عائلة من المركبات العضوية ينتمي المركب الناتج من تفاعل الحذف؟

لابد أنك توصلت من خلال إجابتك عن الأسئلة السابقة، إلى أن الحذف في الكحول يتم من ذرتي كربون متجاورتين، إحداهما تحمل مجموعة OH والأخرى تحمل ذرة H، ويتم حذفهما على شكل جزيء ماء، وبذلك تتكوّن رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون، وينتج ألكين. وتحتاج عملية الحذف إلى وجود مادة تتفاعل مع الماء بشدة، مثل حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز. ويمكن تسريع حدوث هذا التفاعل بتسخين الكحول مع الحمض. ومما يجدر ذكره، أن جميع أنواع الكحولات تتفاعل بالحذف، سواء أكانت أولية أو ثانوية أو ثالثية.

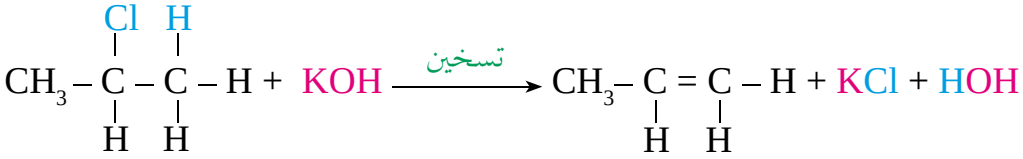
سؤال

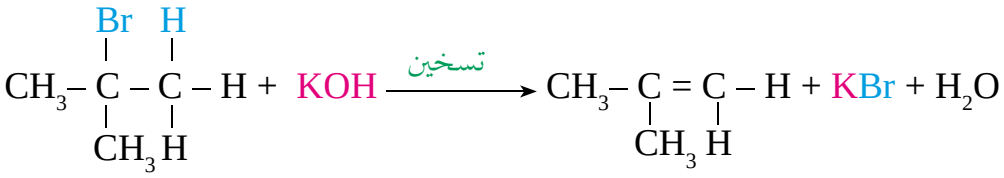
- أكمل المعادلتين الآتيتين:





ب– حذف HX من هاليدات الألكيل: يحدث تفاعل حذف HX بشكل رئيس في هاليدات الألكيل الثانوية والثالثية، إذ يتم حذفه من ذرتي كربون متجاورتين في وسط قاعدي مع التسخين. ولتتعرّف كيفية حدوث ذلك، ادرس التفاعلين الآتيين:

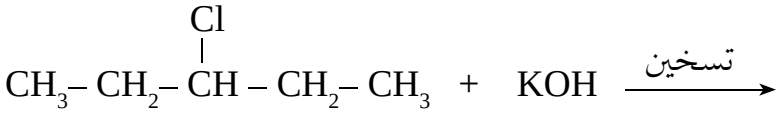


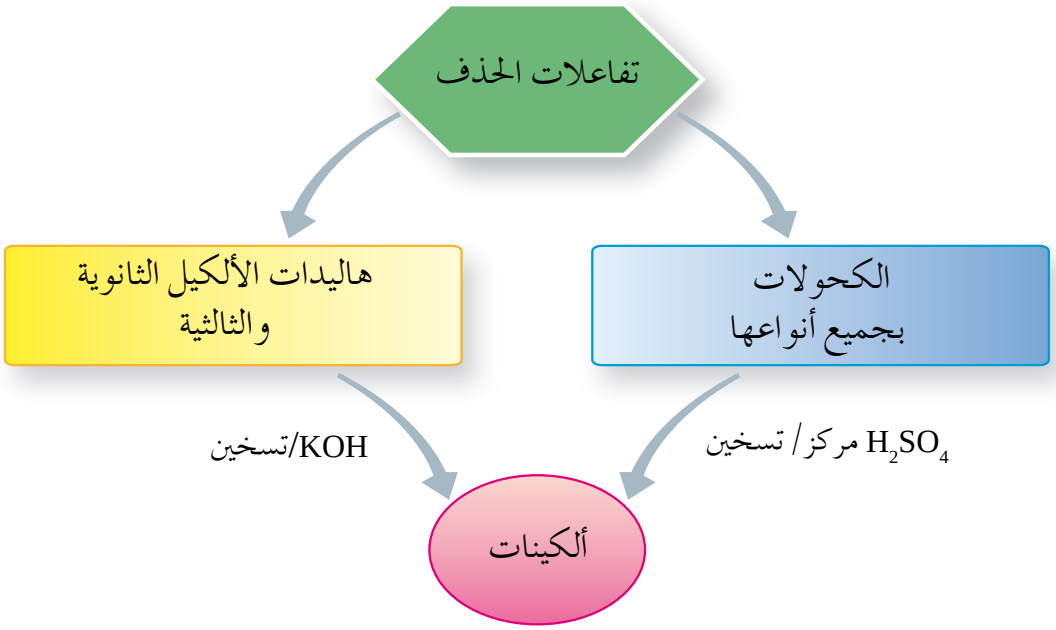


لاحظ أنه تم حذف ذرة هيدروجين من إحدى ذرات الكربون، وذرة هالوجين من ذرة كربون مجاورة لها، وتكوّن الألكين.

سؤال

■ أكمل المعادلة الآتية:



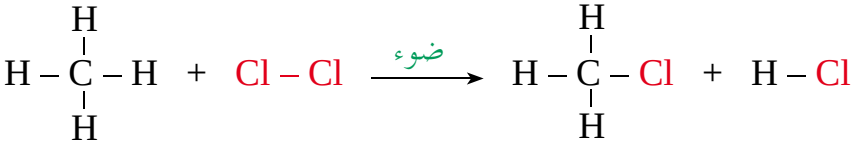


الشكل(٤-٤): مخطط يلخص تفاعلات الحذف.

٣- تفاعلات الاستبدال

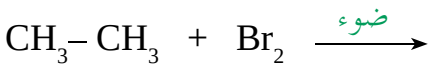
تعـد تفاعـلات الاستبدال من التفاعـلات المهمة والشائعة؛ لأنها تستخـدم في تحضير العديد مـن المركبات العضويـة، إذ تستبدل فيها إحـدى الذرات أو المجموعات بـذرة أو مجموعة أخرى من مركب آخر. ومن الأمثلة على المركبات العضوية التي تتفاعل بالاستبدال الألكانات والكحـولات وهاليدات الألكيل والحموض الكربوكسيليـة. ويمكن توضيح هذه التفاعلات على النحو الآتي:

أ - الاستبدال في الألكانات (هلجنة الألكانات): تتفاعل الألكانات مع الهالوجينات بوجود الضوء الـذي يعمـل على كسر الرابطة بين ذرتـي الهالوجين في المواد المتفاعلـة، ومن ثَمّ تحل إحداهمـا محل ذرة الهيدروجين في الألكان، وينتج هاليـد الألكيل. وقد يستمر استبدال ذرات هيدروجيـن أخرى من الألكان تبعًا لكميـة الهالوجين المتوافرة ولظروف التفاعل. وعليه، فإن التفاعل قد يؤدي إلى إنتاج مركبات تحتوي على ذرة هالوجين واحدة (استبدال أحادي)، أو ذرتي هالوجين (استبدال ثنائي)، أو أكثر. ولكننا سنقتصر في هذا المجال على الاستبـدال الأحادي في الألكانات البسيطة، مثل الميثان والإيثان، والمعادلة الآتية توضح الاستبدال في الميثان:



سؤال

- أكمل المعادلة الآتية:



ب- الاستبدال في الكحولات: من الأمثلة الأخرى على تفاعلات الاستبدال، تفاعل الكحولات، بأصنافهـا الأوليـة والثانوية والثالثية، مع هاليد الهيدروجيـن HX، وذلك بأن تحل ذرة X مـن هاليـد الهيدروجين HX محل مجموعة OH من الكحـول، لإنتاج هاليدات الألكيل، والمعادلتان الآتيتان توضحان ذلك:

$$CH_3CH_2OH + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl + HOH$$

$$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-CH_3 + HBr \longrightarrow CH_3-\underset{\displaystyle Br}{\overset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-CH_3 + H_2O$$

سؤال

■ أكمل المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2\overset{\displaystyle OH}{\overset{|}{C}}HCH_2CH_3 + HI \longrightarrow$$

جـ–الاستبدال في هاليدات الألكيل: عرفت سابقًا أن هاليدات الألكيل الثانوية والثالثية تتفاعل بالحذف بشكل رئيس عند تسخينها مع قاعدة قوية، فكيف تتفاعل هاليدات الألكيل الأولية عند وجود قاعدة قوية (KOH) أو RO^-؟ لتتعرّف ذلك، ادرس المعادلتين الآتيتين:

$$CH_3CH_2I + KOH \longrightarrow CH_3CH_2OH + KI$$

$$CH_3CH_2Br + CH_3O^- \longrightarrow CH_3CH_2OCH_3 + Br^-$$

لاحظ أن الناتج في المعادلة الأولى هو كحول أولي، فمجموعة OH^- تحل محل ذرة هالوجين، وأما في المعادلة الثانية ، فتحل مجموعة RO^- محل ذرة هالوجين لإنتاج الإيثر. والسؤال الآن، كيف يمكن الحصول على مجموعة RO^-؟

يمكن الحصول عليها بتفاعل الكحولات مع الفلزات النشطة، مثل الصوديوم Na، حيث تحل ذرة الصوديوم محل ذرة الهيدروجين، كما في المعادلة الآتية:

$$ROH + Na \longrightarrow RONa + \frac{1}{2}H_2$$

يتضح من المعادلة أنه ينتج RONa، وهو مركب أيوني قد يتفكك إلى Na^+ و RO^- الذي يستخدم في تحضير الإيثر.

سؤال

أكمل المعادلات الآتية:

$$CH_3CH_2CH_2CH_2Br + KOH \longrightarrow$$

$$CH_3Cl + CH_3CH_2CH_2O^- \longrightarrow$$

$$CH_3CH_2OH + Na \longrightarrow$$

$$CH_3CH_2CH_2I + OH^- \longrightarrow$$

د –الاستبدال في الحموض الكربوكسيلية: درست في الصف الحادي عشر، أن الإستر ينتج من تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول، بوجود حمض قوي مثل H_2SO_4 الذي يعمل كعامل مساعد لحدوث التفاعل. ويعد هذا التفاعل من تفاعلات الاستبدال؛ لأن مجموعة RO في الكحول تحل محل مجموعة OH في الحمض، ويسمى هذا التفاعل **تفاعل الأسترة**. والمعادلة الآتية، تبيّن تكوين ميثيل إيثانوات من تفاعل حمض الإيثانويك والميثانول:

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + CH_3OH \underset{\text{تسخين}}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_3 + HOH$$

حمض الإيثانويك — ميثانول — ميثيل إيثانوات — ماء

سؤال

- حدّد الشق الآتي من الحمض، والشق الآتي من الكحول في الإستر الآتي:

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_2CH_2CH_3$$

- أكمل معادلة التفاعل الآتي:

$$CH_3CH_2CH_2COOH + CH_3CH_2OH \underset{\text{تسخين}}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}}$$

ومن الجدير بالذكر، أن الإستر الناتج قد يتفكك عند تسخينه بوجود محلول لقاعدة قوية مثل NaOH، فينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي RCOONa، ويسمى هذا التفاعل **التصبّن**. وسبب التسمية أن هذا التفاعل مماثل للتفاعلات المستخدمه في صناعة الصابون، إذ يتم فيها

مفاعلـة إسترات متنوعـة مثل الموجودة في الزيوت والدهون مـع NaOH لإنتاج الصابون. وتبيّن المعادلة العامة الآتية، عملية تفكك الإستر في وسط قاعدي:

$$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OR' + NaOH \xrightarrow{\text{تسخين}} R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-ONa + R'OH$$

إستر — ملح الحمض الكربوكسيلي — كحول

ومن الأمثلة على هذه العملية، تفكك ميثيل إيثانوات الذي يتم على النحو الآتي:

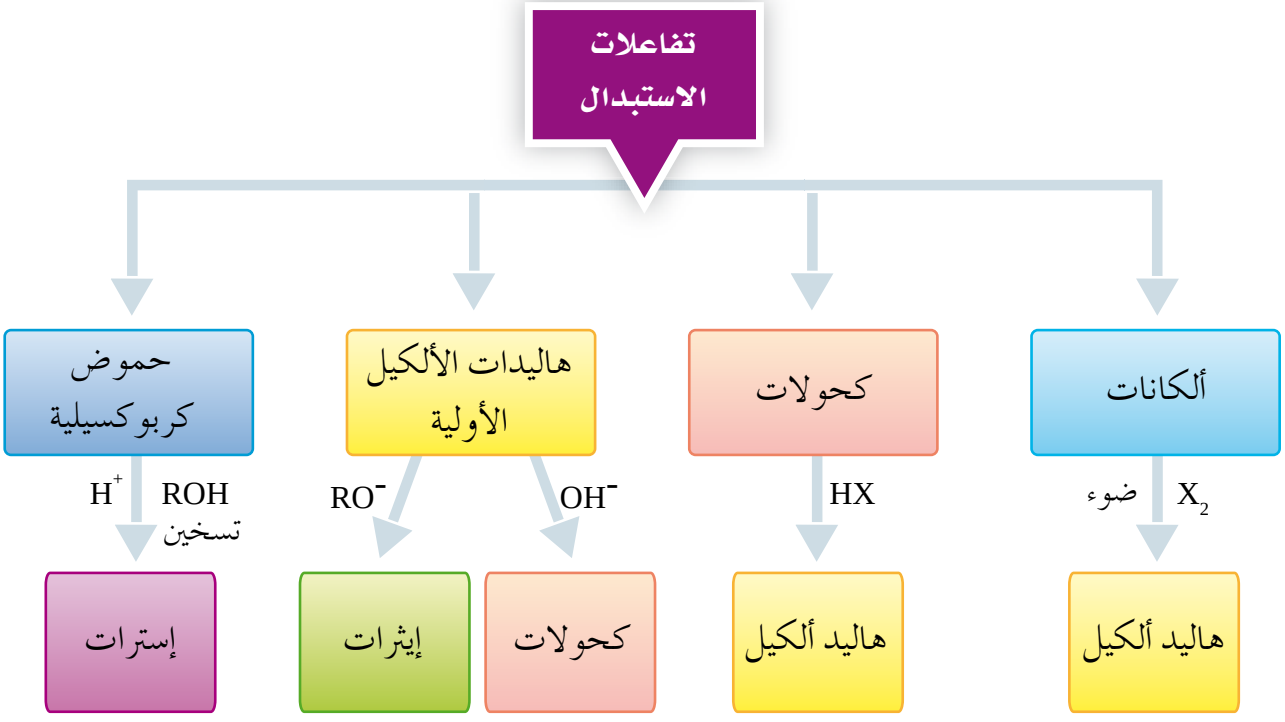
$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_3 + NaOH \xrightarrow{\text{تسخين}} CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-ONa + CH_3OH$$

ميثيل إيثانوات — إيثانوات الصوديوم — ميثانول

سؤال

- اكتب معادلة تفكك إيثيل بروبانوات $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}OCH_2CH_3$ بالتسخين مع محلول NaOH.

ويبيّن الشكل (٤-٥)، مخططًا يلخص تفاعلات الاستبدال السابقة.

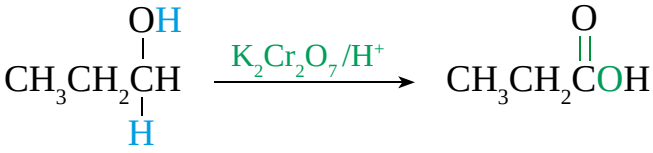


الشكل (٤-٥): مخطط يلخص تفاعلات الاستبدال.

٤ – تفاعلات التأكسد والاختزال

تعرفت سابقًا مفهوم التأكسد والاختزال، وعرفت أن التأكسد زيادة في عدد التأكسد، والاختزال نقصان في عدد التأكسد. وفي المركبات العضوية، توصف عملية التأكسد بأنها زيادة محتوى الأكسجين O في المركب، أو نقصان محتوى الهيدروجين H منه، وتوصف عملية الاختزال بأنها زيادة محتوى الهيدروجين في المركب، أو نقصان محتوى الأكسجين منه. ومن الأمثلة على تفاعلات التأكسد والاختزال:

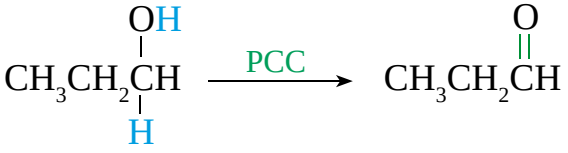
أ – تأكسد الكحولات: تتأكسد الكحولات الأولية بوجود عامل مؤكسد قوي مثل دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي، وينتج عن ذلك الألديهايد الذي يتأكسد مباشرة إلى حَمض كربوكسيلي، والمعادلة الآتية توضح أكسدة ١ – بروبانول (كحول أولي)،لإنتاج حمض بروبانويك (حمض كربوكسيلي):



١ – بروبانول　　حَمض بروبانويك

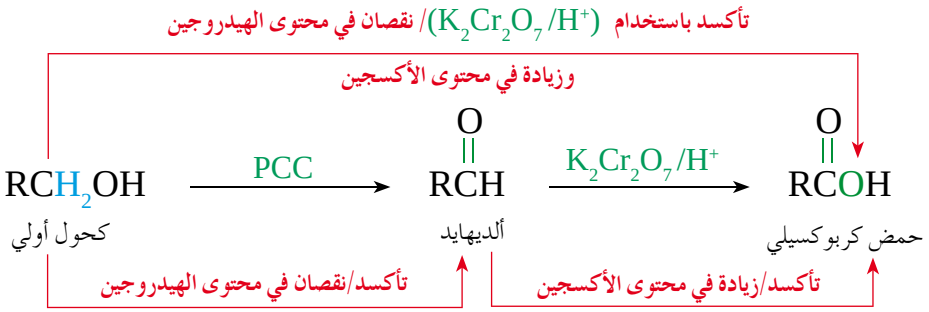
من الواضح أن أكسدة الكحول الأولي إلى حمض كربوكسيلي يتم بنقصان محتوى الهيدروجين H، وزيادة محتوى الأكسجين O في المركب.

بينما تتأكسد الكحولات الأولية بوجود عامل مؤكسد ضعيف مثل محلول كلوروكرومات البريدينيوم ويرمز له بالرمز (PCC) ، وينتج عن ذلك الألديهايد والمعادلة الآتية توضح أكسدة ١ – بروبانول (كحول أولي)، لإنتاج بروبانال (ألديهايد).

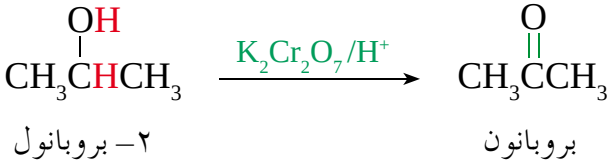


١ – بروبانول　　بروبانال

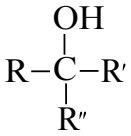
وتتم أكسدة الكحول بنزع ذرتي هيدروجين، إحداهما من مجموعة OH، والأخرى من ذرة الكربون الحاملة لها. ويمكن تلخيص ما يحدث كالآتي:



كمـا تتأكسد الكحـولات الثانوية باستخـدام دايكرومات البوتاسيوم فـي وسط حمضي، أو PCC، وتُنتج كيتونات، كما في المعادلة الآتية:



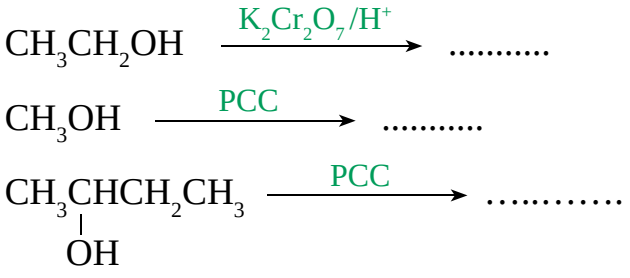
يتضح من المعادلة السابقة أن الكحول الثانوي ٢– بروبانول يتأكسد بانتزاع ذرتي هيدروجين منه، وينتج الكيتون بروبانون الذي لا يتاكسد في الظروف نفسها.

وأمـا فيما يتعلق بالكحولات الثالثية، فإنه بالنظر إلـى الصيغة العامة للكحول الثالثي 

نلاحظ أن ذرة الكربون C المرتبطة بالمجموعة الوظيفية OH ترتبط بثلاث مجموعات ألكيل، وهـذا يجعلها غيـر قادرة على فقد ذرة هيدروجيـن، والتأكسد عند الظـروف نفسها. وعليه، يمكن القول إن الكحولات الثالثية لا تتأكسد.

سؤال

■ أكمل المعادلات الآتية:



ب–تأكسـد الألديهايـد: عرفـت أن الألديهايد الناتـج من أكسدة الكحـول الأولي بوجود عامل مؤكسـد قوي مثـل دايكرومات البوتاسيـوم $K_2Cr_2O_7$ يستمر في التفاعـل ويُنتج الحمض

الكربوكسلي. وهذا يشير أن الألديهايدات تتأكسد بوجود دايكرومات البوتاسيوم وتُنتج حموضًا كربوكسيلية. والمعادلة الآتية تبيّن نتيجة تفاعل دايكرومات البوتاسيوم مع الإيثانال:

$$CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}H \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}OH$$

إيثانال — حمض إيثانويك

سؤال

■ أكمل المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}H \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+}$$

وتجدر الإشارة أن الكيتونات لا تتأكسد في الظروف نفسها؛ لذا يمكن التمييز بينها وبين الألديهايدات باستخدام عامل مؤكسد مناسب. ومن أشهر العوامل المؤكسدة المستعملة للتمييز بينهما محلول تولينز $[Ag(NH_3)_2]^+$ المكون من محلول نترات الفضة مع الأمونيا، وعند تسخين مزيج من مركب الألديهايد مع محلول تولينز في أنبوب اختبار تترسب الفضة على جدار الأنبوب مكوّنة مرآة فضية، انظر الشكل(٤–٦). ويمكن توضيح ذلك بالمعادلة العامة الآتية:

الشكل (٤–٦) : تكون مرآة فضية عند تفاعل الألديهايد مع محلول تولينز.

$$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H \xrightarrow[OH^-]{[Ag(NH_3)_2]^+} R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}O^- + Ag\downarrow$$

ألديهايد — مرآة فضية

أما الكيتونات فلا تتأكسد بمحلول تولينز.

$$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-R' \xrightarrow[OH^-]{[Ag(NH_3)_2]^+} \text{لايحدث تفاعل}$$

كيتون

سؤال

■ كيف نميز مخبريًّا بين بروبانال $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}H$ وبروبانون $CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$؟ وضّح إجابتك بمعادلات.

■ مركب عضوي A صيغته الجزيئية $C_4H_{10}O$ ، عند أكسدته باستخدام PCC، نتج المركب العضوي B الذي صيغته الجزيئية C_4H_8O، والذي لا يتفاعل مع محلول تولينز، ما الصيغة البنائية لكل من A وB؟

جـ–اختـزال الألكيـن والألكايـن: تعد تفاعـلات إضافة الهيدروجيـن H_2 إلى الرابطـة الثنائية في الألكينـات أو الرابطة الثلاثية في الألكاينات بوجـود عامل مساعد مثل النيكل، مثالًا على تفاعلات الاختزال كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{إيثين}}{CH_2=CH_2} + H_2 \xrightarrow{Ni} \underset{\text{إيثان}}{CH_3CH_3}$$

لاحـظ أن عـدد ذرات الهيدروجين فـي الإيثين ٤ ذرات، وقد أصبح ٦ ذرات في الإيثان، مما يعني أن الإيثين قد اختُزل وتحول إلى إيثان.

سؤال

أكمل التفاعل الآتي:

$$CH_3C\equiv CH + 2H_2 \xrightarrow{Ni}$$

د – اختزال مركبات الكربونيل (الألديهايد والكيتون): يتم اختزال مركبات الكربونيل أيضًا بإضافة الهيدروجين H_2 لها بوجود عامل مساعد مثل النيكل، كما في التفاعلين الآتيين:

$$\underset{\text{ألديهايد}}{R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H} + H_2 \xrightarrow{Ni} \underset{\text{كحول أولي}}{R-\overset{\overset{OH}{|}}{CH_2}}$$

$$\underset{\text{كيتون}}{R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R'} + H_2 \xrightarrow{Ni} \underset{\text{كحول ثانوي}}{R-\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}}-R'}$$

لاحظ أن الاختزال في الألديهايد والكيتون يتم بزيادة محتوى الهيدروجين في الكحول الناتج.

سؤال

- أكمل التفاعل الآتي:

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni}$$

- ما الصيغة البنائية للمركب العضوي A في التفاعل الآتي؟

$$A + H_2 \xrightarrow{Ni} \overset{\overset{OH}{|}}{CH_3CH_2CH_2}$$

ويبيّن الشكل (٤–٧)، مخططًا يلخص تفاعلات التأكسد والاختزال في المركبات العضوية.

الشكل(٤-٧): مخطط يلخص تفاعلات التأكسد والاختزال.

٥- تفاعلات الحموض والقواعد العضوية

تختلف المركبات العضوية في صفاتها الحمضية والقاعدية، فبعضها له صفات حمضية كالحموض الكربوكسيلية، وبعضها له صفات قاعدية كالأمينات، ويمكن لهذين النوعين من المركبات أن يتفاعلا معًا، أو مع الحموض والقواعد غير العضوية. وفيما يأتي بعض تفاعلات هذه الحموض والقواعد العضوية:

أ- **تفاعلات الحموض الكربوكسيلية:** تتفاعل الحموض الكربوكسيلية مع القواعد القوية مثل تفاعل حمض الإيثانويك، مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}OH + NaOH \longrightarrow CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}ONa + H_2O$$

كما تتفاعل مع بعض الأملاح القاعدية، مثل كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$ كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}OH + NaHCO_3 \longrightarrow CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}ONa + H_2O + CO_2$$

ويستخدم هذا التفاعل في تمييز الحمض الكربوكسيلي عن غيره من المركبات العضوية الأخرى، فيلاحظ انطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون كمؤشر لحدوث التفاعل. انظر الشكل (٤-٨)، الذي يبيّن تفاعل حمض الإيثانويك مع كربونات الصوديوم الهيدروجينية.

الشكل (٤-٨): تفاعل حمض الإيثانويك مع كربونات الصوديوم الهيدروجينية.

سؤال

- أكمل المعادلتين الآتيتين:

$$CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}OH + NaOH \longrightarrow$$

$$CH_3CH_2\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCOOH + NaHCO_3 \longrightarrow$$

- كيف تميز مخبريًّا بين حمض الإيثانويك $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}OH$ والإيثان CH_3CH_3؟ وضّح إجابتك بمعادلات كيميائية.

ب- تفاعلات الأمينات القاعدية: تعد الأمينات قواعد عضوية، ويفسر السلوك القاعدي لها بسبب وجود زوج من الإلكترونات غير الرابطة على ذرة النيتروجين N؛ وهذا يجعلها قادرة على التفاعل مع أيون H^+ من مادة أخرى ومنح زوج الإلكترونات له؛ لذا فهي تتفاعل مع الحموض مكوّنة أملاحًا، كما في المعادلة العامة الآتية:

$$R\ddot{N}H_2 + HX \longrightarrow RNH_3X$$

سؤال

- أكمل المعادلة الآتية:

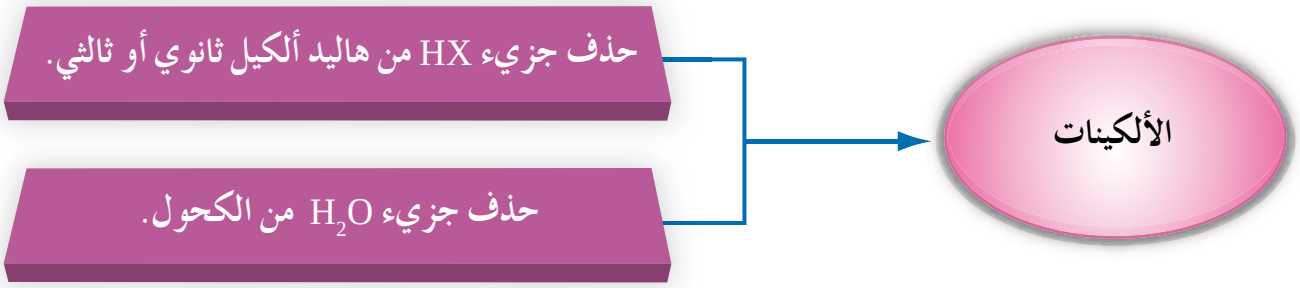
$$CH_3CH_2NH_2 + HBr \longrightarrow$$

ثانيًا تحضير المركبات العضوية في المختبر

يمكن الاستفادة من أشكال التفاعلات العديدة التي تمّ استعراضها حتى الآن في هذا الفصل، لتحضير العديد من المركبات العضوية في المختبر؛ بهدف دراستها واستعمالها والاستفادة منها في تحضير مركبات عضوية أخرى. وفيما يأتي استعراض لطرائق تحضير بعض هذه المركبات.

١- تحضير الألكينات

عرفت أن تفاعلات الحذف تُنتج الألكينات، ويمكن توضيح هذه التفاعلات بالمخطط الآتي:



كما يوضح المثال الآتي إحدى هذه الطرائق:

مثال (١)

ابتدىء من المركب ٢ـ ميثيل ـ٢ـ بروبانول $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{C}}-CH_3$ واستخدم أي مواد غير عضوية مناسبة، ثم وضّح كيفية تحضير المركب ميثيل بروبين $CH_3\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}=CH_2$

الحل

بالنظر إلى الصيغة البنائية للمركب العضوي المتوافر في المختبر والمركب المطلوب تحضيره، نلاحظ أنه يمكن تحضير المركب ميثيل بروبين بحذف جزيء ماء من المركب ٢ـ ميثيل ـ٢ـ بروبانول ويتم ذلك عن طريق التسخين، واستخدام محلول H_2SO_4 المركز كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{C}}-CH_3 \xrightarrow[\text{تسخين}]{\text{مركز } H_2SO_4} CH_3\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}=CH_2 + H_2O$$

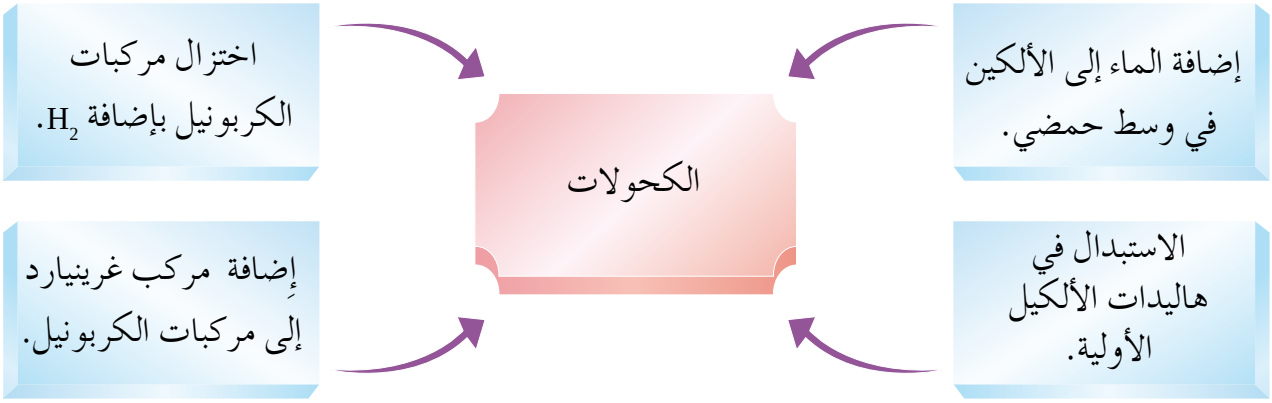
٢ـ ميثيل ـ٢ـ بروبانول — ميثيل بروبين

سؤال

- ابتدئ من المركب ٢– كلورو بروبان $CH_3\underset{\underset{Cl}{|}}{C}HCH_3$، واستخدم أي مواد غير عضوية مناسبة، ثم بيّن كيفية تحضير المركب بروبين $CH_3CH=CH_2$.

٢- تحضير الكحولات

درست سابقًا عددًا من التفاعلات التي تؤدي إلى تحضير الكحول، والتي يمكن تمثيلها بالمخطط الآتي:



ويمكن تحضير الكحولات بخطوة واحدة أو بأكثر من خطوة. والأمثلة الآتية توضح ذلك:

مثال (٢)

إضافة الماء إلى الألكين في وسط حمضي.

ابتدئ من المركب ٢ـ بيوتين $CH_3CH=CHCH_3$، واستخدم أي مواد غير عضوية مناسبة، ثم بيّن خطوات تحضير المركب ٢ـبيوتانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3$.

الحل

يمكن تحضير ٢ـ بيوتانول عن طريق إضافة الماء إلى المركب ٢ـ بيوتين في وسط حمضي H^+، كما يأتي:

$$CH_3CH=CHCH_3 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3$$

مثال (٣)

استبدال في هاليد ألكيل أولي.

استخـدم ١ـ كلوروبروبان $CH_3CH_2CH_2Cl$ وأي مواد غيـر عضوية مناسبة، ثم بيّن خطوات تحضير ٢ـ بروبانول $CH_3\underset{\underset{OH}{|}}{C}HCH_3$.

الحل

بالنظـر إلـى الصيغة البنائية للمركب المراد تحضيره وهو ٢ـ بروبانول ، والمركب المتوافر فـي المختبر وهـو ١ـكلورو بروبان، نلاحـظ أنه لا يمكن تحضيـر ٢ـ بروبانول مباشرة مـن ١ـكلورو بروبـان باستخدام تفاعل الاستبدال؛ لإن الناتـج سيكون ١ـ بروبانول وهو كحـول أولي والمطلوب تحضيـر ٢ـ بروبانول (كحول ثانوي)؛ لذا لابد بداية من تحضير ١ـ بروبانول كالآتي:

$$CH_3CH_2CH_2Cl + KOH \longrightarrow CH_3CH_2CH_2OH + KCl$$

ثم تحويل الكحول الأولي إلى ألكين بالحذف، كما في المعادلة:

$$CH_3CH_2CH_2OH \xrightarrow[\text{تسخين}]{\text{مركز } H_2SO_4} CH_3CH = CH_2 + H_2O$$

ثـم إضافـة ماء إلـى الألكين في وسط حمضـي، وفقًا لقاعدة ماركوفنيكـوف للحصول على المركب المطلوب، كما يأتي:

$$CH_3CH = CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3 + H_2O$$

سؤال

- مـا الصيغـة البنائية للمركب العضوي الـذي يُنتج المركب ٢ـ ميثيل ـ١ـ بروبانول $CH_3\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCH_2OH$ عند تفاعله مع KOH؟
- يتوافـر فـي المختبـر المركبـان ١ـ كلوروبيوتـان $CH_3CH_2CH_2CH_2Cl$ و١ـ بيوتيـن $CH_3CH_2CH = CH_2$. فأيهما تختار لتحضير ١ـ بيوتانول $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$؟

مثال (٤)

اختزال مركب كربونيل بإضافة H_2 إليه.

استخدم بروبانال $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}H$، وأي مواد غير عضويه مناسبة، ثم بيّن خطوات تحضير ٢ـ بروبانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$

الحل

لابد في البداية من تحضير الكحول الأولى عن طريق إضافة الهيدروجين H_2 للبروبانال بوجود عامل مساعد مثل النيكل، كما في المعادلة:

$$CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}H + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2\overset{\overset{OH}{|}}{C}H_2$$

ثم تحويل الكحول الأولي إلى ألكين بالحذف، كما في المعادلة:

$$CH_3CH_2CH_2OH \xrightarrow[\text{تسخين}]{\text{مركز } H_2SO_4} CH_3CH = CH_2 + H_2O$$

ثم إضافة ماء إلى الألكين في وسط حمضي، وفقًا لقاعدة ماركوفنيكوف للحصول على المركب المطلوب، كما يأتي:

$$CH_3CH = CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$$

مثال (٥)

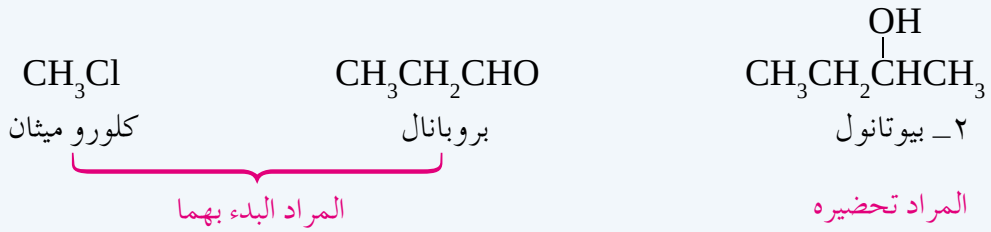
إضافة مركب غرينيارد إلى مركب كربونيل.

بيّن خطوات تحضير ٢ـ بيوتانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3$ باستخدام بروبانال $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}H$

وكلورو ميثان CH_3Cl مستخدمًا الإيثر وأي مواد غير عضوية مناسبة.

الحل

عنـد مقارنة الصيغ البنائية للمركب العضوي المراد تحضيره والمركبين المراد البدء بهما، من حيث عدد ذرات الكربون والمجموعة الوظيفية ونوع الروابط في كل منها نجد أن صيغ هذه المركبات هي:



وبتفحص هذه المركبات، نلاحظ أن الكحول المراد تحضيره، هو كحول ثانوي، يحتوي علـى ٤ ذرات كربـون، وأن هـذا العدد يساوي مجموع أعـداد ذرات الكربون في المركبين المـراد البـدء بهما؛ لذا لا بد مـن استخدام طريقة غرينيارد لتحضير هـذا المركب على النحو الآتي:

$$CH_3Cl + Mg \xrightarrow[\text{إيثر}]{} CH_3MgCl$$

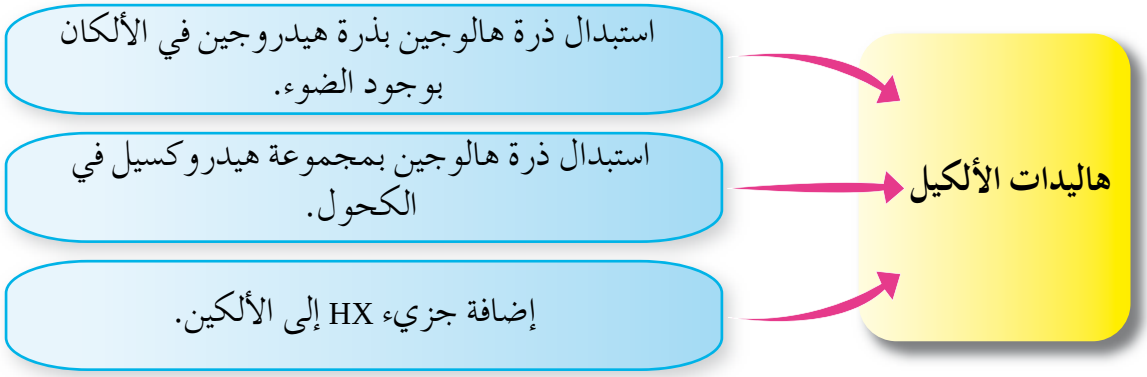
$$CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}H + CH_3MgCl \longrightarrow CH_3CH_2\overset{OMgCl}{\overset{|}{C}}HCH_3 \xrightarrow{HCl} CH_3CH_2\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3 + MgCl_2$$

سؤال

■ إذا كان لديـك بروبانـون $CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$، وكلوروإيثـان CH_3CH_2Cl فبيّـن خطـوات تحضيـر ٢ـ ميثيل ـ ٢ـ بيوتانول $CH_3\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}CH_2CH_3$ مستخدمًا الإيثر، وأي مواد غير عضوية مناسبة.
OH

٣- تحضير هاليدات الألكيل

يمكن تلخيص التفاعلات التي تُنتج هاليدات الألكيل كما في المخطط الآتي:



ويمكن تحضير هاليدات الألكيل بخطوة أو أكثر، حسب المعطيات المتوافرة. ولتتعرّف ذلك، ادرس الأمثلة الآتية:

مثال (٦)

إحلال الهالوجين محل الهيدروجين بوجود الضوء.

باستخدام الإيثان CH_3CH_3 وأي مواد غير عضوية مناسبة، وضّح كيفية تحضير كلوروإيثان CH_3CH_2Cl.

الحل

يمكن استبدال ذرة كلور بذرة هيدروجين في الإيثان، بوجود الضوء لإنتاج المركب المطلوب، كما في المعادلة:

$$CH_3CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{\text{ضوء}} CH_3CH_2Cl + HCl$$

مثال (٧)

إحلال الهالوجين محل مجموعة هيدروكسيل في الكحول.

استخدم أي مواد غير عضوية مناسبة، ثم اكتب معادلات كيميائية تبيّن خطوات تحضير المركب ٢ـ ميثيل ـ٢ـ كلوروبروبان $CH_3\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{Cl}{|}}{C}}CH_3$ من المركب ٢ـ ميثيل ـ١ـ كلوروبروبان $CH_3\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCH_2Cl$؟

الحل

لا يمكن تحويل ٢ـ ميثيل ـ١ـ كلوروبروبان مباشرة إلى ٢ـ ميثيل ـ٢ـ كلوروبروبان؛ لأن ٢ـ ميثيل ـ١ـ كلوروبروبان يتفاعل بشكل رئيس بطريقة الاستبدال مع KOH ،وينتج كحول هو: ٢ـ ميثيل ـ١ـ بروبانول كما في المعادلة:

$$CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH_2Cl + KOH \longrightarrow CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH_2OH$$

٢ـ ميثيل ـ١ـ كلوروبروبان — ٢ـ ميثيل ـ١ـ بروبانول

وللحصول على المركب المطلوب، يتم تحويل ٢ـ ميثيل ـ١ـ بروبانول إلى ميثيل بروبين عن طريق حذف جزيء ماء كما في المعادلة:

$$CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH_2OH \xrightarrow[\text{تسخين}]{\text{مركز } H_2SO_4} CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}} = CH_2 + H_2O$$

٢ـ ميثيل ـ١ـ كلوروبروبان — ميثيل بروبين

ثم يضاف جزيء HCl، وبذلك نحصل على ٢ـ ميثيل ـ٢ـ كلوروبروبان، كالآتي:

$$CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}} = CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}}}CH_3$$

ميثيل بروبين — ٢ـ ميثيل ـ٢ـ كلوروبروبان

سؤال

- استخدم أي مواد غير عضوية مناسبة، ثم اكتب معادلات كيميائية تمثل عملية تحضير برومو إيثان CH_3CH_2Br من المركبات الآتية:

◄ إيثان CH_3CH_3 ◄ إيثين $CH_2 = CH_2$ ◄ إيثانول CH_3CH_2OH

٤- تحضير الألديهايدات

تعرّفت سابقًا أن الألديهايد ينتج من تأكسد الكحول الأولي باستخدام عامل مؤكسد ضعيف يرمز له PCC، والمثال الآتي يوضح ذلك:

مثال (٨)

بيّن بالمعادلات كيفية تحضير بروبانال CH_3CH_2CHO من الميثانول CH_3OH وكلوروإيثان CH_3CH_2Cl مستخدمًا الإيثر وأي مواد غير عضوية مناسبة.

الحل

عند مقارنة الصيغ البنائية للمركب العضوي المراد تحضيره، والمركبين المراد البدء بهما من حيث عدد ذرات الكربون والمجموعة الوظيفية ونوع الروابط في كل منها، نجد أن صيغ هذه المركبات هي:

CH_3OH ميثانول — CH_3CH_2Cl كلوروإيثان — $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}H$ بروبانال

ميثانول وكلوروإيثان: المراد البدء بهما

بروبانال: المراد تحضيره

لاحظ أن الألديهايد المراد تحضيره يحتوي على ٣ ذرات كربون. وأن هذا العدد يساوي مجموع أعداد ذرات الكربون في المركبين المراد البدء بهما؛ لذا نستنتج أن تحضير المركب المطلوب يستدعي تحويل الكحول إلى ألديهايد، وزيادة عدد ذرات الكربون في المركب.

ويمكن إجراء العملية الأولى عن طريق أكسدة الميثانول كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3OH \xrightarrow{PCC} \overset{\overset{O}{\|}}{H}CH$$

أما زيادة عدد ذرات الكربون، فيتم عادة باستخدام طريقة غرينيارد كما في المعادلتين الآتيتين:

$$CH_3CH_2Cl + Mg \xrightarrow[\text{أثير}]{} CH_3CH_2MgCl$$

$$\overset{\overset{O}{\|}}{H\text{-}C\text{-}H} + CH_3CH_2MgCl \longrightarrow CH_3CH_2\overset{\overset{OMgCl}{|}}{C}H_2 \xrightarrow{HCl} CH_3CH_2\overset{\overset{OH}{|}}{C}H_2 + MgCl_2$$

وللحصول على الألديهايد المطلوب، علينا أكسدة الكحول الناتجة كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}H_2 \xrightarrow{PCC} CH_3CH_2\overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}}H$$

سؤال

■ بيّـن بالمعـادلات كيفية تحضير الإيثانال CH_3CHO من الإيثـان CH_3CH_3 باستخدام أي مواد غير عضوية مناسبة.

٥- تحضير الكيتونات

يحضّـر الكيتـون من تأكسد كحـول ثانوي باستخدام عامل مؤكسد مثـل $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي، أو باستخدام PCC، ويمكن توضيح ذلك من خلال المثال الآتي:

مثال (٩)

استخـدم بروبيـن $CH_3CH=CH_2$ وأي مـواد غير عضويـه مناسبة، ثم بيّـن خطوات تحضير بروبانون $CH_3\overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}}CH_3$.

الحل

بما أن المركب المتوافر للبدء به هو البروبين؛ فإنه يمكن تحويله إلى الكحول ٢ـ بروبانول بإضافـة الماء في وسط حمضـي، ثم أكسدة الكحول الناتجة للحصـول على البروبانون. ويمكن بيان خطوات التحضير على النحو الآتي:

$$CH_3CH=CH_2 \xrightarrow{H_2O/H^+} CH_3\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCH_3$$

$$CH_3\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCH_3 \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3\overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}}CH_3$$

سؤال

■ اكتب الصيغ البنائية للمركبات العضوية A ، B في المخطط الآتي:

$$\boxed{CH_3CH=CHCH_3} \xrightarrow{H_2O/H^+} \boxed{A} \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} \boxed{B}$$

٦- تحضير الحموض الكربوكسيلية

تنتج الحموض الكربوكسيلية من تأكسد الكحولات الأولية، أو تأكسد الألديهايدات، بوجود عامل مؤكسد قوي مثل $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي.

مثال (١٠)

إذا توافر لديك في المختبر غاز الإيثين $CH_2=CH_2$. بيّن بالمعادلات كيفية تحضير حمض الإيثانويك $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}OH$ منه.

الحل

يمكن البدء بإضافة ماء إلى الألكين في وسط حمضي للحصول على كحول أولي، كما في المعادلة الآتية:

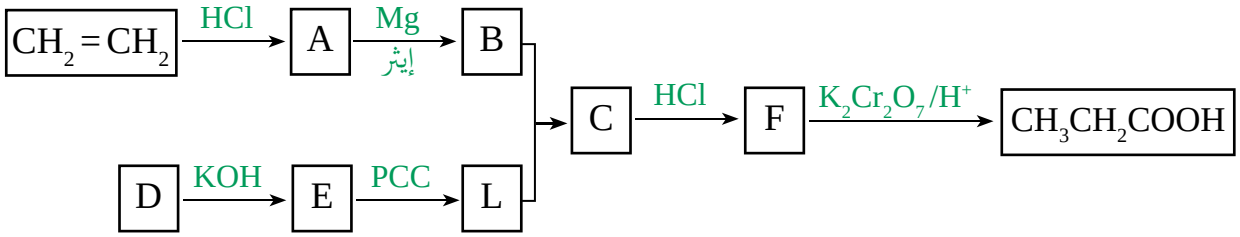
$$CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}H_2$$

ثم أكسدة الكحول الناتجة كما يأتي:

$$CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}H_2 \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}OH$$

سؤال

■ اكتب الصيغ البنائية للمركبات العضوية A ، B، C، D، E، F، L، في المخطط الآتي:

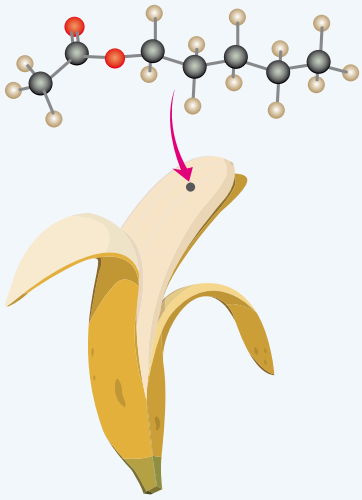


٧- تحضير الإسترات

تعد الإسترات من أهم مشتقات الحموض الكربوكسيلية. وهي تَنتج من تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول في وسط حمضي كما في المثال الآتي:

مثال (١١)

إذا علمت أن الإستر الموجود في الموز هو بنتيل إيثانوات $CH_3COOCH_2(CH_2)_3CH_3$. اكتب الصيغة البنائية للكحول والحمض الكربوكسيلي اللذين ينتجانه عند تفاعلهما في وسط حمضي.



الشكل(٤-٩): الصيغة البنائية لمركب بنتيل إيثانوات الموجود في الموز.

الحل

يتضح من الصيغة البنائية للإستر أنه يتكوّن من شقين هما:

$$CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}/OCH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$$

الشق الآتي من الحمض — الشق الآتي من الكحول

وعليه، تكون صيغة الكحول هي $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH$

وصيغة الحمض الكربوكسيلي هي $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}OH$

سؤال

- ابتدئ من الإيثانال $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}H$، وأي مواد غير عضوية مناسبة، ثم بيّن بالمعادلات كيفية تحضير إيثيل إيثانوات $CH_3COOCH_2CH_3$.

٨- تحضير الإيثرات

ينتج الإيثر من تفاعل استبدال يحصل بين هاليد ألكيل أولي ومركب عضوي صيغته العامة RONa كما في المعادلة الآتية:

$$R-X + R'ONa \longrightarrow R'OR + NaX$$

ويبيّن المثال الآتي تحضير أحد الإيثرات:

مثال (١٢)

باستخدام الإيثين وأي مواد غير عضوية مناسبة، وضح كيفية تحضير ثنائي إيثيل إيثر $CH_3CH_2OCH_2CH_3$

الحل

نحضّر أولًا الكحول CH_3CH_2OH من الإيثين، كما في المعادلة الاتية:

$$CH_2 = CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3CH_2OH$$

ثم نحول الكحول إلى CH_3CH_2ONa بتفاعله مع فلز الصوديوم Na كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2OH + Na \longrightarrow CH_3CH_2ONa + \frac{1}{2}H_2$$

كما نحضّر من الإيثين هاليد ألكيل CH_3CH_2Cl، على النحو الآتي:

$$CH_2 = CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl$$

أو عن طريق الاستبدال في الكحول كالآتي:

$$CH_3CH_2OH + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl + H_2O$$

وبذلك نحصل على المركبين المطلوبين لتحضير ثنائي إيثيل إيثر عند تفاعلهما، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Cl + CH_3CH_2ONa \longrightarrow CH_3CH_2OCH_2CH_3 + NaCl$$

سؤال

- اكتب الصيغ البنائية للمركبين العضويين A، B في المعادلتين الآتيتين:

$$CH_3OH \xrightarrow{Na} \boxed{A} + \frac{1}{2}H_2$$

$$\boxed{A} + CH_3CH_2CH_2Cl \longrightarrow \boxed{B} + NaCl$$

الإسترات

ترتبط المركبات العضوية في حياتنا بصورة مباشرة أو غير مباشرة. ومن أهم هذه المركبات العضوية الإسترات التي تتميز بروائح عطرية، فالروائح المختلفة المميزة لبعض الأزهار والفواكه هي إسترات، وهذه الصفة جعلتها تدخل في العديد من الصناعات الغذائية كالحلويات، والعصائر، وغير الغذائية كالعطور.

الشكل (٤-١٠): الأسبرين.

ويدخل الإستر أيضًا في تكوين مبلمرات الإستر التي أصبحت أساسًا للعديد من الصناعات خصوصًا بعد تقويتها بالألياف الزجاجية، مثل تصنيع هياكل الطائرات والسيارات والقوارب.

أما في المجال الطبي، فيعد الأسبرين الذي نستعمله بكثرة في تخفيف الآلام من الإسترات وهو يتكون من اتحاد حمض الساليسيليك (يستخلص من لحاء شجر الصفصاف) وأنهايدريد حمض الإيثانويك، ومن أهم الاستخدامات الأخرى للأسبرين أنه خافض للحرارة، ويقلل من تجلط الدم.

للاستزادة يمكنك الرجوع إلى الشبكة المعلوماتية مستعينًا بالعبارات المفتاحية الآتية: الإسترات واستخداماتها، Uses of Esters.

١) وضّح المقصود بكل من:

تفاعلات الإضافة، تفاعلات الحذف، تفاعلات الاستبدال، الأسترة، التصبن، مركب غرينيارد.

٢) مركب عضوي A يحتوي ٣ ذرات كربون ينتج عند أكسدته باستخدام $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي المركب العضوي B. وعند تفاعل المركب B مع CH_3CH_2MgCl متبوعًا بإضافة HCl، ينتج المركب العضوي C، الذي لا يتأكسد بوجود $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي. ما الصيغ البنائية للمركبات A، B، C؟

٣) لديك جدول يتضمن عددًا من المركبات العضوية. ادرسها جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

(١) CH_3CH_2OH	(٢) $CH_2 = CH_2$	(٣) $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_3$
(٤) $HC\overset{\overset{O}{\|}}{-}OCH_2CH_3$	(٥) $CH_3CH_2CH_2Cl$	(٦) $CH \equiv CH$
(٧) $CH_3\overset{\overset{OH}{\|}}{C}HCH_3$	(٨) CH_3CH_2CHO	(٩) CH_3COOH

أ) ما صيغة المركب العضوي الذي يتفاعل بالإضافة مع HCl ليعطي كلوروإيثان CH_3CH_2Cl؟

ب) ما صيغة المركب العضوي الذي يتفاعل بالاستبدال مع HCl ليعطي كلوروإيثان CH_3CH_2Cl؟

جـ) ما صيغة المركب العضوي الناتج من أكسدة المركب (١) بوجود $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي؟

د) ما صيغة المركب العضوي الذي يُختزل ليعطي المركب (٧)؟

هـ) اكتب معادلة تفكك المركب (٤) بالحرارة بوجود NaOH، ماذا نسمي هذا التفاعل؟

و) بيّن كيفية التمييز مخبريًّا بين المركبين (٢) و (٥)، مستعينًا بالمعادلات.

ز) وضّح باستخدام المعادلات كيفية تحويل المركب (٥) إلى (٨).

ح) اكتب الصيغة البنائية للمركب الناتج من اختزال المركب (٦).

ط) ما صيغة المركب العضوي الناتج من تفاعل المركب (٧) مع فلز البوتاسيوم K؟

ي) ما الشق الآتي من الحمض الكربوكسيلي في المركب (٤)؟

ك) اكتب الصيغة البنائية للمركب العضوي الناتج من تسخين المركب (٩) والمركب (١) في وسط حمضي؟

٤) اكتب الصيغة البنائية للمركب العضوي في كل من الحالات الآتية:

أ) المركب الناتج عن اختزال ٣ـ بنتانون $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_2CH_3$ بوساطة H_2، وبوجود النيكل كعامل مساعد.

ب) المركب الذي يزيل لون محلول البروم البُني المُحمر. وعند تفاعله مع H_2O/H^+ يعطي ٢ـ بروبانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$.

جـ) المركب العضوي الذي يتفاعل مع ٢ مول HCl لينتج المركب ١،١ ـ ثنائي كلورو إيثان CH_3CHCl_2.

د) المركب الذي يحتوي ذرتي كربون، ويتفكك عند تسخينه في محلول NaOH إلى مركبين عضويين.

هـ) المركب الذي ينتج من تفاعل كلورو إيثان CH_3CH_2Cl مع CH_3ONa.

٥) أكمل التفاعلات الآتية:

$$CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-Br + KOH \xrightarrow{\text{تسخين}}$$

$$CH_3-CH_2-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-CH_2-CH_3 \xrightarrow[\text{تسخين}]{H_2SO_4 \text{ مركز}}$$

$$CH_3\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}H \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+}$$

$$CH_3CH_2CH_2COOH + NaHCO_3 \longrightarrow$$

$$HC\equiv CCH_2CH_2CH_3 + 2Br_2 \xrightarrow[CCl_4]{}$$

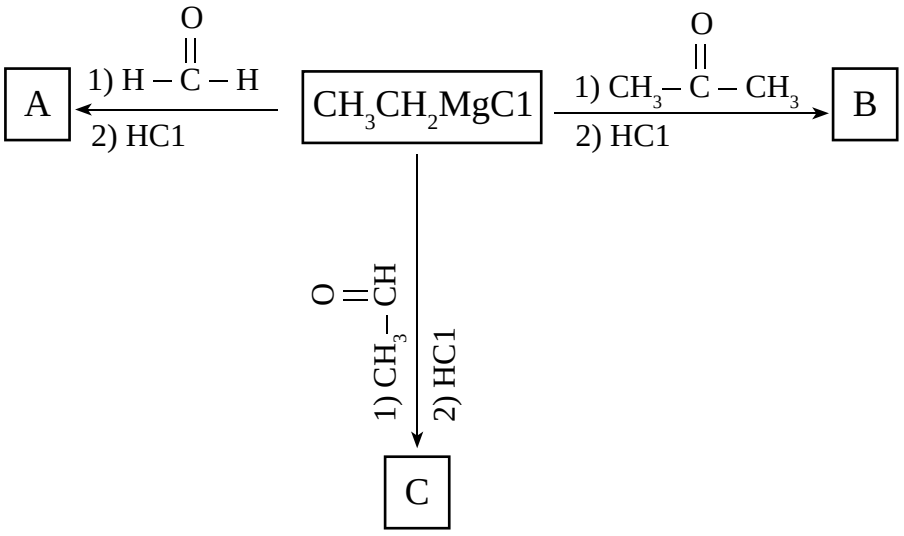
$$CH_3CH_2CH_2NH_2 + HI \longrightarrow$$

٦) في التفاعل الآتي:

$$A + KOH \xrightarrow{\text{تسخين}} CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}=CH_2 + KCl + H_2O$$

ما الصيغة البنائية للمركب العضوي A؟

٧) ادرس المخطط الآتي، ثم اكتب الصيغ البنائية لكل من المركبات العضوية C, B, A.



٨) ابتدئ بالإيثان CH_3CH_3 واستخدم الإيثر أو أي مركبات غيرعضوية مناسبة، ثم بيّن بمعادلات كيفية تحضير المركبات الآتية:

أ) البيوتانون $CH_3\overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}}CH_2CH_3$.

ب) ثنائي إيثيل إيثر $CH_3CH_2OCH_2CH_3$.

جـ) إيثيل إيثانوات $CH_3\overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}}OCH_2CH_3$.

المركبات العضوية الحيوية

Bio-organic Compounds

تدخل المركبات العضوية في تركيب أجسام الكائنات الحية، إذ تحتوي أجسامنا على أنواع متعددة من هذه المركبات يُطلق عليها اسم المركبات الحيوية.

فالستيرويدات والدهون تدخل في بناء الأغشية الخلوية، وتعد البروتينات المكوّن الأساسي للعضلات، وللمركبات الحيوية دور مهم في العمليات الحيوية المختلفة التي تحدث داخل الجسم، فسكر الغلوكوز مثلًا يعد المصدر الرئيس للطاقة الضرورية التي يحصل عليها الجسم عن طريق عملية التنفس الخلوي، وتعمل الأنزيمات على تحفيز التفاعلات المختلفة في الجسم. فما المركبات الحيوية؟ وما تركيبها الكيميائي؟ وما دور كل منها في الجسم؟

يمكنك الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك بعد ذلك أن:

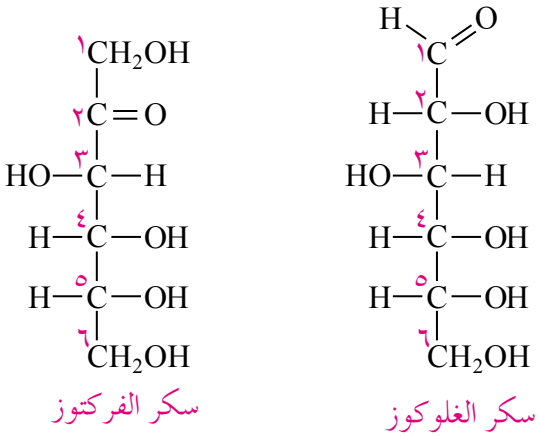
- تبيّن دور بعض المركبات الحيوية ، مثل: البروتينات والسكريات والليبيدات في حياتنا اليومية.
- تميّز الوحدات البنائية الأساسية لبعض المركبات الحيوية مثل: السكريات والبروتينات والليبيدات، وتبين كيفية ارتباطها معًا لتكوين هذه المركبات.
- تقدر أهمية بعض المركبات الحيوية للإنسان.

★ جميع الأشكال والمعادلات الواردة في هذا الفصل ليست للحفظ.

درست في صفوف سابقة المجموعات الغذائية الضرورية للجسم، ومن هذه المجموعات مجموعة الطاقة التي تضم مواد مثل الكربوهيدرات أو السكريات. تصنف السكريات إلى سكريات أحادية مثل الغلوكوز وسكريات ثنائية مثل المالتوز وسكريات متعددة مثل النشا والسيليلوز، وهما من المبلمرات الطبيعية. يمكن أن تتحلل السكريات الثنائية والسكريات المتعددة في وسط حمضي إلى سكريات أحادية، إذ يتحلل كل من المالتوز والنشا وينتج عن تحللهما سكر الغلوكوز. أما السكريات الأحادية فلا تتحلل إلى وحدات سكر أصغر منها. فمم تتكون السكريات؟ وما تركيبها الكيميائي؟ وكيف ترتبط السكريات الأحادية فيما بينها؟

١- السكريات الأحادية

تتكوّن السكريات من ثلاثة عناصر أساسية هي الكربون والهيدروجين والأكسجين، وتعد السكريات الأحادية من أبسط أنواع السكريات التي لا تتحلل إلى وحدات أصغر منها، ولتتعرّف هذه المركبات وتركيبها، ادرس الشكل (٤-١١)، الذي يبيّن التركيب البنائي لسكرين أحاديين (الغلوكوز والفركتوز)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

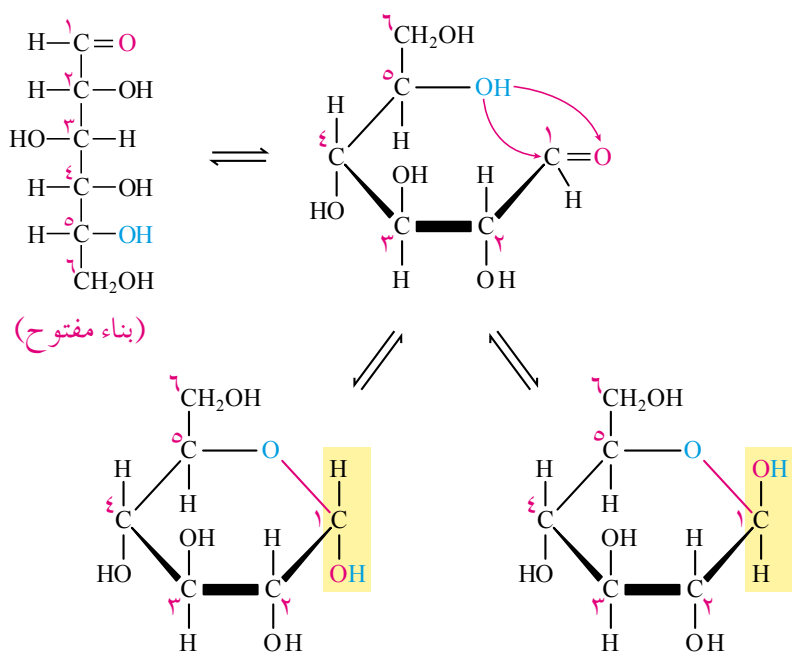


الشكل (٤-١١): التركيب البنائي لسكر الغلوكوز وسكر الفركتوز.

- ما عدد ذرات الكربون في كل من السكرين المبينين في الشكل؟
- ما المجموعات الوظيفية في كل منهما؟
- ما العائلة العضوية التي ينتمي إليها كل منهما؟

مـن الواضـح أن الفركتوز والغلوكوز يتكوّن كل منهما مـن ست ذرات كربون، وأنهما يحتويـان على مجموعتيـن وظيفيتين: مجموعة الهيدروكسيـل OH، ومجموعة الكربونيل $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$ التـي توجـد على شكل ألديهايد في الغلوكوز، وعلى شـكل كيتون في الفركتوز؛ لذا يصنف الغلوكوز على أنه سكر ألديهايدي، في حين يصنف الفركتوز على أنه سكر كيتوني. وتجدر الإشارة هنا إلى أن عدد ذرات الكربون في السكريات الأحادية بشكلٍ عام يتراوح بين (٣–٦) ذرات كربون.

توجد السكريات في المحاليل المائية في حالة اتزان بين شكلين هما: البناء المفتوح والبناء الحلقـي، فكيف يتكـون البناء الحلقي للسكريات؟ لتتعرّف ذلـك، ادرس الشكل (٤– ١٢)، الذي يبيّن تكون البناء الحلقي للغلوكوز، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٤– ١٢): تكوين البناء الحلقي للغلوكوز.

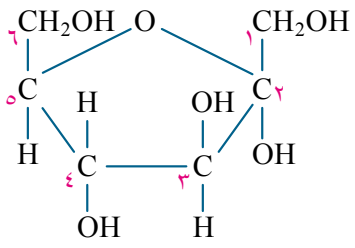
- كم نوعًا من الغلوكوز الحلقي ينتج عن تكون الحلقة؟
- ما رقم ذرتي الكربون اللتين ارتبطتا بذرة الأكسجين لتكوين الحلقة؟
- ما نوع الرابطة التي أنتجت التكوين الحلقي للغلوكوز؟

- ما شكل الحلقة الناتجة؟
- ما وجه الاختلاف بين الحلقتين α – غلوكوز و β – غلوكوز في الشكل؟

يتكوّن البناء الحلقي للغلوكوز نتيجة حدوث تفاعل داخلي بين ذرة الكربون رقم (١) الموجودة في مجموعة الألديهايد $-C(=O)-H$ وذرة الأكسجين الموجودة في مجموعة الهيدروكسيل OH على ذرة الكربون رقم (٥)، وينشأ عن ذلك رابطة إيثرية (C – O – C) ، وتتشكل حلقة غلوكوز سداسية، وقد تكون مجموعة الهيدروكسيل OH في المركب الناتج تحت مستوى الحلقة، ويطلق على الغلوكوز في هذه الحالة α – غلوكوز، أو قد تكون فوق مستوى الحلقة، ويطلق على الغلوكوز في هذه الحالة β ـغلوكوز.

سؤال

- تمعن البناء الحلقي للفركتوز في الشكل (٤–١٣)، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:
  - ما شكل الحلقة المبينة في الشكل (أخماسية هي أم سداسية)؟
  - مارقم ذرتي الكربون اللتين ارتبطا بذرة الأكسجين لتكوين البناء الحلقي للفركتوز؟
  - ما نوع الرابطة التي أنتجت التكوين الحلقي للفركتوز؟
  - هل الحلقة في الشكل تمثل α – فركتوز أم β – فركتوز؟
  - ما المجموعات الوظيفية الموجودة في البناء الحلقي للفركتوز؟

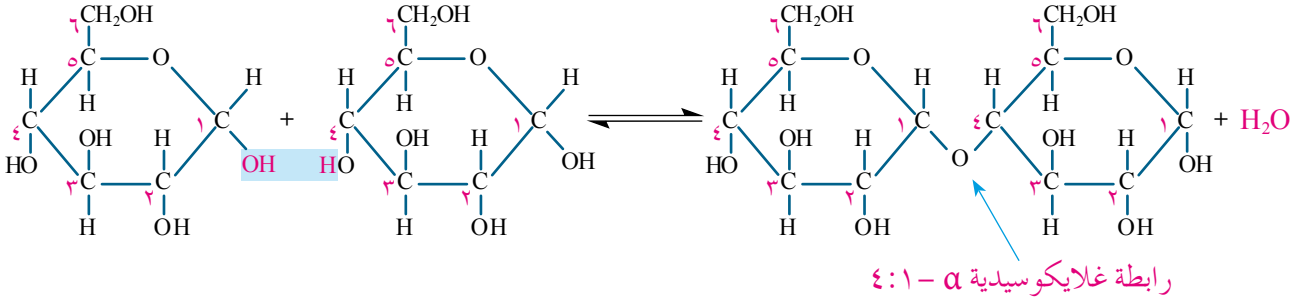


الشكل(٤–١٣): البناء الحلقي للفركتوز.

٢– السكريات الثنائية

تتكوّن السكريات الثنائية من ارتباط وحدتين من السكريات الأحادية، ويعد المالتوز والسكروز من الأمثلة على هذا النوع من السكريات، فما السكريات الأحادية التي تدخل في تكوين كل منهما؟ وكيف ترتبط وحدتا السكر الأحادي فيما بينها لتكوين السكر الثنائي؟

أ- **المالتوز:** يعرف المالتوز بسكر الشعير؛ لأنه يُستخرج بشكل أساسي من الشعير، وينتج كمركب وسطي عن تفتيت المواد الغذائية (النشويات)، وتحللها المائي في الفم بواسطة أنزيم الأميليز الموجود في اللعاب. ولتتعرّف إلى مكونات المالتوز وكيفية ترابط الوحدتين المكونتين له، ادرس الشكل (٤- ١٤) الذي يبيّن تركيبه البنائي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

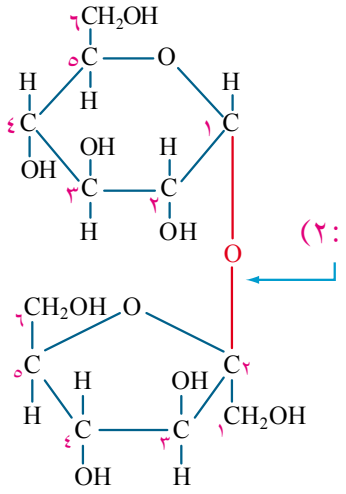


الشكل (٤- ١٤): التركيب البنائي لسكر المالتوز.

- ما وحدات البناء الأساسية المكوّنة لسكر المالتوز؟
- ما نوع الرابطة بين وحدتي السكر في المالتوز؟
- ما رقم ذرتي الكربون المكونتين للرابطة بين الوحدتين؟

يتضح من الشكل أن سكر المالتوز يتكوّن من ارتباط وحدتين من α - غلوكوز برابطة تعرف بالرابطة الغلايكوسيدية، حيث ترتبط ذرة الكربون رقم (١) من الوحدة الأولى مع ذرة الكربون رقم (٤) من الوحدة الثانية من خلال ذرة أكسجين بعد حذف جزيء الماء، ويُطلق على هذا النوع من الروابط الغلايكوسيدية (α - ١:٤).

ب- **السكروز:** يستخدم السكر المعروف بسكر المائدة يوميًّا في حياتنا، إذ يستخدم في تحلية الشاي والحليب، ويدخل في إعداد الحلويات، وغيرها، ويستخرج بشكل أساسي من قصب السكر والشمندر، فهل فكرت يومًا ما هذا السكر؟ وما وحدتا السكر الأحادي المكونتان له؟ لتتعرّف ذلك، ادرس الشكل (٤- ١٥)، الذي يبيّن التركيب البنائي لسكر السكروز، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٤– ١٥): التركيب البنائي لسكر السكروز.

- ما شكل حلقتي السكر المكونتين للسكروز، أخماسية أم سداسية؟
- ما وحدتا البناء الأساسيتان المكونتان للسكروز؟
- ما نوع الرابطة الغلايكوسيدية بين هاتين الوحدتين؟

يتكوّن سكر السكروز من ارتباط وحدتين من سكر أحادي، إحداهما α – غلوكوز والأخرى β – فركتوز، إذ ترتبط الوحدتان برابطة غلايكوسيدية من نوع (α، β – ١:٢).

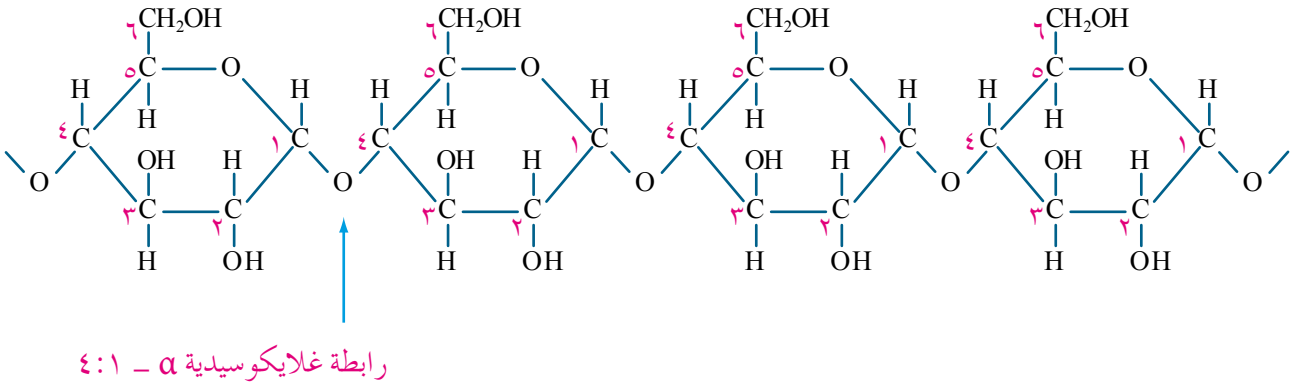
٣– السكريات المتعددة

يُنصح كثير من المصابين بداء السكري بالابتعاد أو التقليل من تناول النشويات، كالبطاطا والخبز والأرز، والحلويات، فهل سألت نفسك يومًا عن سبب ذلك؟

يطلق اسم النشويات على المواد التي تتكون من النشا بشكل أساسي، والذي يوجد في البطاطا والخبز وغيرها، كما يدخل في إعداد الكثير من أنواع الحلويات، والأغذية المختلفة. ويعد النشا والغلايكوجين والسيليلوز من السكريات المتعددة، وهي مبلمرات طبيعية تتكون من ارتباط عدد كبير من وحدات بناء أساسية (مونومرات) من السكر الأحادي. فما وحدات البناء الأساسية المكونة لكل منها؟ وما نوع الروابط بين هذه الوحدات؟

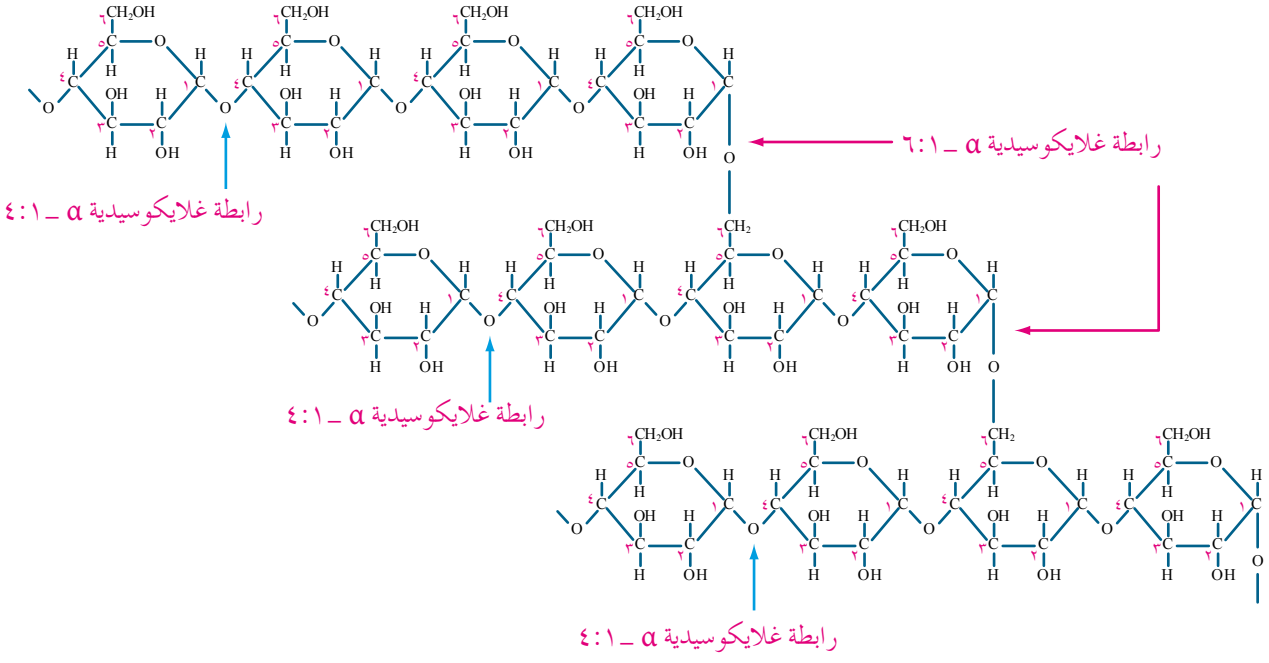
أ–النشا: تعد النباتات المصدر الأساسي للنشا، فهي تخزنه في جذورها وسيقانها وثمارها وبذورها كمصدر احتياطي للطاقة، تستهلكه عند الحاجة، عن طريق تحويله إلى الغلوكوز، ومن ثم الاستفادة من الغلوكوز في الحصول على الطاقة الضرورية للعمليات الحيوية التي تحدث في النباتات.

يتكـوّن النشا من اتحاد عدد كبير جدًّا من وحـدات السكر الأحادي (α – غلوكوز)، التي ترتبط فيمـا بينهـا بروابط غلايكوسيدية. وقد دلت الدراسات التجريبية علـى أن النشا يتكون من نوعين مـن المبلمرات، يعرف أحدهما بالأميلوز، وهو يشكل (١٠–٢٠)٪ من كتلة النشا، ويوجد على شكل سلاسل غير متفرعة ترتبط فيه وحدات السكر بروابط غلايكوسيدية من النوع (α – ١:٤). ويبيّن الشكل (٤– ١٦) التركيب البنائي للأميلوز.



الشكل (٤–١٦): جزء من التركيب البنائي للأميلوز.

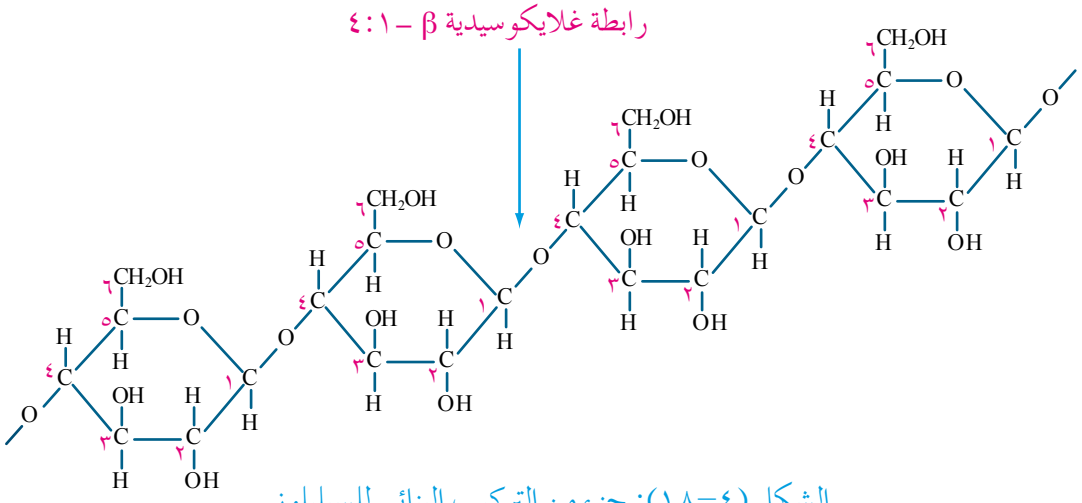
ويعرف النوع الثاني بالأميلوبكتين، وهو سلاسل متفرعة، تنشأ عن ترابط سلاسل الأميلوز فيما بينهـا بروابـط غلايكوسيدية من النوع (α – ١:٦). والشكل (٤– ١٧)، يبيّن التركيب البنائي للأميلوبكتين.



الشكل (٤– ١٧): جزء من التركيب البنائي للأميلوبكتين.

ب – الغلايكوجين: تحتوي أصناف المواد الغذائية المختلفة، مثل الخبز والفواكه والبطاطا والخضروات التي يتناولها الإنسان والحيوان على كميات كبيرة من السكريات، يُستهلك جزء من هذه السكريات في العمليات الحيوية المختلفة، ويخزن الفائض منها على شكل غلايكوجين في الكبد والعضلات. وعند نقص نسبة الغلوكوز في الجسم يعمل على تحويل الغلايكوجين إلى غلوكوز للحصول على الطاقة اللازمة. وللغلايكوجين تركيب يشبه تركيب الأميلوبكتين، إلا أنه أكثر تفرعًا وسلاسله أكثر طولًا؛ لذا فإن كتلته المولية أكبر بكثير من الكتلة المولية للأميلوبكتين.

جـ– السيليلوز: السيليلوز مركب عضوي يشكل وحدة التركيب البنائي لهيكل النبات، ويدخل في تركيب جدران الخلايا النباتية، كما يدخل في الكثير من الصناعات، كصناعة الورق والمنسوجات، ويشكل نحو ٤٢٪ من الخشب الذي يُستخدم في المباني، وصناعة الأثاث. فمم يتكون السيليلوز؟ وكيف تترابط وحداته البنائية فيما بينها؟ وما علاقة تركيبه بوظيفته الحيوية؟ لتتعرّف ذلك، ادرس الشكل (٤– ١٨)، الذي يبيّن التركيب البنائي للسيليلوز، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٤–١٨): جزء من التركيب البنائي للسيليلوز.

- ما نوع وحدات البناء الأساسية المكونة للسيليلوز؟
- ما نوع الرابطة الغلايكوسيدية بين وحدات البناء الأساسية في السيليلوز؟

يتضح من الشكل أن وحدة البناء الأساسية للسيليلوز هي وحدات السكر الأحادي β–غلوكوز، التي ترتبط فيما بينها برابطة غلايكوسيدية من نوع (β– ١:٤).

يوجد السيليلوز على شكل سلاسل متوازية غير متفرعة. ترتبط فيما بينها بروابط هيدروجينية، وهذا يجعلها متماسكة بقوة. ويتناسب مع وظيفتها الرئيسة كدعامة للهيكل النباتي.

سؤال

- قارن بين الأميلوز والسيليلوز من حيث:
  - نوع وحدات البناء الأساسية في كل منهما.
  - نوع الروابط الغلايكوسيدية في كل منهما.
  - الوظيفة الحيوية الرئيسة لكل منهما.

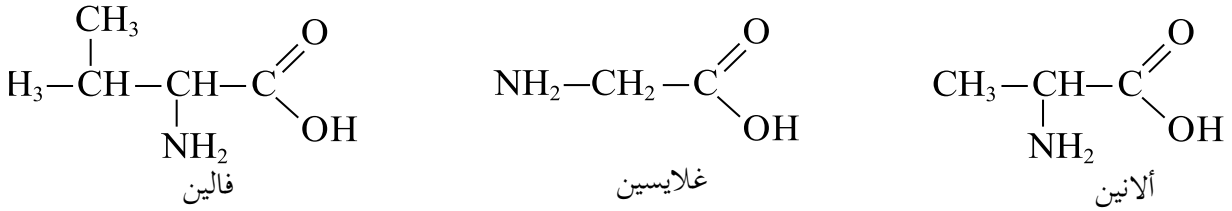
ثانيًا البروتينات

تعد البروتينات من المركبات الحيوية المهمة في أجسامنا، فهي المكوّن الاساسي للعضلات، كما أنها تدخل في تركيب الأغشية الخلوية والدم، وتقوم بالعديد من الوظائف الحيوية في الجسم مثل عمليات نقل الأكسجين بين الخلايا، وتحفيز التفاعلات الحيوية، ونحصل على البروتينات من مصادر نباتية وأخرى حيوانية. فمم تتكون البروتينات؟ وما تركيبها الكيميائي؟

البروتينات مبلمرات طبيعية تتكوّن من وحدات بناء أساسية تعرف بالحموض الأمينية. فما الحموض الأمينية؟ وكيف ترتبط فيما بينها لتكوين البروتينات؟

١ – الحموض الأمينية

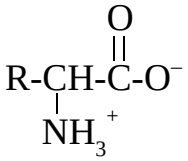
تعد الحموض الأمينية وحدة البناء الأساسية للبروتينات، ولتتعرّف تركيبها، ادرس الصيغ البنائية لبعض الحموض الأمينية المبينة في الشكل (٤ – ١٩)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٤–١٩): التركيب البنائي لبعض الحموض الأمينية.

- ما المجموعات الوظيفية المشتركة في كل من هذه الحموض؟
- أيُّ هذه المجموعات لها سلوك حمضي؟ وأيها لها سلوك قاعدي؟
- ما أثر وجود هذه المجموعات في خصائص الحموض الأمينية؟

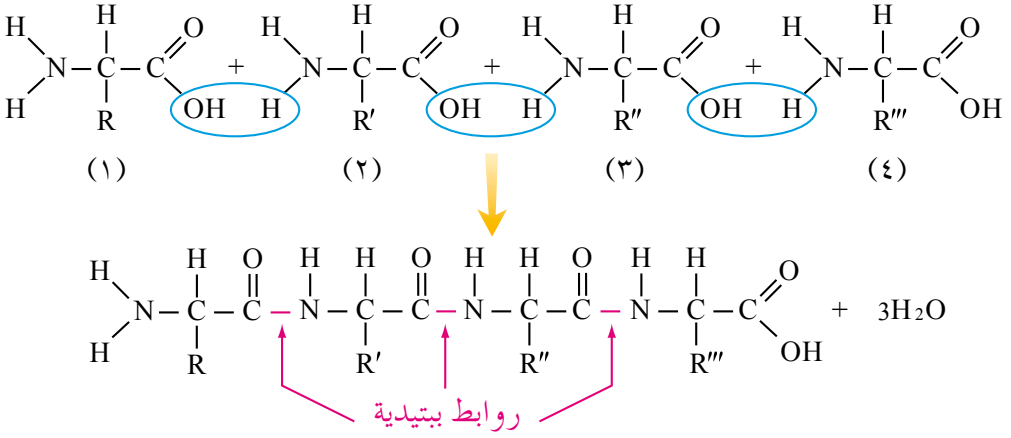
تحتوى الحموض الأمينية على نوعين من المجموعات الوظيفية هما مجموعة الكربوكسيل الحمضية (-COOH)، ومجموعة الأمين القاعدية ($-NH_2$)، إضافة إلى سلسلة الهيدروكربون (-R) التي يختلف عدد ذرات الكربون فيها من حمض أميني إلى آخر. وتوجد الحموض الأمينية في محاليلها المائية على شكل أيون مزدوج، حيث تمنح مجموعة الكربوكسيل الحمضية البروتون (H^+) إلى مجموعة الأمين القاعدية، ويبين الشكل (٤ – ٢٠) الصيغة البنائية العامة للأيون المزدوج. وبناء على ذلك، فإن الحمض الأميني يسلك كحمض في الوسط القاعدي، كما يسلك كقاعدة في الوسط الحمضي، وأما في الوسط المتعادل، فيكون pH له يساوي ٧، ويكون متعادلًا.



الشكل (٤–٢٠): الصيغة العامة للأيون المزدوج.

٢– تركيب البروتينات

تعد البروتينات مبلمرات طبيعية ناتجة عن اتحاد عدد كبير من الحموض الأمينية. ولتتعرّف كيف ترتبط هذه الحموض فيما بينها، ادرس الشكل (٤–٢١)، الذي يبيّن اتحاد عدد من الحموض الأمينية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

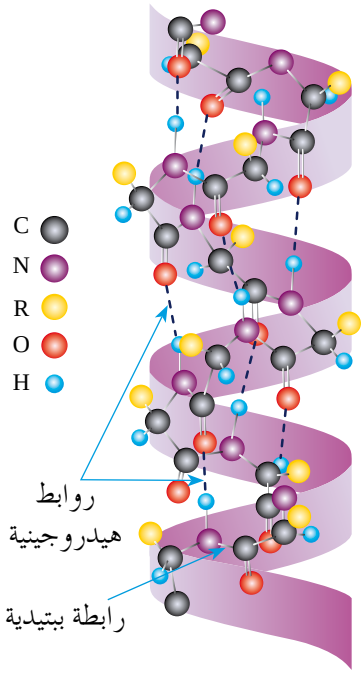


الشكل (٤–٢١): اتحاد عدد من الحموض الأمينية لتكوين سلسلة عديد ببتيد.

- ما المجموعة الوظيفية المسؤولة عن ترابط كل حمض أميني في السلسلة بالحمض الذي يليه؟
- ماذا يطلق على الرابطة المتكوّنة بين كل حمضين في السلسلة؟
- ما عدد الحموض الأمينية المكوّنة لهذه السلسلة؟
- ما عدد جزيئات الماء الناتجة عند تكوّن هذه السلسلة؟

لعلك تلاحظ أن مجموعة الكربوكسيل في الحمض الأميني الأول تفقد مجموعة OH وترتبط بمجموعة الأمين في الحمض الأميني الثاني، التي تفقد ذرة H، وينشأ بين الحمضين رابطة تعرف بالرابطة الأميدية، أو الرابطة الببتيدية ($-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\overset{\overset{H}{|}}{N}-$) وينتج عن ذلك جزيء ماء H_2O مقابل كل رابطة تنشأ في السلسلة.

ويطلق على المركب الناتج من اتحاد حمضين أمينين ثنائي ببتيد، وعند اتحاد ثلاثة حموض أمينية؛ فإن المركب الناتج يسمى ثلاثي ببتيد، أما عند ارتباط عدد كبير من الحموض الأمينية خلال عملية تكوين البروتين، فإنه يطلق على تتابع الحموض الأمينية، سلسلة عديد الببتيد، وتتخذ سلسلة البروتين أشكالًا مختلفة، ترتبط أجزاؤها فيما بينها بروابط هيدروجينية، ويبيّن الشكل (٤-٢٢) أحد أشكال هذه السلاسل.



الشكل (٤-٢٢): أحد أشكال سلاسل البروتين.

سؤال

إذا كان لدينا سلسلة بروتين مكوّنة من أربعين حمضًا أمينيًّا، فأجب عن الأسئلة الآتية المتعلقة بها:

- ما عدد الروابط الببتيدية المتوقع وجودها في السلسلة؟
- ما عدد جزيئات الماء الناتجة عن اتحاد هذه الحموض في السلسلة؟

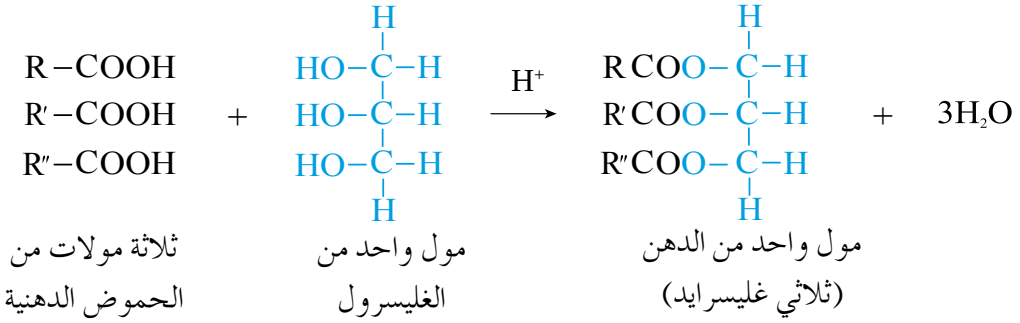
ثالثًا اللبيدات

تعد اللبيدات من المركبات الحيوية، وتمتاز بكونها مركبات عضوية غير قطبية، ذات ملمس دهني، وتضم أنواعًا مختلفة من المواد مثل: الدهون والستيرويدات التي تُبنى في أجسام الكائنات الحية. وتشكل اللبيدات ٥ ٪ تقريبًا من المواد العضوية الداخلة في تركيب الخلايا الحية، فهي تدخل في تركيب الغشاء الخلوي، ويستفيد منها الجسم في بناء بعض الفيتامينات والهرمونات وغيرها من المركبات الضرورية له. وتعد اللبيدات مصدرًا مهمًّا

للطاقة في جسم الإنسان والحيوان. و تتميز بقابليتها للذوبان في المذيبات العضوية غير القطبية، مثل رباعي كلوريد الكربون والإيثر والبنزين، إلا أنها قليلة الذوبان في الماء. فما هذه المواد؟ وما التركيب الكيميائي لكل منها؟ وما الدور الحيوي الذي تقوم به هذه المواد في الجسم؟

١ – الدهون

تشكل الدهون جزءًا أساسيًّا من غذائنا اليومي، فنحن نستخدم أنواعًا مختلفة منها في إعداد الأطعمة والحلويات، فبعض الدهون يكون صلبًا على شكل دهن في درجة حرارة الغرفة، مثل الزبدة والسمن. وبعضها الآخر يكون سائلًا على شكل زيت كزيت الصويا وزيت الزيتون. وقد ارتبط مفهوم الدهون في أذهان كثير من الناس بالسُّمنة والمضار الناتجة عنها، فهل جميع هذه المواد ضار بالجسم؟ أم أنّ منها ما هو مفيد لأجسامنا؟ وما وحدات البناء الأساسية المكوّنة لها؟ لتتعرّف ذلك، ادرس المعادلة العامة الآتية التي تمثل تكوين مول من الدهن في وسط حمضي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:



- ما عدد الحموض الدهنية اللازمة للتفاعل؟
- ما عدد مجموعات الهيدروكسيل OH في الغليسرول؟
- ما العائلة العضوية التي ينتمي إليها المركب الناتج؟

تُعد الدهون من الإسترات، إذ يحتوى مولًا واحدًا منها على ثلاث مجموعات إسترية؛ لذا تسمى الدهون الإسترات الثلاثية، ويطلق عليها اسم ثلاثي الغليسرايد، فهي تتكوّن من اتحاد ثلاثة مولات من حموض دهنية متشابهة أو مختلفة مع مول واحد من الغليسرول الذي يحتوي على ثلاث مجموعات هيدروكسيل OH. وتجدر الإشارة هنا، إلى أن الحموض الدهنية هي حموض عضوية كربوكسيلية يزيد فيها عدد ذرات الكربون عادة على (١٢) ذرة، وقد تكون مشبعة أو غير مشبعة.

تتميـز الدهون بأنها مركبـات عضوية غير قطبية ترتبط فيما بينها بقـوى لندن الضعيفة، الأمر الذي يفسّر سبب انخفاضـ درجة انصهارها مقارنة بالسكريات والبروتينات، وتعتمد درجة انصهارها على نوع الحموض الدهنية المكوّنة لها.

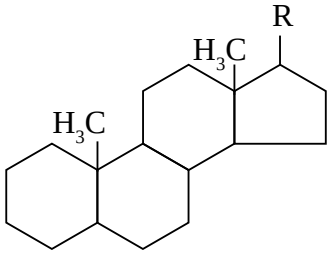
تعـد الدهـون المصدر الرئيس الثاني للطاقة في أجسام الحيوانات وجسم الإنسان، فهي تخزن الكميات الزائدة منه في خلايا الجسم وأنسجته على شكل طبقات دهنية تحت الجلد، وتُعرف بالأنسجـة الدهنيـة، و يتركز وجودها في منطقة البطن، وحـول الأعضاء الداخلية، مثل القلب والكليتيـن والرئتين، وتعمل هذه الطبقات علـى حماية هذه الأعضاء من الصدمات الخارجية، كمـا أنها تشكل عـازلًا للحرارة بيـن الجسم والوسـط الخارجي. وأما النباتـات فإنها تخزن الدهون في بذورها وثمارها على شكل زيوت، تعرف بالزيوت النباتية.

٢- الستيرويدات

لعلـك سمعـت أحدًا من كبار السن يشتكي من زيادة نسبة الكوليسترول في دمه، وأن ذلك قد تسبب له بتصلب الشرايين، فما الكوليسترول؟ وإلى أي نوع من المركبات ينتمي؟

ينتمي الكوليسترول إلى مجموعة من المركبات العضوية الحيوية التي تسمى ستيرويدات، وهو يدخل في تركيب الأغشية الخلوية، وبعض الفيتامينات مثل فيتامين (د)، وبعض الهرمونات مثل هرمونـي الإستروجين، والتستوستيـرون، فما التركيب الكيميائـي للستيرويدات؟ وما أهميتها الحيوية للجسم؟ لتتعرّف ذلك، ادرس الشكل (٤- ٢٣)، الذي يمثل التركيب العام للستيرويدات، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

- ما عدد الحلقات في التركيب العام للستيرويدات؟
- ما عدد الحلقات السداسية في الشكل؟
- ما عدد الحلقات الخماسية في الشكل؟



الشكل (٤-٢٣): التركيب العام للستيرويدات.

يتضـح من الشكل أن الستيرويـدات تتكون بشكل أساسي من أربع حلقات مرتبطة معًا، ثلاث منها سداسية وواحدة خماسية، إضافة إلى سلسلة هيدروكربونية (R-) تختلف من ستيرويد لآخر. وتعد الستيرويدات نوعًا من

أنواع الليبيدات؛ وهي تتميز بأنها لا تذوب في الماء، ولكنها تذوب في المذيبات العضوية غير القطبية مثل الدهون؛ لذا فهي تخزن في الأنسجة الدهنية في الجسم. ومن الجدير بالذكر أن معظم الستيرويدات يتم تكوينها في الجسم، فالكبد ينتج ٧٠٪ تقريبًا من حاجة الجسم من الكوليسترول، وهو مركب وسطي يستفاد منه في تكوين الستيرويدات الأخرى. ورغم حاجة الجسم للكوليسترول، إلا أن زيادة نسبته في الدم تؤدي إلى ترسبه في الأوعية الدموية، فيسبب ذلك تصلبها، فيعيق حركة الدم في هذه الأوعية، فيتخثر ويكوّن ما يعرف بالجلطة الدموية.

سؤال

■ لا تؤدي الحمية الغذائية إلى خفض سريع لنسبة الكوليسترول في الدم. فسّر ذلك.

تطبيقات حياتية

فيتامين (د)

يعد فيتامين (د) من الفيتامينات الهامة للجسم، ويتم بناؤه من الكوليسترول في الجلد عند التعرض لأشعة الشمس؛ لذا يطلق عليه فيتامين الشمس، وهو الفيتامين المسؤول عن زيادة امتصاص الأمعاء للكالسيوم. وبشكل عام فإن نقص فيتامين (د) في الجسم يسبب انخفاضًا في امتصاص الكالسيوم؛ مما يسبب الكساح عند الأطفال، ولين العظام وهشاشتها عند البالغين. كما يؤدي نقصه إلى الإصابة بالاكتئاب، وزيادة فرصة الإصابة بارتفاع كوليسترول الدم والإصابة بتصلب الشرايين؛ مما قد يسبب ارتفاع ضغط الدم.

ويمكن تعويض نقص فيتامين (د) عن طريق الغذاء، وبعض المُستحضرات الدوائية. ويعد صفار البيض، والكَبِد، والأسماك البحرية، كالسلمون والتونة من أنواع الطعام الغنيّة بفيتامين (د). كما يتوافر هذا الفيتامين على شكل مُستحضرات دوائيّة، أو ما يسمى متممات غذائية، تعطى للأشخاص الذين لا يستطيعون الحُصول على كمية كافية منه عن طريق الغذاء أو التعرّض لضوء الشمس.

الشكل (٤-٢٤): مستحضرات دوائية لفيتامين (د).

للاستزادة يمكنك الرجوع إلى الشبكة المعلوماتية مستعينًا بالعبارة المفتاحية الآتية: فيتامين د، Vitamin D

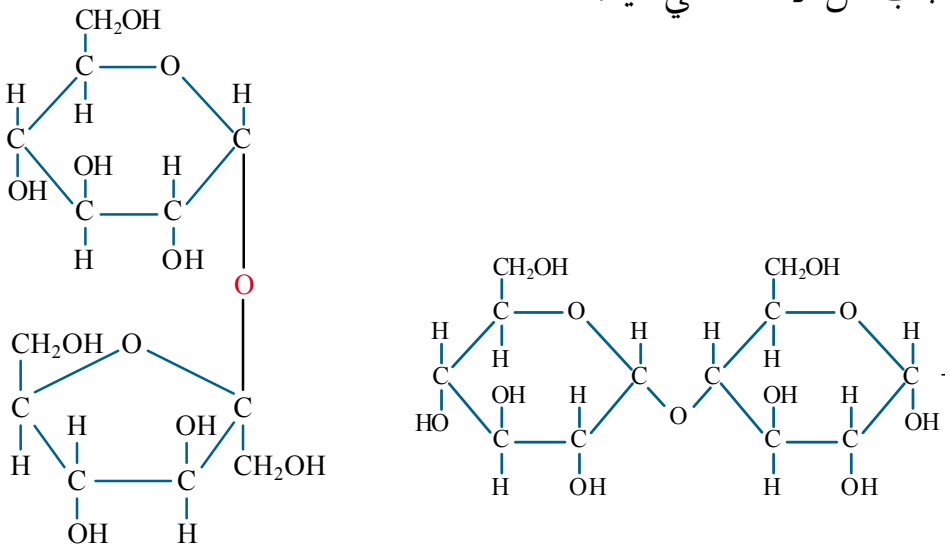
١) وضّح المقصود بكل من:

السكريات، البروتينات، الليبيدات.

٢) ما وحدة البناء الأساسية في كل من المركبات الآتية:

البروتينات ، السيليلوز، الغلايكوجين؟

٣) الشكل (٤–٢٥) يبيّن تركيب كل من السكرين الثنائيين: المالتوز و السكروز. تمعن الشكل، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



المالتوز

السكروز

الشكل(٤–٢٥): تركيب سكري المالتوز والسكروز.

أ) ما عدد الحلقات المكونة لكل منهما؟

ب)ما نوع وحدات البناء الأساسية المكونة لكل منهما؟

جـ) ما نوع الرابطة الغلايكوسيدية بين الوحدتين في كل منهما؟

٤) قارن بين الغلوكوز والفركتوز من حيث:

أ) المجموعة الوظيفية للبناء المفتوح لكل منهما.

ب) عدد ذرات الكربون في كل منهما.

جـ) شكل الحلقات لكل منهما (خماسية أم سداسية).

٥) إذا كان لديك المركبات الآتية:(α ـغلوكوز، حمض أميني، حمض دهني، الأميلوز ، السكروز، السيليلوز)، فاستخرج منها مركبًا:

أ) يدخل في تكوين الغلايكوجين.

ب) يدخل في تكوين ثلاثي غليسرايد.

جـ) يتفكك إلى وحدتين من السكر الأحادي.

دـ) ترتبط وحداته الأساسية برابطة غلايكوسيدية (β – ١ : ٤).

هـ) يوجد في محلوله المائي على شكل أيون مزدوج.

و) وحدات بنائه الأساسية α – غلوكوز.

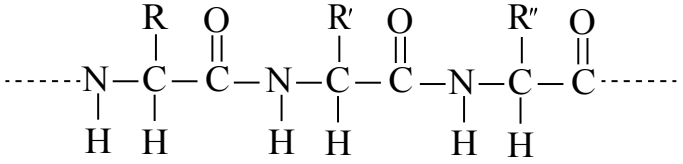
٦) قارن بين البروتين والأميلوبكتين والدهن من حيث:

أ) نوع وحدات البناء الأساسية في كل منها.

ب) نوع الروابط بين وحدات البناء الأساسية في كل منها.

جـ) الوظيفة الحيوية لكل منها.

٧) ادرس سلسلة البروتين المبينة في الشكل الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:



أ) ما عدد الحموض الأمينية الظاهرة في السلسلة؟

ب) ما نوع الروابط بين وحدات البناء الأساسية في السلسلة؟ وما عددها؟

جـ) ما عدد جزيئات الماء الناتجة عن ارتباط الحموض الأمينية المبينة في السلسلة؟

د) ما نوع الروابط بين أجزاء سلسلة البروتين؟

٨) فسّر ما يأتي:

أ) تؤدي زيادة نسبة الكوليسترول في الدم إلى الإصابة بالجلطة.

ب) يسمى فيتامين (د) فيتامين الشمس.

جـ) يشكل السيليلوز الهيكل الدعامي للنبات.

١) اختر الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

(١) المركب الناتج عن اختزال بروبانون $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_3$ بوجود Ni هو:

أ) بروبانال $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}H$ ب) ٢– بروبانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$

جـ) حمض بروبانويك CH_3CH_2COOH د) ١– بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$

(٢) أيُّ أنواع المركبات الآتية يُكشف عنه بمحلول تولينز؟

أ) هاليدات الألكيل. ب) الكحولات.

جـ) الألديهايدات. د) الكيتونات.

(٣) المركب الناتج من إضافة ٢مول HCl إلى بروباين $(CH_3C\equiv CH)$ هو:

أ) $CH_3CCl_2CH_3$ ب) $CH_3CHClCH_2Cl$

جـ) $CH_3CH_2CHCl_2$ د) $CH_2ClCH_2CH_2Cl$

(٤) يعد التفاعل الآتي مثالًا على تفاعلات:

$$CH_3CH=CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2CH_3$$

أ) هلجنة. ب) هدرجة.

جـ) استبدال. د) حذف.

(٥) عنـد تفاعـل مركب غرينيارد CH_3MgCl مع $CH_3\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}H$ ثـم إضافة HCl؛ فإن المركب الناتج هو:

أ) $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$ ب) $CH_3CH_2CH_2OH$

جـ) CH_3CH_2OH د) CH_3OH

(٦) الغاز المتصاعد عند تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع $NaHCO_3$ هو:

أ) H_2 ب) CO_2 جـ) O_2 د) CO

(٧) أيُّ أزواج المركبات الآتية يمكن استخدام Br_2 المذاب في CCl_4 للتميز بينهما؟

أ) الألكانات والكحولات. ب) الحموض الكربوكسيلية والإسترات.

جـ) الألديهايدات والكيتونات. د) الألكينات والألكانات.

(٨) الكحول الذي شارك في تكوين الإستر الآتي $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}OCH_2CH_3$ هو:

أ) $CH_3CH_2CH_2OH$

ب) $CH_3CH_2\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3$

جـ) CH_3CH_2OH

د) $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$

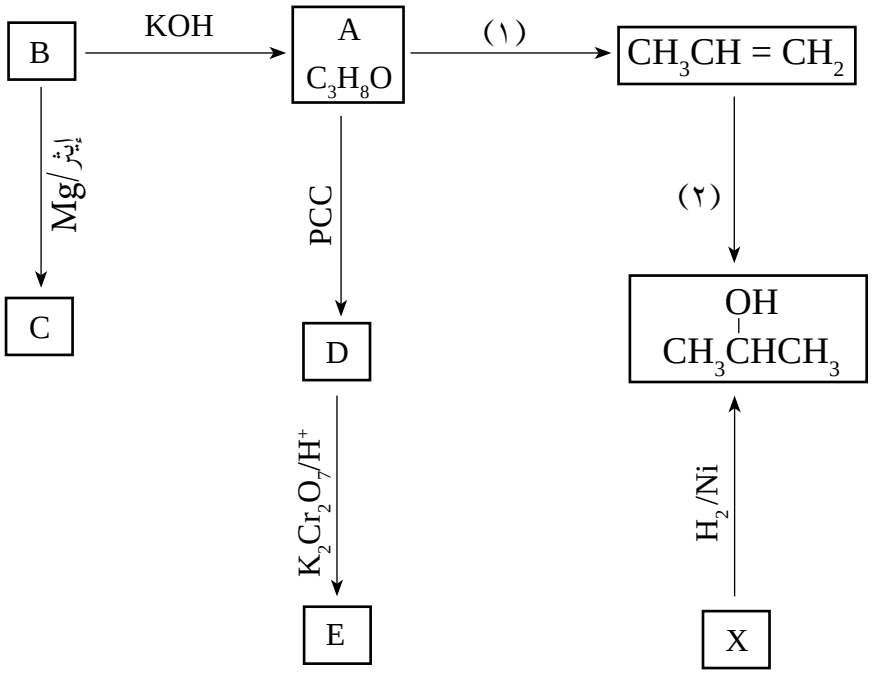
(٩) المركب الذي يتكون من الوحدة البنائية β ـغلوكوز هو:

أ) الغلايكوجين. ب) السيليلوز. جـ) الأميلوز. د) الأميلوبكتين.

(١٠) يعد الكوليسترول من:

أ) البروتينات. ب) الكربوهيدرات. جـ) الدهون. د) الستيرويدات.

٢) تتبع المخطط الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



أ) ما الصيغ البنائية للمركبات العضوية A ، B ، C ، D ، E ، X؟

ب) ما دلالة الأرقام (١) ، (٢) في المخطط؟

جـ) اكتب معادلة كيميائية تمثل تحويل المركب A إلى B ثم بين نوع التفاعل.

د) اكتب صيغة الناتج العضوي لتفاعل C مع D متبوعًا بـ HCl.

٣) ثلاثة أنابيب اختبار يحتوي أحدهما على بروبانال $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}H$، والثاني على حمض إيثانويك $CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}OH$؛ والثالث على بيوتانون $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$ ولكن الاسم الدال على كل منها غير ظاهر. اقترح طريقة لتحديد المركب الموجود في كل أنبوب، مستعينًا بالمعادلات المناسبة؟

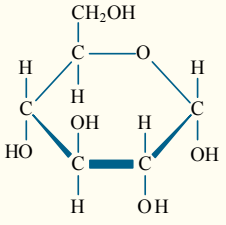
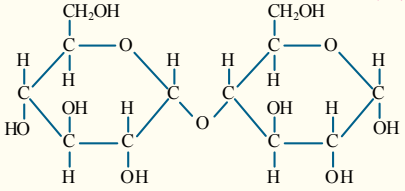
٤) إذا علمت أن جزءًا من سلسلة عديد ببتيد يتكوّن من عشرة حموض أمينية، فأجب عن الأسئلة الآتية:

أ) ما نوع الروابط التي تربط بين هذه الحموض في السلسلة؟

ب) ما عدد الروابط التي تربط بين هذه الحموض في السلسلة؟

جـ) ما عدد جزيئات الماء الناتجة عن ترابطها؟

٥) يتضمن الجدول الآتي صيغًا كيميائية لعدد من المركبات العضوية الحيوية المرقمة من (١) إلى (٦):

(١) $CH_2(OH)-CH(OH)-CH_2(OH)$	(٢) $CH_3-CH(NH_2)-C(=O)-OH$	(٣) $CH_3-CH(NH_2)-C(=O)-N(H)-CH(CH_3)-COOH$
(٤) 	(٥) $CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$	(٦) 

اعتمادًا على الجدول، اكتب رقم المركب العضوي الذي:

أ) ترتبط وحداته برابطة غلايكوسيدية .

ب) يحتوي على رابطة ببتيدية.

جـ) يتفاعـل مع ثلاثة حموض دهـنية لتكوين دهـن.

د) يوجد في المحلول على شكل أيون مزدوج.

هـ) يعدّ السكــر الرئــيس في دم الإنسان.

٦) مستخدمًا الميثان CH_4 والبروبين $CH_3CH=CH_2$ وأي مواد غير عضوية أخرى، اكتب معادلات كيميائية تبين كيف يمكن تحضيرالمركب CH_3OCHCH_3 ·
CH_3

قائمةُ المصطلحاتِ

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية	المدلول
الأزواج المترافقة	Conjugate Acid-Base pair	الحمض والقاعدة المتكوّنان نتيجة استقبال البروتونات ومنحها في التفاعل.
الاختزال	Reduction	كسب الإلكترونات، أو النقصان في عدد التأكسد.
الأيون المزدوج	Zwitterion	شكل الحمض الأميني الناتج عن منح مجموعة الكربوكسيل فيه البروتون لمجموعة الأمين.
الأيون المشترك	Common ion	أيون ينتج من تأين مادتين مختلفتين في محلول واحد (حمض ضعيف وملحه أو قاعدة ضعيفة وملحها).
البروتينات	Protein	مبلمرات طبيعية وحدات بنائها الأساسية حموض أمينية.
التأكسد	Oxidation	فقد الإلكترونات، أو الزيادة في عدد التأكسد.
التأكسد والاختزال الذاتي	Autoxidation - Reduction	سلوك المادة كعامل مؤكسد وكعامل مختزل في التفاعل نفسه.
التأين الذاتي للماء	Autoionization of Water	سلوك بعض جزيئات الماء كحمض وبعضها كقاعدة في الماء النقي.
التحليل الكهربائي	Electrolysis	إمرار تيار كهربائي في محلول أو مصهور مادة كهرلية؛ لإحداث تغير كيميائي.
التصادم الفعال	Effective Collision	التصادم الذي يؤدي الى تكوين نواتج.
التصبّن	Saponification	عملية تفكك الإستر بالتسخين مع محلول قاعدة قوية مثل NaOH؛ لإنتاج ملح الحمض الكربوكسيلي والكحول.
تفاعل الاختزال	Reduction Reaction	تفاعل يتم فيه زيادة محتوى الهيدروجين في المركب، أو نقص محتوى الأكسجين.

تفاعل الاستبدال	Substitution Reaction	تفاعل يتم فيه استبدال ذرة (أو مجموعة ذرات) بذرة (أو مجموعة ذرات) في مركب ما.
تفاعل الأسترة	Esterification Reaction	تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول، بوجود حمض قوي لإنتاج الإستر.
تفاعل الإضافة	Addition Reaction	تفاعل يتم بين مادتين لإنتاج مادة واحدة؛ باستخدام جميع الذرات من المادتين.
تفاعل الحذف	Elimination Reaction	تفاعل يتم فيه حذف جزيء ماء من الكحول أو جزيء حمض HX من هاليد الألكيل؛ لتكوين هيدروكربون غير مشبع كالألكين.
تفاعل التأكسد	Oxidation Reaction	تفاعل يتم فيه زيادة محتوى الأكسجين في المركب، أو نقص محتوى الهيدروجين.
تفاعل الهدرجة	Hydrogenation Reaction	تفاعل يتم فيه إضافة الهيدروجين إلى مركب غير مشبع؛ للحصول على مركب مشبع.
تميّه	Hydrolysis	تفاعل أيونات الملح مع الماء؛ لإنتاج OH^- أو H_3O^+ أو كلاهما.
ثلاثي غليسرايد	Triglyceride	مركبات عضوية حياتية، تتكوّن من اتحاد مول من الغليسرول مع ثلاث مولات من حموض دهنية.
جهد الاختزال المعياري	Standard Reduction Potential	ميل القطب للاختزال عندما يكون تركيز المذاب ١مول/لتر وضغط الغاز ١ض.جـ، وعند درجة حرارة ٢٥°س.
جهد الخلية المعياري	Standard Cell Potenial	مقياس للقوة الدافعة الكهربائية التي تنشأ، بسبب الاختلاف في فرق الجهد بين قطبي الخلية في الظروف المعيارية .
حمض أرهينيوس	Arrhenius acid	مادة تزيد من تركيز أيون الهيدروجين H^+ عند إذابتها في الماء.

حمض برونستد – لوري	Bronsted-Lowry acid	مادة (جزيئات أو أيونات) قادرة على منح البروتون (مانح للبروتون) لمادة أخرى في التفاعل.
حمض دهني	Fatty acid	حمض عضوي كربوكسيلي ذو سلسلة كربونية طويلة، يزيد عدد ذرات الكربون فيها عن ١٢ ذرة.
حمض لويس	Lewis Acid	مـادة تستطيع أن تستقبل زوجًا أو أكثر من الإلكترونات غيـر الرابطـة من مـادة أخـرى، لاحتوائها علـى أفلاك فارغة.
حمض مرافق	Conjugate Acid	مادة تنتج عن استقبال القاعدة للبروتون.
خلية غلفانية	Galvanic Cell	أداة أو جهـاز يحـدث فيـه تفاعلات تأكسـد واختزال بشكل تلقائي لإنتاج طاقة كهربائية.
رابطة ببتيدية	Peptide bond	رابطة تنشأ بين مجموعة كربوكسيل من حمض أميني ومجموعة أمين من حمض أميني آخر.
رتبة التفاعل للمادة	Reaction Order	قيمـة عدديـة صحيحـة أو كسريـة، تبيّن أثر التركيـز في سرعـة التفاعـل وتعتمـد على طريقـة سيـر التفاعـل، ويمكن حسابها من التجربـة العمليـة.
رقم هيدروجيني	Hydrogen Number .	اللوغاريتم السالب للأساس ١٠ لتركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+ في المحلول.
سرعة ابتدائية	Initial Rate	سرعة التفاعل لحظة خلط المواد المتفاعلة في بداية التفاعل أي عند الزمن صفر.
سرعة لحظية	Instantaneous Rate	سرعة التفاعل عند زمن معين خلال سير التفاعل.
طاقة التنشيط	Activation Energy (Ea)	هي الحد الأدنى من الطاقة الذي يجب توافره، لكسر الروابط بين ذرات المواد المتفاعلة كي تتفاعل وتكوّن نواتج.

عامل مختزل	Reducing Agent	المادة التي يحدث لها تأكسد في التفاعل، وتتسبب في اختزال غيرها.
عامل مؤكسد	Oxidizing Agent	المادة التي يحدث لها اختزال في التفاعل، وتتسبب في تأكسد غيرها.
عدد التأكسد	Oxidation Number	الشحنة الفعلية لأيون الذرة في المركبات الأيونية، أما في المركبات الجزيئية فهو الشحنة التي يُفترض أن تكتسبها الذرة المكونة للرابطة التساهمية مع ذرة أخرى، فيما لو كسبت الذرة التي لها أعلى كهرسلبية إلكترونات الرابطة كليًّا وخسرت الأخرى هذه الإلكترونات.
عوامل مساعدة	Catalysts	هي مواد تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية من دون أن تستهلك أثناء التفاعل.
قاعدة أرهينيوس	Arrhenius Base	مادة تزيد من تركيز أيون الهيدروكسيد OH^- عند إذابتها في الماء.
قاعدة برونستد – لوري	Bronsted-Lowry Base	مادة (جزيئات أو أيونات) قادرة على استقبال البروتون (مستقبل للبروتون).
قاعدة لويس	Lewis Base	مادة تمنح زوجًا أو أكثر من الإلكترونات غير الرابطة لمادة أخرى.
قاعدة ماركوفنيكوف	Markovnikov's Rule	عند إضافة مركب قطبي إلى الرابطة الثنائية في ألكين غير متماثل؛ فإن ذرة الهيدروجين من المركب المضاف ترتبط بذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بأكبر عدد من ذرات الهيدروجين.
قاعدة مرافقة	Conjugate Base	مادة تنتج عن منح الحمض للبروتون.
قانون سرعة التفاعل	Rate Law	علاقة رياضية تبيّن العلاقة بين سرعة التفاعل وتراكيز المواد المتفاعلة.

قطب الهيدروجين المعياري	Standard Hydrogen Electrode	قطب مرجعي يمكن استخدامه لمعرفة جهد الاختزال المعياري لقطبي الخلية الغلفانية، عندما يكون تركيز أيونات المذاب ١ مول/لتر وضغط الغاز ١ ض.جـ، وعند درجة حرارة ٢٥°س.
قنطرة ملحية	Salt Bridge	أنبوب زجاجي على شكل حرف U يحوي محلولًا مشبعًا لأحد الأملاح يصل بين قطبي الخلية الغلفانية؛ لحفظ التوازن الكهربائي للشحنات.
كربوهيدرات	Carbohydrate	مركبات يدخل في تركيبها الكربون والهيدروجين والأكسجين.
ليبيدات	Lipids	مركبات عضوية حياتية تذوب في المذيبات العضوية غير القطبية.
محلول منظم	Buffer Solution	محلول يقاوم التغير في الرقم الهيدروجيني (pH)، عند إضافة كمية قليلة من حمض قوي أو قاعدة قوية إليه.
مركب غرينيارد	Grignard Reagent	المركب الناتج من تفاعل هاليد الألكيل مع المغنيسيوم بوجود الإيثر.
مصعد	Cathode	القطب الذي تحدث عنده عملية التأكسد في الخلايا الكهركيميائية.
معدل سرعة التفاعل	Rate of Chemical Reaction	التغير في كميات إحدى المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة زمن.
معقد منشط	Activated Complex	بناء غير مستقر بين المواد المتفاعلة والمواد الناتجة له طاقة وضع عالية.
ملح	Salt	مادة أيونية تنتج من تفاعل الحمض مع القاعدة.
مهبط	Anode	القطب الذي تحدث عنده عملية الاختزال في الخلايا الكهركيميائية.

المراجع

أولًا: المراجع العربية

١– حسن أنور، **مدخل إلى الكيمياء الحيوية المعملية**، دار صفاء للنشر، الطبعة الأولى، ٢٠٠٥

٢– د. خليل حسام ، **موسوعة الكيمياء الشاملة**، دار أسامة للنشر، جزء٢، ٢٠٠٩

٣– أ.د. صالح محمد، د. صابر محمد، د. عثمان عثمان، **أسس ومبادىء الكيمياء**، جزء ٢، الدار العربية للنشر، ٢٠٠٠

ثانيًا: المراجع الاجنبية

1- Bettelheim, Brown, March, **Introduction to General, Organic and Biochemistry**, 6th Ed., Harcourt, 2001.

2- Bewick-Edge- Forsythe-Parsons, **Chemisty**, CK-12 Foundation, 2009.

3- Brady, **General Chemistry Principles And Structure**, 5th Ed., Wiley,1990.

4- Brady, Russell, Holum, **Chemistry Matter and its Changes**, 3rd Ed., Wiley, 2000.

5- Brown, lemay, Bursten, Murphy, **Chemistry the Central Science**, 11th Ed., Pearson, 2009.

6- Campbell, Neila and Others, **Biology aglobal approach,** pearson education Ltd, 10th Ed., 2015.

7- Catherine E.Housecroft and Alan G. Sharpe, **Inorganic Chemistry**, 4th Ed., Pearson, 2012.

8- Clark,J., **Longman GCSE Chemistry**. 2 nd Ed., Harlow: Pearson Education, 2003.

9- Ebbing Gammon, **General Chemistry**, 10th Ed., Houghton Mifflin Company, 2011.

10- Farrell, Campbell, **Biochemistry**, Thomson Brooks/Cole, 2006.

11- McMurry, John, **Organic Chemistry**, 6th Ed., Thomson Brooks/Cole,2004.

12- Moran, laurence, **Principles of Biochemistry**, 5th Ed., Pearson, 2012.

13-Myers,Thomas, Oldham, **Chemistry**, Online Ed., Holt, Rinehart Winston, 2006.

14- Ronald, **MicroBiology Fundamentals and Applications**, 2009.

15- Sherman, A., Sherman, S.J., Russikoff, L., **Basic Concepts of Chemistry**, 5 th Ed., Boston: Houghton Mifflin Company, 1992.

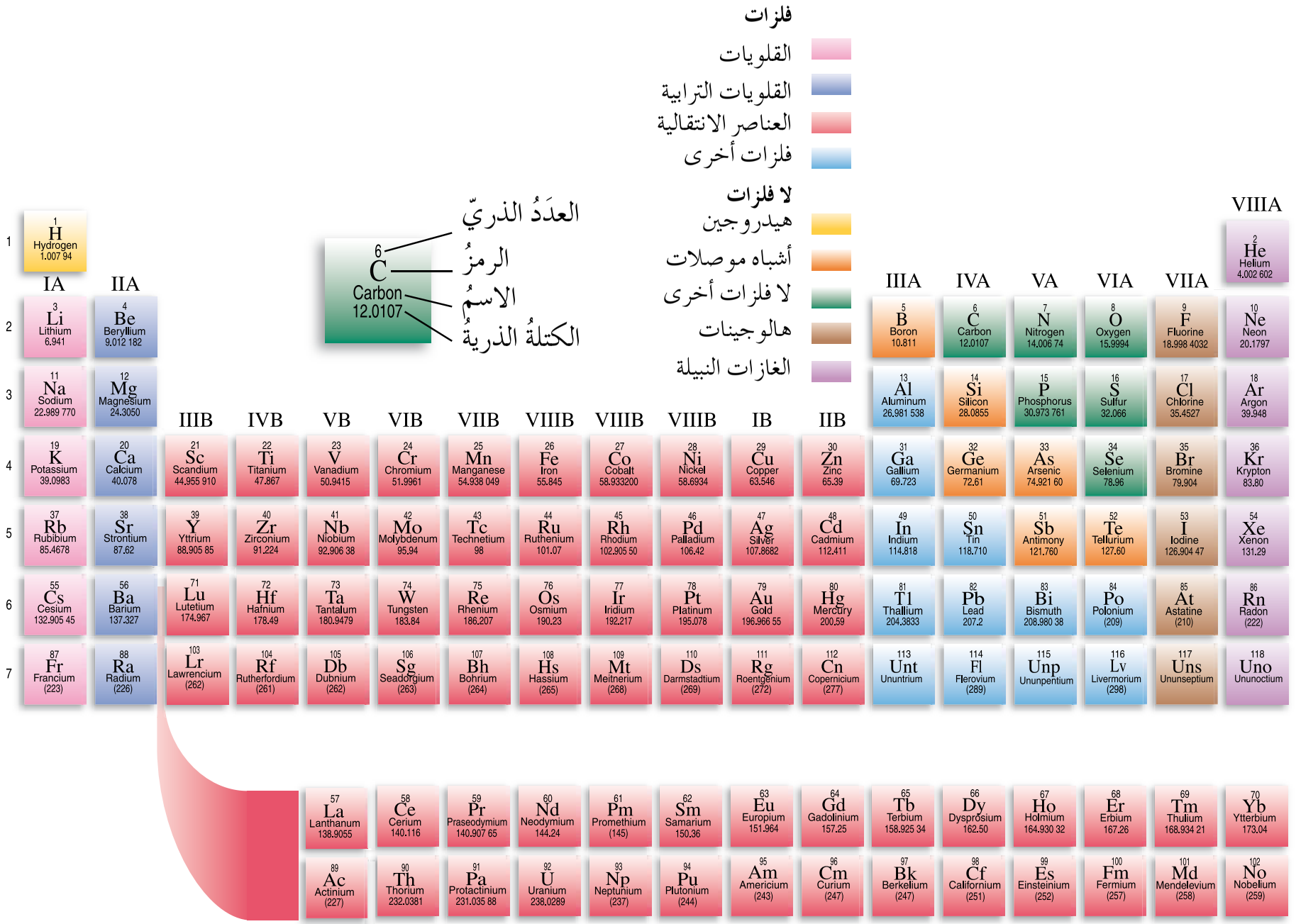
16- Solomons Fryhle, **Organic Chemistry**, 8th Ed., Wiley, 2004.

17- Stevens, Zumdahl, **Chemistry**, 8th Ed., Houghton Mifflin Company, 2010.

18- Stoker, H. S., **Introduction to Chemical Principles**, 6 th Ed., New Jersey: Prentice Hall, 1999.

19- Uno Kask, J., David Rawn, **General Chemistry**, Brown Communications, 1993.

20- Wilbraham-Staley-Matta-Waterman, **Prentice Hall Chemistry**, Teachers Edition, Pearson, 2008.


فلزات
القلويات
القلويات الترابية
العناصر الانتقالية
فلزات أخرى
لا فلزات
هيدروجين
أشباه موصلات
لا فلزات أخرى
هالوجينات
الغازات النبيلة
العدَدُ الذريّ
الرمزُ
الاسمُ
الكتلةُ الذريةُ
6
C
Carbon
12.0107
IA
IIA
IIIB
IVB
VB
VIB
VIIB
VIIIB
VIIIB
VIIIB
IB
IIB
IIIA
IVA
VA
VIA
VIIA
VIIIA
1 H Hydrogen 1.007 94
2 He Helium 4.002 602
3 Li Lithium 6.941
4 Be Beryllium 9.012 182
5 B Boron 10.811
6 C Carbon 12.0107
7 N Nitrogen 14.006 74
8 O Oxygen 15.9994
9 F Fluorine 18.998 4032
10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989 770
12 Mg Magnesium 24.3050
13 Al Aluminum 26.981 538
14 Si Silicon 28.0855
15 P Phosphorus 30.973 761
16 S Sulfur 32.066
17 Cl Chlorine 35.4527
18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983
20 Ca Calcium 40.078
21 Sc Scandium 44.955 910
22 Ti Titanium 47.867
23 V Vanadium 50.9415
24 Cr Chromium 51.9961
25 Mn Manganese 54.938 049
26 Fe Iron 55.845
27 Co Cobalt 58.933200
28 Ni Nickel 58.6934
29 Cu Copper 63.546
30 Zn Zinc 65.39
31 Ga Gallium 69.723
32 Ge Germanium 72.61
33 As Arsenic 74.921 60
34 Se Selenium 78.96
35 Br Bromine 79.904
36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.4678
38 Sr Strontium 87.62
39 Y Yttrium 88.905 85
40 Zr Zirconium 91.224
41 Nb Niobium 92.906 38
42 Mo Molybdenum 95.94
43 Tc Technetium 98
44 Ru Ruthenium 101.07
45 Rh Rhodium 102.905 50
46 Pd Palladium 106.42
47 Ag Silver 107.8682
48 Cd Cadmium 112.411
49 In Indium 114.818
50 Sn Tin 118.710
51 Sb Antimony 121.760
52 Te Tellurium 127.60
53 I Iodine 126.904 47
54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.905 45
56 Ba Barium 137.327
71 Lu Lutetium 174.967
72 Hf Hafnium 178.49
73 Ta Tantalum 180.9479
74 W Tungsten 183.84
75 Re Rhenium 186.207
76 Os Osmium 190.23
77 Ir Iridium 192.217
78 Pt Platinum 195.078
79 Au Gold 196.966 55
80 Hg Mercury 200.59
81 Tl Thallium 204.3833
82 Pb Lead 207.2
83 Bi Bismuth 208.980 38
84 Po Polonium (209)
85 At Astatine (210)
86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)
88 Ra Radium (226)
103 Lr Lawrencium (262)
104 Rf Rutherfordium (261)
105 Db Dubnium (262)
106 Sg Seaborgium (263)
107 Bh Bohrium (264)
108 Hs Hassium (265)
109 Mt Meitnerium (268)
110 Ds Darmstadtium (269)
111 Rg Roentgenium (272)
112 Cn Copernicium (277)
113 Unt Ununtrium
114 Fl Flerovium (289)
115 Unp Ununpentium
116 Lv Livermorium (298)
117 Uns Ununseptium
118 Uno Ununoctium
57 La Lanthanum 138.9055
58 Ce Cerium 140.116
59 Pr Praseodymium 140.907 65
60 Nd Neodymium 144.24
61 Pm Promethium (145)
62 Sm Samarium 150.36
63 Eu Europium 151.964
64 Gd Gadolinium 157.25
65 Tb Terbium 158.925 34
66 Dy Dysprosium 162.50
67 Ho Holmium 164.930 32
68 Er Erbium 167.26
69 Tm Thulium 168.934 21
70 Yb Ytterbium 173.04
89 Ac Actinium (227)
90 Th Thorium 232.0381
91 Pa Protactinium 231.035 88
92 U Uranium 238.0289
93 Np Neptunium (237)
94 Pu Plutonium (244)
95 Am Americium (243)
96 Cm Curium (247)
97 Bk Berkelium (247)
98 Cf Californium (251)
99 Es Einsteinium (252)
100 Fm Fermium (257)
101 Md Mendelevium (258)
102 No Nobelium (259)

تم بحمد الله