المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

الكيمياء

الصف الحادي عشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

11

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

بلال فارس محمود — تيسير أحمد الصبيحات

جميلة محمود عطية — سمير سالم عيد

روناهي «محمد صالح» الكردي (منسقًا)

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج، استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العناوين الآتية:

06-5376262 / 237 — 06-5376266 — P.O.Box: 2088 Amman 11941

@nccdjor — feedback@nccd.gov.jo — www.nccd.gov.jo

قـرَّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هذا الكتـاب في مدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعها، بنـاءً على قـرار المجلس الأعلى للمركـز الوطنـي لتطويـر المناهج في جلسـته رقم (2021/5)، تاريـخ 2021/12/7 م، وقرار مجلـس التربية والتعليم رقـم (2021/173) تاريـخ 2021/12/21 م بـدءًا من العام الـدراسي 2021 / 2022 م.

© Harper Collins Publishers Limited 2021.
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 209 - 1

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2021/6/3444)

373,19

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

كيمياء الصف الحادي عشر الفرع العلمي: كتاب الطالب الفصل الثاني/ المركز الوطني لتطوير المناهج.– عمان: المركز، 2021

(172) ص.

ر.إ.: 2021/6/3444

الواصفات: / الكيمياء / المناهج/ / التعليم الثانوي/

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبّر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.
British Library Cataloguing -in- Publication Data
A catalogue record for this publication is available from the Library.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1442 هـ / 2021 م

قائمةُ المحتوياتِ

الموضوعُ ..... **الصفحـةُ**

المقدّمة 5

الوَحدةُ الرابعة: التفاعُلاتُ والحسابات الكيميائيّة **7**

التجرِبةُ الاستهلاليّة: التفاعُل الكيميائيُّ 9

الدرسُ الأول: التفاعُلاتُ الكيميائيَّةُ 10

الدرسُ الثاني: الحساباتُ الكيميائيَّةُ المبنيّة على المادة المُحدّدة للتفاعُل 24

مراجعةُ الوَحدة 48

الوَحدةُ الخامسة: الاتّزانُ الكيميائيُّ **51**

التجرِبةُ الاستهلاليّة: تسامي اليود 53

الدرسُ الأول: الاتّزان الكيميائيُّ والعوامل المُؤثّرة فيه 54

الدرسُ الثاني: حساباتُ ثابتِ الاتّزان 79

مراجعةُ الوَحدة 101

الوَحدةُ السادسة: المُركّباتُ الهيدروكربونيّة **103**

التجرِبةُ الاستهلاليّة: بناءُ المُركّبات الهيدروكربونيّة 105

الدرسُ الأول: المُركّباتُ الهيدروكربونيّة المُشبَعة 106

الدرسُ الثاني: المُركّباتُ الهيدروكربونية غير المُشبَعة 116

مراجعةُ الوَحدة 142

الوَحدةُ السابعة: مشتقّات المُركّبات الهيدروكربونيّة 103

التجرِبةُ الاستهلاليّة: التصاوغُ الوظيفي 105

الدرسُ الأول: هاليداتُ الألكيل، الكحولات، الإيثرات والأمينات 106

الدرسُ الثاني: مُركّباتُ الكربونيل ومُركّبات الكربوكسيل ومشتقّاتها 116

الدرسُ الثالث: المُبَلمرات 130

مراجعةُ الوَحدة 142

مسردُ المصطلحات 145

قائمةُ المراجع 150

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

انطلاقًا من إيمان المملكة الأردنية الهاشمية الراسخ بأهمية تنمية قدرات الإنسان الأردني وتسليحه بالعلم والمعرفة، سعى المركز الوطني لتطوير المناهج، بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم، إلى تحديث المناهج الدراسية وتطويرها؛ لتكون معينًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجاراة أقرانهم في الدول المتقدمة.

وَيُعَدُّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعْنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحَلِّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المُتَّبَعة عالميًّا؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها حاجات أبنائنا الطلبة والمعلِّمين.

وقد جاء هذا الكتاب مُحقِّقًا لمضامين الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومُؤشِّرات أدائها المُتمثِّلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الواحد والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعتَزٍّ -في الوقت نفسه- بانتمائه الوطني. وتأسيسًا على ذلك، فقد اعتُمِدت دورة التعلُّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطالب الدور الأكبر في العملية التعلُّمية التعليمية، وتُوفِّر له فرصًا عديدةً للاستقصاء، وحَلِّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلًا عن اعتماد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمَل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

يتألَّف الكتاب من أربع وحدات دراسية، هي: التفاعُلات والحسابات الكيميائية، الاتّزان الكيميائي، المُركّبات الهيْدروكربونيّة. مشتقات المُركّبات الهيدروكربونية.

أُلحِقَ بكتاب الكيمياء كتابٌ للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعده على تنفيذها بسهولة، وذلك اعتمادًا على منحنى STEAM في بعضها، بدءًا بعرض الأساس النظري لكل تجربة، وبيان خطوات العمل وإرشادات السلامة،

وانتهاءً بأسئلة التحليل والاستنتاج. وَتَضَمَّنَ الكتاب أيضًا أسئلة تفكير متنوعة؛ بُغْيَةَ تعزيز فهم الطالب لموضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديه.

ونحن إذ نُقدّمُ هذه الطبعةَ منَ الكتاب، فإنّا نأمَلُ أن يُسهِمَ في تحقيق الأهداف والغايات النهائيّة المنشودة لبناء شخصيّة المتعلّم، وتنمية اتجاهات حُبّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمرّ، فضلًا عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواهُ، وإثراءِ أنشطته المتنوّعة، والأخذِ بملاحظات المعلّمين.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدةُ 4

التفاعُلاتُ والحساباتُ الكيميائيّة

Reactions and Stoichiometry

أتأمَّلُ الصورة

تتنوّعُ التفاعُلاتُ الكيميائية، وينتج عنها عددٌ هائلٌ من المُركّبات المختلفة. ويُعبّر عن التفاعُلات بمعادلاتٍ كيميائيةٍ موزونة تُعدُّ ركائزَ أساسيةً في الحسابات الكيميائية لحساب كميّات الموادّ المُتفاعِلة والناتجة. فما أنواع التفاعُلات الكيميائية؟ وكيف تُؤثّر زيادة كمية مادّةٍ مُتفاعِلةٍ أو نقصُها في كمية المادة الناتجة؟

الفكرةُ العامّة:

تُصنّف التفاعلاتُ الكيميائية إلى أنواع مختلفة؛ يُعبّرُ عنها بمعادلات كيميائية موزونة تعدُّ الأساسَ في استنتاجِ المادّة المُحدّدة للتفاعُل، و حساب كميةِ مادّةٍ فائضةٍ أو ناتجةٍ بالاعتماد على المادّةِ المُحدّدة.

الدرسُ الأول: التفاعلاتُ الكيميائيةُ.

الفكرةُ الرئيسة: تعتمدُ أنواع التفاعلات الكيميائية على التغيُّرات التي تحدث على الموادّ المُتفاعلة والناتجة، ويُعبَّرُ عنها بمعادلاتٍ كيميائيةٍ، ويمكن وصفُ التفاعلاتِ التي تحدثُ في المحاليلِ المائيّة بمعادلات أيونيّةٍ.

الدرسُ الثاني: الحساباتُ الكيميائيةُ المبنيّةُ على المادة المحدّدة للتّفاعُل.

الفكرةُ الرئيسة: تستندُ الحساباتُ الكيميائية المبنيّة على المادة المُحدّدة للتّفاعُل إلى المقارنة بين عددِ المولاتِ اللازمة للتّفاعُل والمولات المتوافرة، وتتحدّد كميةُ المادةِ الناتجةِ بناءً على المادة المُحدّدة للتّفاعُل.

التفاعُل الكيميائيُّ

الموادّ والأدوات: محلول كلوريد الحديد (III) $FeCl_3$؛ تركيزُه 0.1 M، محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ تركيزُه 0.1 M، كأسٌ زجاجية سعتها؛ 100 mL، مخبارٌ مُدرّجٌ (عدد 2).

إرشاداتُ السلامة:.

- أتّبعُ إرشاداتِ السلامة العامة في المختبر.
- أحذرُ عند التعامل مع الموادّ الكيميائية.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظارات الواقية والقفازات.

خطوات العمل:

1. **أقيسُ.** أستخدمُ المخبارَ المُدرّج الأول في قياس 5 mL من محلول $FeCl_3$، والمخبار المُدرّج الثاني في قياس 5 mL من محلول NaOH.
2. **ألاحظُ.** أسكُب محتوياتِ المخبارين تدريجيًّا في الكأسِ الزجاجية، وألاحظُ ما يحدث. ثمّ أسجّلُ مُلاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاج:

1- **أصفُ** التغيُّر الذي يطرأُ على الخليط في الكأس الزجاجيّة.

2- أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونة تصفُ التفاعُل الحاصل.

3- **أستنتجُ** نوعَ التفاعُل الذي حدث.

الفكرةُ الرئيسة :

تعتمد أنواع التفاعلات الكيميائية على التغيُّراتِ التي تحدث للموادّ المُتفاعلة والناتجة، ويمكن وصفُ التفاعلاتِ التي تحدثُ في المحاليلِ المائيّةِ بمعادلاتٍ أيونيّةٍ.

نتاجاتُ التعلُّمِ :

- أُصنّفُ التفاعلاتِ الكيميائيةَ وأعطي أمثلةً عليها.
- أكتبُ معادلاتٍ أيونيةً موزونةً لتفاعلاتِ التعادُلِ والترسيبِ.

المفاهيمُ والمصطلحات :

تفاعلُ الإحلالِ المزدوجِ
Double Displacement Reaction

المعادلةُ الأيونيّةُ Ionic Equation

المعادلةُ الأيونيّةُ النهائية
Net Ionic Equation

تفاعلُ التعادل
Neutrallization Reaction

تفاعلُ الترسيب
Precipitation Reaction

أنواعُ التفاعُلاتِ الكيميائية
Types of Chemical Reactions

تكتسب التفاعُلات الكيميائية أهميةً كبيرةً في حياتنا اليوميةِ، سواءً التي تحدثُ في أجسام الكائناتِ الحيّةِ أم في المصانع والمختبرات. وتتنوّعُ تلك التفاعُلاتُ منتجةً موادَّ جديدةً تختلفُ في خصائِصها عن خصائص مكوّناتِها. ولتسهيلِ دراسة التفاعُلاتِ الكيميائيةِ وما يحدثُ فيها من تغيُّراتٍ على الموادّ المُتفاعِلة؛ صنّفَها الكيميائيون إلى أنواعٍ رئيسة يُعبّر عنها بمعادلاتٍ كيميائيةٍ موزونةٍ تصفُ الموادَّ المُتفاعِلة والناتجةَ. أنظرُ الشكل (1).

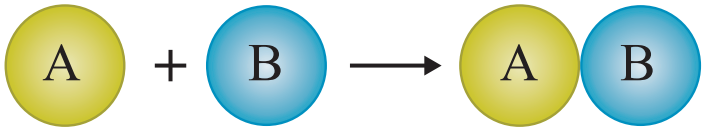
فما أنواعُ التفاعُلاتِ الكيميائية؟ وما الخصائصُ التي صُنّفت بناءً عليها؟ وكيف تُكتَب المعادلة الأيونيّة؟

الشكلُ (1): تفاعُل كيميائيٌّ .

تفاعُلاتُ الاتّحاد Combination Reactions

تفاعُل كيميائيٌّ تتّحدُ فيه مادتان أو أكثر (عناصر أو مُركّبات)؛ لإنتاج مـادةٍ واحـدةٍ جديدةٍ تختلفُ فـي خصائِصها عن خصائـص مُكوّناتِها. ويسمى هذا التفاعُل أيضًا تفاعُل التكوينِ أو التحضيرِ Synthesis Reaction؛ لأنـهُ يـؤدّي إلـى إنتـاج مـادّةٍ جديـدة. ويمكـنُ التعبيـرُ عنـه بالمعادلةِ العامّـة الآتية:

$$A + B \rightarrow AB$$



تصنف تفاعُلاتُ الاتّحاد بناءً على أنواعِ الموادّ المُتفاعِلة، في ثلاثة أنواع كما يأتي:

اتّحادُ عنصرٍ مع عنصرٍ

يشتعلُ فلزُّ الصوديوم بضوءٍ ساطعٍ أصفرِ اللون عند إمرار غازِ الكلور عليه، الشكل(2/ أ)، وينتج عن التفاعُل مُركّب كلوريد الصوديوم المعروف بملح الطعام، الشكل(2/ ب)، ويُعبّر عن التفاعُل كما في المعادلةِ الآتية:

$$2Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2NaCl_{(s)}$$

وكذلك يتّحد فلزُّ الحديدِ عند تسخينه مع الكبريت مُكوّنًا مُركّب كبريتيدِ الحديدِ، كما في المعادلة الآتية:

$$Fe_{(s)} + S_{(s)} \xrightarrow{\Delta} FeS_{(s)}$$

أ. اشتعال الصوديوم مع الكلور.

ب. ملح كلوريد الصوديوم.

الشكلُ (2):
أ. اشتعال الصوديوم مع الكلور.
ب. ملح كلوريد الصوديوم.

ومن الأمثلةِ أيضًا على هذا النوع من التفاعُلاتِ، اتّحادُ العناصرِ مع غازِ الأكسجين لتكوين أكاسيدِ العناصر؛ كما في تفاعُل المغنيسيوم مع غازِ الأكسجين لتكوينِ أُكسيدِ المغنيسيوم. الشكل (3)، ويُعبَّر عن ذلك بالمعادلة الآتية:

$$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$$

اتّحادُ عنصرٍ مع مُركّب:

يتفاعُل غازُ أولِ أكسيد الكربون مع غازِ الأكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وفقَ المعادلة الآتية:

$$2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)}$$

وكذلك يتّحدُ حمضُ الكبريت (IV) H_2SO_3 مع الأكسجينِ لإنتاج حمضِ الكبريتيك H_2SO_4 (حمض الكبريت VI)، كما في المعادلة الآتية:

$$2H_2SO_{3(aq)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2SO_{4(aq)}$$

اتّحادُ مُركّب مع مُركّب:

يتّحدُ مُركّبُ ثاني أكسيد الكبريت SO_2 مع مُركّبِ أكسيدِ الكالسيومِ CaO لإنتاج مُركّب كبريتيت الكالسيوم $CaSO_3$ وفقَ المعادلةِ الآتية:

$$SO_{2(g)} + CaO_{(s)} \rightarrow CaSO_{3(s)}$$

وكذلك يتفاعلُ مُركّب أكسيد الكالسيوم(الجير الحيّ) مع الماء لإنتاج هيدروكسيد الكالسيوم(الجيرُ المُطفأ) $Ca(OH)_2$ المُستخدَمِ في موادّ البناء، وطلاءِ سيقان الأشجار ودِباغةِ الجلود. ويمكنُ التعبير عن التفاعُل بالمعادلةِ الآتية:

$$CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2(aq)}$$

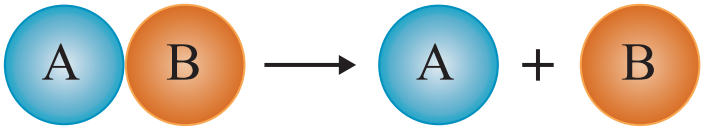
الشكلُ (3): تفاعلُ فلزِّ المغنيسيومِ مع الأكسجين.

ما الاسمُ الآخر الذي يُطلَقُ على هذا التفاعل؟

تفاعُلاتُ التحلُّل(التفكُّك) Decomposition Reactions

تفاعلٌ يتحلّلُ فيه مُركّبٌ واحد بوجود طاقة حراريّةٍ أو ضوئيّة أو كهربائية لإنتاج مادّتينِ أو أكثر. وقد تكونُ الموادّ الناتجة عناصرَ أو مُركّباتٍ. ويُعدُّ تفاعُل التحلُّل عكسَ تفاعُل الاتّحاد. ويمكنُ التعبيرُ عن تفاعُلاتِ التحلُّل بالمعادلةِ العامّة الآتية:

$$AB \rightarrow A + B$$



تُصنَّفُ تفاعُلاتُ التحلُّل إلى ثلاثةِ أنواعٍ كما يأتي:

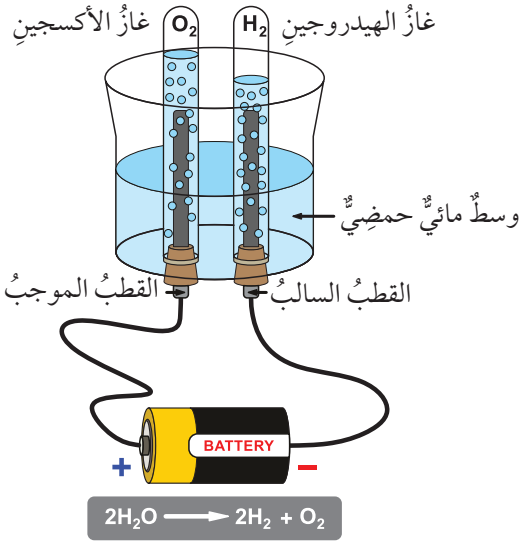
تحلُّلُ مُركّبٍ لإنتاج عنصرين:

ينتُجُ عُنصرا الهيدروجينِ والأكسجينِ بالتحليل الكهربائيِّ للماء. أنظرُ الشكل(4)، ويُعبّر عن التفاعُل بالمعادلةِ الآتية:

$$2H_2O_{(l)} \xrightarrow{\text{تحليل كهربائي}} 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$$

كما يتحلّلُ بروميدُ الفَضّةِ (المستخدم في طلاءِ الأفلامِ الفوتوغرافيّة) بوجود الضوء، وينتِجُ عنصري الفِضةِ والبرومِ، وفقَ المعادلةِ الآتية:

$$2AgBr_{(s)} \xrightarrow{\text{ضوء}} 2Ag_{(s)} + Br_{2(l)}$$



الشكلُ (4): التحليل الكهربائي للماء.

ويتحلّلُ أكسيد الزئبق بالحرارة؛ مُنتجًا عنصري الأكسجين والزئبق، وفقَ المعادلةِ الآتية:

$$2HgO_{(s)} \xrightarrow{\Delta} 2Hg_{(l)} + O_{2(g)}$$

تحلُّل مُركّب لإنتاج مُركّبينِ(أو أكثر):

تتحلّلُ كربوناتُ الفلزّاتِ الهيدروجينيّةِ مُنتجةً كربونات الفلزِّ، وبخار الماء، وغاز ثاني أكسيد الكربون، فمثلًا تتحلّلُ كربونات الصوديوم الهيدروجينية ويؤدي ذلك إلى إنتاج كربونات الصوديوم، وبخار الماء، وغاز ثاني أكسيد الكربون كما يأتي:

$$2NaHCO_{3(s)} \xrightarrow{\Delta} Na_2CO_{3(s)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

أمّا هيدروكسيدات الفلزات، فتتحلّلُ بالحرارة مُنتجةً أُكسيدَ الفلز وبخار الماء. فمثلًا يتحلل هيدروكسيد الكالسيوم منتجًا أكسيد الكالسيوم وبخار الماء كما في المعادلة الآتية:

$$Ca(OH)_{2(s)} \xrightarrow{\Delta} CaO_{(s)} + H_2O_{(g)}$$

تحلُّل مُركّبٍ لإنتاج عناصر ومُركّبات:

تتحلل كلوراتُ الفلزّات بالحرارة منتجةً كلوريد الفلزِّ وغاز الأكسجين، فمثلًا تتحلل كلورات البوتاسيوم بوجود العامل المساعد ثاني أكسيد المنغنيز وينتج كلوريد البوتاسيوم وغاز الأكسجين، ويُستخدمُ هذا التفاعُل في إنتاج غاز الأكسجين في المختبر، ويُمكِن التعبير عن التفاعُل وفقَ المعادلة الآتية:

$$2KClO_{3(s)} \xrightarrow{MnO_2/\Delta} 2KCl_{(s)} + 3O_{2(g)}$$

ومن الأمثلةِ أيضًا على هذا النوع من التفاعُلات؛ تحلُّلُ دايكروماتِ الأمونيومِ بالحرارة، الشكل (5) فينتُجُ أكسيد الكرومِ وبخارُ الماءِ وغازُ النيتروجين كما هو مُوضّح في المعادلةِ الآتية:

$$(NH_4)_2Cr_2O_{7(s)} \xrightarrow{\Delta} Cr_2O_{3(s)} + 4H_2O_{(g)} + N_{2(g)}$$

الشكلُ (5): تحلُّلُ دايكرومات الأمونيوم بالحرارة.

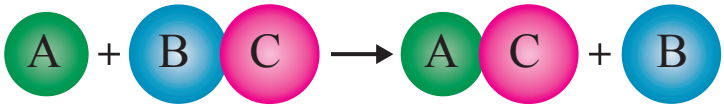
تفاعُلاتُ الإحلال Displacement Reactions

تفاعُل يحلّ فيه عنصرٌ محلّ عنصرٍ آخر في أحد مُركّباته. ويُسمَّى هذا التفاعُل أيضًا الاستبدالَ Replacement، وغالبًا ما تحدثُ هذه التفاعُلاتُ في المحاليلِ المائيّةِ، ولها نوعان هما؛ الإحلال الأحادِيُّ والإحلال المزدوج.

الإحلالُ الأُحادِيُّ Single Displacement

يحلّ العنصرُ الأكثرُ نشاطًا كيميائيًّا محلّ العنصرِ الأقلّ نشاطًا منهُ؛ وذلك لاختلاف العناصر في نشاطِها الكيميائيِّ. ويُسمَّى هذا التفاعُل أيضًا الإحلال البسيط. ويُمكن التعبيرُ عن تفاعُلاتِ الإحلال الأحاديِّ بالمعادلةِ العامة الآتية:

$$A + BC \rightarrow AC + B$$



حيثُ تشيرُ الرموز (A ,B) إلى فِلزَّين أو لافِلزَّين. وتُصنَّفُ تفاعُلاتُ الإحلال الأحاديّ في ثلاثة أنواعٍ كما يأتي:

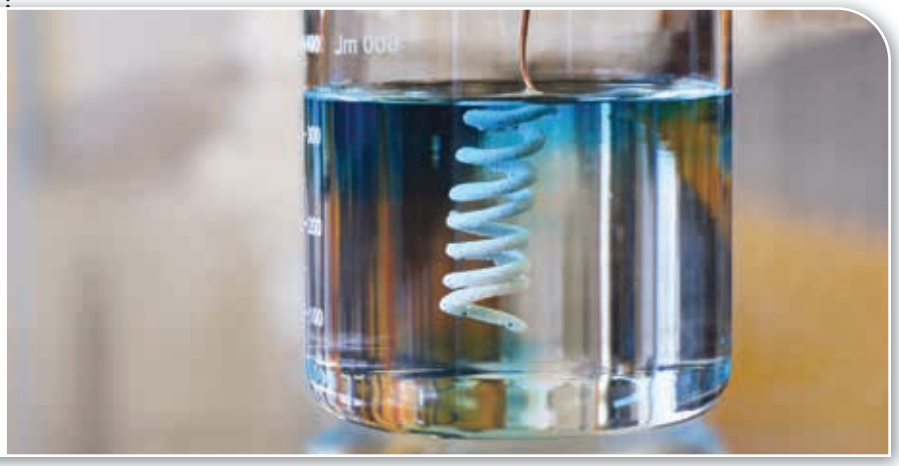
إحلال فلزٍّ محلّ فلزٍّ آخر

يحلّ النحاس محلّ الفضة في محلول نترات الفضة، أنظرُ الشكل (6)، فينتُجُ محلول نتراتِ النحاس وتترسّبُ ذراتُ الفضة وفقَ المعادلة الآتية:

$$Cu_{(s)} + 2AgNO_{3\,(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2Ag_{(s)}$$

وكذلكَ يحلّ الألمنيومُ محلّ الرصاصِ في محلول نتراتِ الرصاص، فينتجُ محلول نترات الألمنيوم وتترسّبُ ذراتُ الرصاص وفقَ المعادلة الآتية:

$$2Al_{(s)} + 3Pb(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow 3Pb_{(s)} + 2Al(NO_3)_{3(aq)}$$



الشكلُ (6): إحلالُ النحاسِ محلّ الفضة.

صوديوم Na، مغنيسيوم Mg، ألمنيوم Al، خارصين Zn، حديد Fe، نيكل Ni، رصاص Pb، نحاس Cu، فضة Ag.

الشكلُ (7): سلسلة النشاط الكيميائي لبعض العناصر

وبناءً على سلسلةِ النشاطِ الكيميائيّ لبعض العناصر كما في الشكل (7)؛ فإنّ العنصر الأكثر نشاطًا يحلّ محلّ العنصر الأقلّ نشاطًا منهُ، ولكنّهُ لا يحلّ محلّ العنصرِ الأكثرِ نشاطًا منهُ.

فمثلًا يحلُّ المغنيسيوم محلّ النيكل في محلول كبريتات النيكل، في حين لا يحلّ النيكل محلّ المغنيسيوم كما هو مُوضّح في المعادلة الآتية:

$$Mg_{(s)} + NiSO_{4(aq)} \rightarrow MgSO_{4(aq)} + Ni_{(s)}$$

$$Ni_{(s)} + MgSO_{4(aq)} \rightarrow \text{لا يحدث تفاعل}$$

أُفكّر: هل يُمكن استخلاصُ عنصر الخارصين من محلول أملاحِهِ باستخدام الفِضّة؟

إحلالُ فلزٍّ محلّ الهيدروجين في الماء أو محلول الحمض:

تحلُّ معظمُ الفلزّات محلّ الهيدروجين عند تفاعُلها مع الماء أو محلول الحمض، ويتصاعدُ غازُ الهيدروجين كما في المعادلتين الآتيتين:

$$2Na_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 2NaOH_{(aq)} + 2H_{2(g)}$$

$$Mg_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow MgCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

إحلالُ لافلزٍّ محلّ لافلزّ:

تُعدُّ تفاعُلاتُ الهالوجينات من أبرز الأمثلة على هذا النوع من التفاعُلات؛ إذْ يحلّ الهالوجين الأكثر نشاطًا محلّ الهالوجين الأقلّ نشاطًا، فعنصرُ الفلورِ هو الأكثر نشاطًا في مجموعته وأقلّها اليودُ، فمثلًا يحلّ الكلور محلّ البروم في محلول بروميد الصوديوم، ولكن لا يحدثُ العكس كما هو مُوضّح في المعادلة الآتية:

$$Cl_{2(g)} + 2NaBr_{(aq)} \rightarrow 2NaCl_{(aq)} + Br_{2(l)}$$

$$Br_{2(l)} + 2NaCl_{(aq)} \rightarrow \text{لا يحدث تفاعل}$$

الأكثر نشاطًا

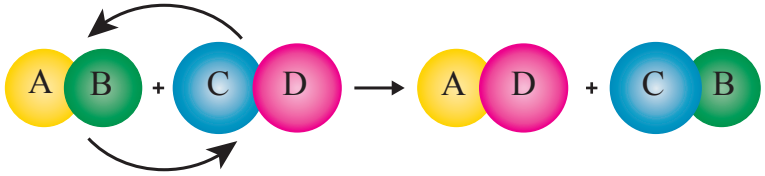
الفلورُ	F_2
الكلورُ	Cl_2
البرومُ	Br_2
اليودُ	I_2

الأقل نشاطًا

الإحلالُ المزدوجُ Double Displacement

الإحلالُ المزدوجُ Double Displacement: تفاعُل كيميائيٌّ يحلّ فيه عنصران كلٌّ منهما محلّ الآخر في مُركّباتِهما أو المحلول المائيِّ لأملاحِهما. ويمكنُ النظرُ إلى هذا التفاعُل بحدوث تبادلٍ فيه بين موقِعَي الأيونينِ المُوجِبَين (أو السالبين) في مُركّباتِهما أو أملاحِهما، وعادةً يُمكنُ تمثيل تفاعُلاتِ الإحلال المزدوج بالصورة العامّةِ المُبَسَّطة الآتية:

$$AB + CD \rightarrow AD + CB$$



تُصنَّفُ تفاعُلاتُ الإحلال المزدوجِ إلى ثلاثة أنواعٍ كما يأتي:

تفاعُل الترسيب Precipitation Reaction

تفاعُل الترسيب Precipitation Reaction: هو تفاعُل تظهرُ فيه مادةٌ راسبة نتيجةَ خلط محلولَيْن لِملحينِ ذائبَين، مثلًا؛ تترسّبُ كربوناتُ النُّحاسِ عند خلطِ محلولٍ من كربونات الصوديوم مع محلولٍ من كبريتات النحاس وفقَ المعادلة الآتية:

$$Na_2CO_{3(aq)} + CuSO_{4(aq)} \rightarrow Na_2SO_{4(aq)} + CuCO_{3(s)}$$

ويُلاحظُ من معادلةِ التفاعُل استبدال موقع Na و Cu؛ حيث يحلّ كلّ منهما محلّ الآخر، فينتجُ محلولُ كبريتات الصوديوم ويترسّب مُركّب كربونات النحاس. أنظرُ الشكل (8).

ومن أمثلة هذا التفاعُل أيضًا؛ تفاعُل محلول نترات الفِضّة مع محلولِ كلوريد البوتاسيوم؛ فينتج محلولُ نتراتِ البوتاسيوم ويترسّبُ مُركّب كلوريد الفِضّة وفقَ المعادلة الآتية:

$$KCl_{(aq)} + AgNO_{3(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)} + KNO_{3(aq)}$$

أُصمّمُ باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّحُ أنواعَ التفاعلات الكيميائية بأنواعها المختلفة: الاتّحاد، التحلُّل، الإحلالُ الأحاديُّ، الإحلالُ المزدَوج، ثمّ أشاركُهُ معلِّمي وزملائي في الصفّ

الشكلُ (8): راسب كربونات النحاس.

التجربةُ 1

تفاعُل التّرسيبِ

الموادّ والأدوات:

كأسٌ زجاجية سعة 200 mL (عدد 3)، محلولُ كبريتات النحاس (II) $CuSO_4$ تركيزُه 1 M، محلولُ هيدروكسيدِ الصوديوم NaOH تركيزُه 1 M، مخبارٌ مدرّج سعة 100 mL عدد (2).

إرشاداتُ السلامة:

- أتّبعُ إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أحذرُ عند التعامل مع الموادّ الكيميائيّة.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظارات الواقية والقُفّازات.

خطوات العمل:

1- **أقيسُ** 10 mL من محلول كبريتات النحاس (II) $CuSO_4$ باستخدام المِخبار المُدرَّج، وأضعُها في كأسٍ زجاجيّةٍ.

2- أنظّفُ المِخبارَ بالماء المُقطّر، ثم أُكرّر الخطوة (1) باستخدام محلولِ هيدروكسيدِ الصوديوم NaOH وأضعُها في كأسٍ زجاجيّة أخرى.

3- **ألاحظُ**: أسكبُ محتويات الكأسين في الكأس الثالثة، وأُحرّكه بشكلٍ دائريٍّ بلطفٍ، وأُسجّل ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1- **أصفُ** التغيُّر الذي يطرأُ على الخليط في الكأس الزجاجيّة.

2- أكتبُ معادلةً كيميائيّة موزونةً للتفاعُل الحاصل مُتضمِّنةً الحالةَ الفيزيائيّة لكلّ مادّةٍ.

تفاعُلاتٌ يصاحبُها انطلاقُ غازٍ

ينتُج عن بعضِ تفاعُلات الإحلال المزدوج انطلاق غازٍ، فمثلًا تتفاعُل كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ مع محلولِ حمض الهيدروكلوريك كما يظهرُ في المعادلة الآتية:

$$CaCO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow CaCl_{2(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

يتّضحُ من المعادلةِ أن الكالسيوم والهيدروجين يحلُّ كلٌّ منهما محلّ الآخر، ويتكونُ ملح كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ وحمض الكربونيك H_2CO_3 الذي يتَفكّكُ مُنتجًا الماءَ، وينطلقُ غازُ ثاني أكسيد الكربون.

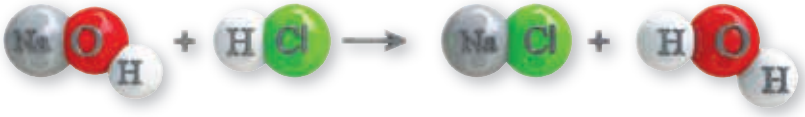
كذلك يتفاعل كبريتيدُ الحديد (II) FeS مع محلول حمض الهيدروكلوريك، فينتجُ محلولَ كلوريدِ الحديد (II) $FeCl_2$، وينطلق غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S وفقَ المعادلة الآتية:

$$FeS_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow FeCl_{2(aq)} + H_2S_{(g)}$$

تفاعُل التعادُلِ Neutrallization Reaction

تفاعُل التعادُلِ Neutrallization Reaction هو تفاعُلٌ يحدثُ بين محاليل الحموض والقواعد القويّة؛ وينتج عنه الملحُ والماء. وفي هذا التفاعُل تتعادلُ أيونات الهيدروجين H^+ الناتجة من تأيُّن الحمضِ مع أيوناتِ الهيدروكسيد OH^- الناتجةِ من تأيُّن القاعدةِ لإنتاج الماء، فمثلًا يتفاعُل محلولٌ من حمض الهيدروكلوريك HCl مع محلول من هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ فينتجُ ملحُ كلوريد الصوديوم NaCl والماء وفقَ المعادلة الآتية:

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



ومن الأمثلة أيضًا؛ تفاعُل حمضِ الكبريتيك H_2SO_4 مع هيدروكسيد الليثيوم LiOH لإنتاج ملح كبريتات الليثيوم Li_2SO_4 والماء، كما في المعادلة الآتية:

$$H_2SO_{4(aq)} + 2LiOH_{(aq)} \rightarrow Li_2SO_{4(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

✓ **أتحقَّق:** ما الفرقُ بين تفاعُل التعادُل وتفاعُل الترسيب؟

الربطُ بالطبِّ

تُنتِجُ المعدةُ حمض الهيدروكلوريك الذي يساعد في هضم الطعام، ولكن زيادته في المعدة تؤدي إلى شعور الفردِ بالحُرقة(حموضة المعدة)، لذلك يَنصح الطبيبُ بتناول الأقراص المضادّة للحموضة التي تحتوي على مُركّبٍ قاعديٍّ مثل هيدروكسيد المغنيسيوم؛ إذ يتفاعلُ مع حمضِ الهيدروكلوريك في المعدة ويؤدّي إلى التعادل، وتختفي حُرقة المعدة ويشعرُ الفرد بالارتياح.

التجربة 2

تفاعُل التعادُلِ

الموادّ والأدوات:

محلولُ حمضِ النيتريك HNO_3 تركيزُه (0.01 M)، محلولُ هيدروكسيد البوتاسيوم KOH تركيزُه (0.01 M)، ماء مُقطَّر، كاس زجاجية(عدد 3)، ساقٌ زجاجيّة، مخبارٌ مدرّج، مقياسُ الرقم الهيدروجيني pH. (أو أوراق الكاشف العام).

إرشاداتُ السلامة:

- أتّبعُ إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أحذرُ عند التعامل مع الموادّ الكيميائية.
- أرتدي معطفَ المُختبر والنظارات الواقية والقُفّازات.

خطواتُ العمل:

1- **أقيسُ:** 10 mL من محلول حمض النيتريك HNO_3 باستخدام المِخبار المُدرّج، وأضعُها في كأسٍ زجاجيّةٍ.

2- **أقيسُ:** أستخدمُ مقياس الرقم الهيدروجيني أو أوراق الكاشفِ العامّ لقياس قيمة pH للمحلول، وأسجّلُها.

3- أُكرّرُ الخطوتين (1) و (2) لمحلولِ هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

4- أخلطُ المحلولين في كأس زجاجيّةٍ ثالثةٍ، ثم أُحرّك بساقٍ زجاجيّةٍ مُدّة دقيقتين.

5- **أقيسُ:** أستخدمُ مقياسَ الرقم الهيدروجينيِّ أو أوراق الكاشف العامّ لقياسِ قيمة pH للخليطِ. وأُسجّلُ ملاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاج:

1- **أقارنُ** بينَ قيم pH قبلَ خلط المحلولين وبعدَهُ.

2- أكتبُ معادلةً كيميائيّةً موزونةً للتفاعُل.

المعادلةُ الأيونيّةُ Ionic Equation

درستُ سابقًا التعبيرَ عن التفاعُل الكيميائيِّ بمعادلةٍ كيميائيّة موزونة تُبيّن الموادّ المُتفاعِلة والموادّ الناتجة، وكمياتِها، وحالتها الفيزيائية، وظروف التفاعُل. فمثلًا يتفاعُل محلولُ نتراتِ الرصاص (II) $Pb(NO_3)_2$ مع محلولِ يوديدِ البوتاسيوم KI، وينتجُ عن تفاعُلهما محلولُ نترات البوتاسيوم KNO_3، ويترسّبُ يوديدُ الرصاصِ (II) PbI_2، وفقَ المعادلة الآتية:

$$Pb(NO_3)_{2(aq)} + 2KI_{(aq)} \rightarrow PbI_{2(s)} + 2KNO_{3(aq)}$$

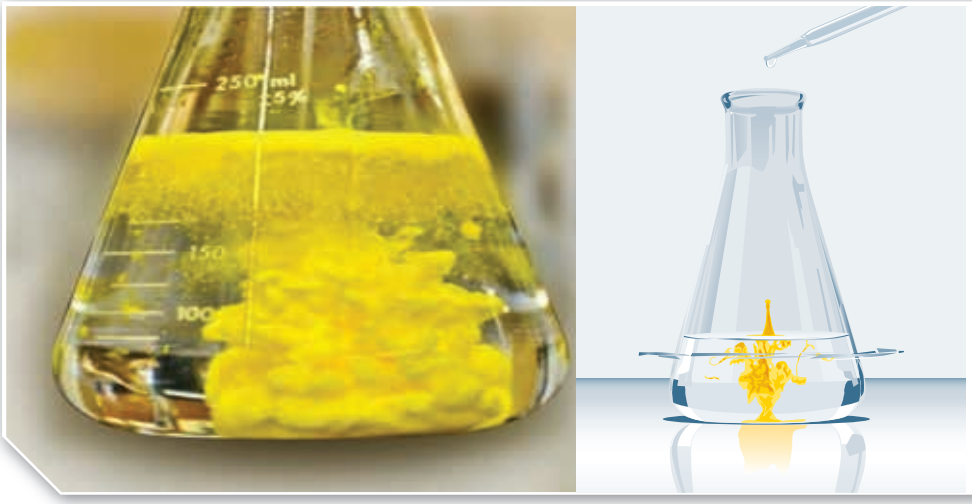
تُبيّنُ المعادلةُ الصيغ الكيميائيّة للموادِ المُتفاعِلة والناتجة، ولكنها لا تُوضّح الأيونات الموجبة والسالبة في محاليل المركبات الأيونيّةِ، حيثُ تتفاعل هذه الأيونات في ما بينها لتكوين النواتج، وهذا لا يظهر في المعادلة الكيميائية العامّة. ولتوضيح التفاعُلات التي تحدث في المحاليل المائيّة؛ استخدمَ الكيميائيون **المعادلة الأيونية Ionic Equation**؛ حيثُ تظهرُ فيها الجسيمات المُتفاعِلة والناتجة جميعها في المحلولِ، وبهذا يُمكن إعادةُ كتابة المعادلة السابقة كما يأتي:

$$Pb^{2+}_{(aq)} + 2NO^{-}_{3\,(aq)} + 2K^{+}_{(aq)} + 2I^{-}_{(aq)} \rightarrow PbI_{2(s)} + 2K^{+}_{(aq)} + 2NO^{-}_{3\,(aq)}$$

يتّضحُ من المعادلة أن أيونات البوتاسيوم K^+ وأيونات النترات NO_3^- لم تتغير في طرفَي المعادلة؛ أي أنها لم تشترك في التفاعُلِ ولم يطرأ عليها أيّ تغيُّرٍ كيميائي، ويُطلَقُ عليها **الأيوناتُ المُتفرّجة Spectator Ions**، وتُحذف من طرفَي المعادلة كما يأتي:

$$Pb^{2+}_{(aq)} + \cancel{2NO^{-}_{3\,(aq)}} + \cancel{2K^{+}_{(aq)}} + 2I^{-}_{(aq)} \rightarrow PbI_{2(s)} + \cancel{2K^{+}_{(aq)}} + \cancel{2NO^{-}_{3\,(aq)}}$$

يتّضحُ أنه بحذفِ الأيونات المُتفرّجة من المعادلة يتبقّى أيوناتُ الرصاصِ Pb^{2+} التي تتفاعَل مع أيوناتِ اليوديد I^-، وينتجُ عن تفاعُلها يوديدُ الرصاص PbI_2 على شكل راسبٍ أصفرِ اللّون.



الشكلُ (9): راسب أصفر اللون يوديد الرصاص.

أنظرُ الشكل (9)، وبهذا تكون المعادلة الأيونية لهذا التفاعُل على النحو الآتي:

$$Pb^{2+}_{(aq)} + 2I^{-}_{(aq)} \rightarrow PbI_{2(s)}$$

يُطلَقُ على المعادلةِ التي تظهرُ فيها الأيوناتُ المُتفاعِلة فقط **المعادلةُ الأيونية النهائيّة (الصافية) Net Ionic Equation**. وقد تنتجُ عن هذه الأيوناتِ مادّةٌ صلبة أو سائلة أو غازية.

تُحقّق المعادلةُ الأيونية النهائية الموزونة قانون حفظ الكتلة، حيثُ أنواعُ الذرّاتِ المُتفاعِلة والناتجة وعددُها قبل التفاعُل، وبعده تبقى ثابتة. كما تُحقّق قانون حفظ الشحنة أيضًا؛ فالمجموعُ الكُلّيُّ للشحنات الموجبة والسالبة على الموادّ المُتفاعِلة يُساوي مجموعهما على الموادّ الناتجة، أنظرُ الجدول (1).

الجدولُ (1): تحقيقُ قانوني حفظِ الكتلة وحفظ الشحنة في المعادلة الأيونيّة.

	الموادّ المُتفاعِلة	الموادّ الناتجة
الموادّ المُتفاعِلة والناتجة	$Pb^{2+}_{(aq)} + 2I^{-}_{(aq)}$	$PbI_{2(s)}$
موازنةُ الصيغ الكيميائيّة	1Pb , 2I	1 Pb , 2I
موازنةُ الشحنات	$(1 \times +2) + (2 \times -1) = 0$	0

يتّضحُ مما سبق؛ أنه يمكن التعبير عن تفاعُلاتِ المحاليل المائيّة بمعادلة أيونيّة نهائيةٍ، والأمثلةُ الآتية تُوضّح ذلك:

الربطُ مع الحياة

يُستخدَمُ يوديد الرصاص PbI_2 بصفته مادة ملونة في صناعة الدّهانات؛ حيث يكسِبُها اللّونَ الأصفر، ومن أبرز طرائق تحضيرِه: تفاعلُ محلول يوديد البوتاسيوم مع محلول نترات الرصاص فيترسب يوديد الرصاص.

المثال 1

يتفاعَل محلول كلوريد النحاس (II) $CuCl_2$ مع محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ ليتكوّن محلولُ كلوريد الصوديوم NaCl، ويترسّبُ هيدروكسيد النحاس (II) $Cu(OH)_2$ كما في الشكل، أكتبُ المعادلةَ الأيونيّة النهائية.

تحليلُ السؤال (المعطيات):

الموادّ المُتفاعِلة: محلولُ $CuCl_2$ مع محلول NaOH

الموادّ الناتجة: محلولُ NaCl وراسب $Cu(OH)_2$

المطلوب: كتابةُ المعادلة الأيونية النهائية.

الحلُّ:

أكتبُ معادلةَ التفاعُل الموزونة:

$$CuCl_{2(aq)} + 2NaOH_{(aq)} \rightarrow 2NaCl_{(aq)} + Cu(OH)_{2(s)}$$

أكتبُ المعادلة الأيونية:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)} + 2Na^{+}_{(aq)} + 2OH^{-}_{(aq)} \rightarrow 2Na^{+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)} + Cu(OH)_{2(s)}$$

أحذفُ الأيونات المُتفرّجةَ من طرفي المعادلة، وهي $(2Na^{+} + 2Cl^{-})$ في هذا المثال:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + \cancel{2Cl^{-}_{(aq)}} + \cancel{2Na^{+}_{(aq)}} + 2OH^{-}_{(aq)} \rightarrow \cancel{2Na^{+}_{(aq)}} + \cancel{2Cl^{-}_{(aq)}} + Cu(OH)_{2(s)}$$

أكتبُ المعادلة الأيونية النهائية:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2OH^{-}_{(aq)} \rightarrow Cu(OH)_{2(s)}$$

المثال 2

يتفاعُل محلـول نترات الفضـة $AgNO_3$ مع محلـولِ بروميد الصوديوم NaBr، ويتكوّن محلـولُ نتـرات الصوديوم $NaNO_3$، ويترسب مُركّب بروميد الفضة AgBr.

1 - أكتب معادلة التفاعل الموزونة

2 - أكتب المعادلة الأيونية.

3 - أكتب المعادلة الأيونية النهائية.

تحليلُ السؤال (المعطيات):

الموادُّ المُتفاعِلة: محلولُ $AgNO_3$ مع محلول NaBr

الموادُّ الناتجة: محلولُ $NaNO_3$ وراسب AgBr

المطلوب: كتابةُ المعادلة الموزونة، والمعادلة الأيونية، والمعادلة النهائيّة.

الحلُّ:

1 - معادلة التفاعُل الموزونة:

$$AgNO_{3(aq)} + NaBr_{(aq)} \rightarrow AgBr_{(s)} + NaNO_{3\ (aq)}$$

2 - المعادلة الأيونيّة:

$$Ag^{+}_{(aq)} + NO^{-}_{3\ (aq)} + Na^{+}_{(aq)} + Br^{-}_{(aq)} \rightarrow AgBr_{(s)} + Na^{+}_{(aq)} + NO^{-}_{3\ (aq)}$$

أحذف الأيونات المُتفرّجة من طرفي المعادلة:

$$Ag^{+}_{(aq)} + \cancel{NO^{-}_{3\ (aq)}} + \cancel{Na^{+}_{(aq)}} + Br^{-}_{(aq)} \rightarrow AgBr_{(s)} + \cancel{Na^{+}_{(aq)}} + \cancel{NO^{-}_{3\ (aq)}}$$

3 - المعادلة الأيونيّة النهائية:

$$Ag^{+}_{(aq)} + Br^{-}_{(aq)} \rightarrow AgBr_{(s)}$$

المثال 3

يتعادل محلولا حمض الهيدروكلوريك HCl وهيدروكسيد البوتاسيوم KOH وفقَ المعادلة الموزونة الآتية:

$$HCl_{(aq)} + KOH_{(aq)} \rightarrow KCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

أكتبُ المعادلة الأيونيّةَ النهائيةَ.

المطلوب: كتابةُ المعادلةِ الأيونيّةِ النهائيةِ.

الحلُّ:

أكتبُ المعادلةَ الأيونيةَ:

$$H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + K^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + K^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

أحذفُ الأيوناتِ المُتفرّجة:

$$H^+_{(aq)} + \cancel{Cl^-_{(aq)}} + \cancel{K^+_{(aq)}} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + \cancel{K^+_{(aq)}} + \cancel{Cl^-_{(aq)}}$$

أكتبُ المعادلةَ الأيونيّةَ النهائيّةَ:

$$H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$

المثال 4

اعتمادًا على المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$\mathbf{2HCl_{(aq)} + Na_2S_{(aq)} \rightarrow 2NaCl_{(aq)} + H_2S_{(g)}}$$

الحلُّ:

أكتبُ المعادلةَ الأيونيّةَ وأحذفُ الأيوناتِ المُتفرّجةَ:

$$2H^+_{(aq)} + \cancel{2Cl^-_{(aq)}} + \cancel{2Na^+_{(aq)}} + S2^-_{(aq)} \rightarrow \cancel{2Na^+_{(aq)}} + \cancel{2Cl^-_{(aq)}} + H_2S_{(g)}$$

أكتبُ المعادلةَ الأيونيّةَ النهائيّةَ:

$$2H^+_{(aq)} + S^{2-}_{(aq)} \rightarrow H_2S_{(g)}$$

✓ **أتحقَّق:** يَتفاعَل محلولُ كلوريد الألومنيوم $AlCl_3$ مع محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ فينتجُ محلول كلوريد الصوديوم NaCl، ويترسّبُ هيدروكسيد الألمنيوم $Al(OH)_3$.

1- أكتبُ المعادلةَ الأيونيّة.

2- أكتبُ المعادلةَ الأيونيّةَ النهائيّة.

أُعدُّ فيلمًا قصيرًا باستخدام صانع الأفلام Movie Maker؛ مُوضّحا معادلةً أيونيّةً لتفاعُلٍ ما، والأيوناتِ المتفرّجةَ والمعادلةَ الأيونيّةَ النهائيّةَ، بحيث يحتوي الفيلم على مفهوم كلٍّ منها، وعلى أنموذج تمثيليٍّ للتّفاعُلِ، ثمّ أشاركُه معلّمي وزملائي في الصفِّ.

مراجعةُ الدرس

1 - **الفكرةُ الرئيسة**: أقارنُ بين أنواع التفاعُلات الكيميائية؛ من حيث الموادّ المُتفاعِلة والناتجة.

2 - **أوضّحُ** المقصود بكلٍّ من: تفاعُل التعادل، المعادلة الأيونيّة النهائية، الأيونات المتفرّجة.

3 - يتفاعُل محلولٌ من فوسفات الصوديوم Na_3PO_4 مع محلولٍ من كلوريد الحديد (III) $FeCl_3$؛ فينتجُ محلولٌ من كلوريد الصوديوم NaCl، ويترسب فوسفات الحديد (III) $FePO_4$.

أ . أكتبُ المعادلةَ الكيميائيّة الموزونة.

ب . أكتبُ المعادلةَ الأيونية.

جـ. أُحدّدُ الأيوناتِ المتفرجة في المعادلة.

د . أكتبُ المعادلةَ الأيونية النهائية.

4 - **أصنّفُ** المعادلاتِ الكيميائيةَ الآتية إلى أنواعها الرئيسة: الاتّحاد، التحلُّل، الإحلال الأحاديّ، الإحلال المزدوج:

أ . $HNO_{3(aq)} + LiOH_{(aq)} \rightarrow LiNO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$

ب . $CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \rightarrow CaCO_{3(s)}$

جـ. $Fe_{(s)} + 2AgNO_{3(aq)} \rightarrow Fe(NO_3)_{2(aq)} + 2Ag_{(s)}$

د . $NH_4NO_{3(s)} \xrightarrow{\Delta} N_2O_{(g)} + 2H_2O_{(g)}$

5 - **أستنتجُ** نوعَ تفاعُلاتِ الإحلال المزدوج(ترسيب، تعادل، إطلاق غاز) في المعادلات الآتية:

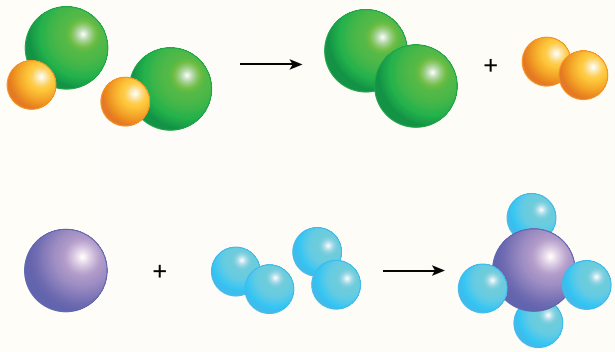
أ . $HBr_{(aq)} + KCN_{(aq)} \rightarrow HCN_{(g)} + KBr_{(aq)}$

ب . $BaCl_{2(aq)} + K_2CO_{3(aq)} \rightarrow 2KCl_{(aq)} + BaCO_{3(s)}$

جـ. $HCOOH_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow HCOONa_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

6 - **أُفسّر**: يحلُّ عنصر الفلور محلّ عنصر اليود في محلولٍ مائيٍّ ليوديدِ البوتاسيوم.

7 - **أستنتجُ** معادلةً كيميائية عامة تُمثّل كلًّا من التفاعُلين الآتيين:



الفكرةُ الرئيسة:

تستندُ الحسابات الكيميائيّة المبنيّة على المادة المُحدّدة للتّفاعُل إلى المقارنة بين عدد المولات اللازمة للتّفاعُل والمولات المتوافرة، وتتحدّد كمية المادة الناتجة بناءً على المادة المُحدّدة للتّفاعُل.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أستنتجُ من التفاعل الكيميائي المادّةَ المُحدّدة للتّفاعُل والفائضة عنه، وأحسبُ كتلة كلٍّ منهما.
- أحسبُ كتلةَ مادّةٍ ناتجة بمعرفة المادة المُحدّدة للتّفاعُل.

المفاهيمُ والمصطلحات:

المادةُ المُحدّدة Limiting Reactant

المادةُ الفائضة Excess Reactant

المادةُ المُحدّدة للتفاعُل Limiting Reactant

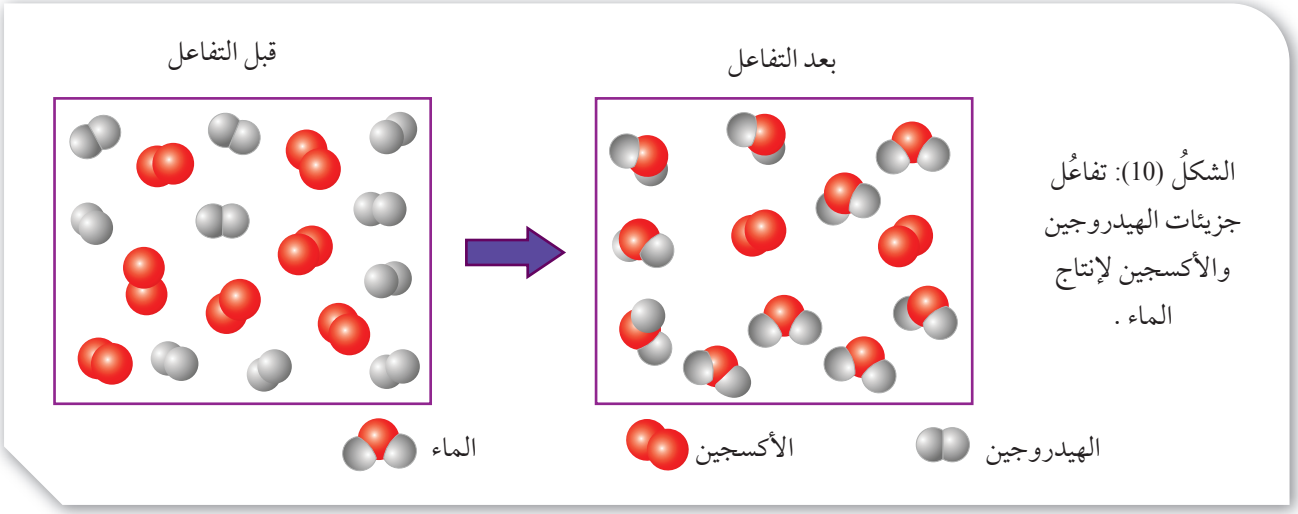
تُجرَى التفاعُلاتُ الكيميائية في المختبرات والمصانع بناءً على حساب كميات الموادّ وفقَ نسبِها المُوليّةِ في المعادلة الموزونة، وقد درستُ سابقًا كيفيّة إجراء الحسابات الكيميائية؛ بمعرفة كميّة إحدى الموادّ المُتفاعِلة أو الناتجة وفق النسبة المولية التي تُحدّدها المعادلة الموزونة.

ولكن؛ ماذا يحدث عند خلط كميات معلومة من الموادّ المُتفاعِلة بنسبة موليّة تختلفُ عن النسبة التي تُحدّدها المعادلة الموزونة؟ ومتى يتوقّفُ التفاعُل؟ وما المادة التي تُحدّد نهايته؟ وكيف يمكنُ حساب كميات الموادّ الناتجة؟

عند خلطِ كميّاتٍ معلومة من موادَّ مُتفاعِلة بنسبةٍ لا تتطابق مع نسبها المولية في المعادلة الموزونة؛ فمن النادر أن تُستهلَكَ جميعُ كميات الموادّ أثناءِ التفاعُل، إذْ يتوقّف التفاعُل باستهلاك كميّة إحدى الموادّ المُتفاعِلة كُلّيًا، وتُسمّى **المادّة المُحدّدة للتفاعُل Limiting Reactant**؛ وهي المادّة المُتفاعِلة التي تُستهلك كُلّيًا في التفاعُلِ وتحدِّدُ كمية المادة الناتجة. في حين تتبقّى كميةٌ زائدةٌ من مادّة مُتفاعِلة أخرى أو أكثر لم تستهلك كُلّيًا في أثناء التفاعُل تُسمّى **المادةَ الفائضة Excess Reactant**. فمثلًا يتفاعُل غازا الهيدروجين والأكسجين كما في المعادلة الآتية:

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)}$$

يتبيّنُ من المعادلة الموزونة أنه عندما يتفاعل 2 mol من الهيدروجين مع 1 mol من الأكسجين، فإنّهما يُستَهلكان كلّيًا ويتوقّف التفاعُل. وبهذا تكونُ المادتان كلاهُما محدّدتين للتفاعُل. ولكن أيُّ المادتين ستكونُ المادةَ المُحدّدة للتفاعُل؛ عندَ تفاعُلِ 10 mol من الهيدروجينِ مع 7 mol من الأكسجين؟



الشكلُ (10): تفاعُل جزيئات الهيدروجين والأكسجين لإنتاج الماء .

يُتوقَّع أن تُستهلكَ إحدى المادتين قبل الأخرى وتكون هي المُحدّدة للتفاعُل. لتعرُّف ذلك؛ أنظرُ الشكل (10) الذي يُوضّحُ التفاعُل؛ بناءً على أن كلّ جزيءٍ يُمثّل مولًا من المادّة.

يتّضحُ من الشكل أن 10 mol هيدروجين تفاعلت كُلّيًا مع 5 mol من الأكسجين، ونتجَ عن ذلك 10 mol ماء، وبذلك تستهلك كمية الهيدروجين جميعُها أثناء التفاعُل، وبعد ذلكَ يتوقّف التفاعُل. وبهذا يكون الهيدروجين هو المادة المُحدّدة للتفاعُل، وفي المقابل يتبقّى 2 mol من الأكسجين دون أن تتفاعَلَ بسبب استهلاكِ كمية الهيدروجين كُلّها، ويكون الأكسجينُ هو المادّة الفائضة في التفاعُلِ.

الحساباتُ المبنيّةُ على المادّة المُحدّدة

Calculations depending on limiting Reactant

تتحدّدُ كميّةُ المادة الناتجة بمعرفة المادة المُحدّدة للتفاعُل التي تُستهلَك تمامًا، فعندَ تفاعُل كميّاتٍ معلومة من موادَّ مُختلفةٍ؛ فإنّه لابدّ من معرفة المادة المُحدّدة للتفاعُل، ويجري ذلك عن طريق حساب عدد المولات الفعلية للمواد المتفاعلة ومقارنتِها بنسبتها المولية من المعادلة الموزونة.

وبمعرفة كتلة المادّةِ المُحدّدة للتفاعُل؛ فإنّه يُمكن حساب كتل المواد الفعلية المتفاعلة والناتجة. والأمثلة الآتية توضح ذلك:

المثال 5

أُضيفُ 8 mol من البوتاسيوم K إلى 5 mol من غاز الكلور Cl_2 للتفاعُل وفقَ المعادلة الموزونة الآتية:

$$2K_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2KCl_{(s)}$$

أ . أستنتجُ المادة المُحدّدة للتفاعُل.

ب. أحسب عدد مولات المادّةِ الناتجة.

تحليلُ السؤال (المعطيات)

عددُ مولاتِ البوتاسيوم K = 8 mol

عددُ مولاتِ الكلور Cl_2 = 5 mol

المطلوب: أستنتجُ المادة المُحدّدة للتفاعُل.

الحلُّ:

أ . أُحدّدُ النسبةَ الموليّة بينَ K و Cl_2 من المعادلة الموزونة:

$$\frac{(2\ \text{mol K})}{(1\ \text{mol } Cl_2)}$$

أحسبُ عدد مولاتِ (n) البوتاسيوم K اللازمةِ للتفاعُل؛ اعتمادًا على مُعطيات السؤال كما يأتي:

عدد المولات المطلوبة للتفاعُل = النسبة المولية × عدد المولات المتوفراة

Moles needs = mol ratio × moles available

$$n\ K = \frac{2\ \text{mol K}}{1\ \text{mol } Cl_2} \times 5\ \text{mol } Cl_2$$

$$= 10\ \text{mol}$$

وبهذا فإنّ عدد مولات البوتاسيوم K المطلوبةِ للتفاعُل 10 mol، وعدد المولات المتوافرة 8 mol، وهي أقلّ ممّا يلزم للتفاعُل، فإنّ البوتاسيوم K هو المادة المُحدّدة للتفاعُل. والكلور Cl_2 المادة الفائضة.

ب. أحسبُ عدد مولاتِ المادّة الناتجة بالاعتمادِ على المادة المُحدّدة للتفاعُل كما يأتي:

$$\frac{2\ \text{mol K}}{2\ \text{mol KCl}}$$

وبهذا فإنّ $n\ K = n\ KCl = 8\ \text{mol}$

المثال 6

يحترقُ غازُ الإيثينِ بوجود الأكسجين احتراقًا تامًّا؛ وفقَ المعادلة الكيميائيّة الموزونةِ الآتية:

$$C_2H_{4(g)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

فإذا أضيف 18.7 g من غاز الإيثين C_2H_4 إلى 7.4 g من غاز الأكسجين O_2

أستنتجُ المادةَ المُحدّدة للتفاعُل، علمًا أن الكتل المولية بوحدة g/mol هي: ($C_2H_4 = 28$, $O_2 = 32$)

تحليلُ السؤال (المعطيات)

كتلةُ الإيثين $C_2H_4 = 18.7\ g$

كتلةُ الأكسجين $O_2 = 7.4\ g$

الكتل المولية بوحدة g/mol ($C_2H_4 = 28$, $O_2 = 32$)

المطلوب: أستنتجُ المادة المُحدّدة للتفاعُل.

الحلُّ:

أحسبُ عدد مولاتِ كلّ مادةٍ مُتفاعِلة بضرب كتلتِها في معامل تحويلٍ يساوي معكوسَ كتلتِها الموليّة كما يأتي:

$$18.7\ g\ C_2H_4 \times \frac{1\ mol\ C_2H_4}{28\ g\ C_2H_4} = 0.67\ mol\ C_2H_4$$

$$7.4\ g\ O_2 \times \frac{1\ mol\ O_2}{32\ g\ O_2} = 0.23\ mol\ O_2$$

أُحدّدُ النسبةَ الموليّة للموادّ المُتفاعِلة من المعادلةِ الموزونةِ وهي النسبة المطلوبة للتفاعُل:

$$\frac{1\ mol\ C_2H_4}{3\ mol\ O_2}$$

أحسبُ عدد مولاتِ الأكسجين اللازمة للتفاعُل:

$$n\ O_2 = \frac{3\ mol\ O_2}{1\ mol\ C_2H_4} \times 0.67\ mol\ C_2H_4 = 2.01 mol\ O_2$$

عددُ مولاتِ الأكسجين المطلوبة للتفاعُل 2.01 mol، وعددُ المولاتِ المتوافرة 0.23 mol، وهي أقلّ ممّا يلزم للتفاعُل، لذلك؛ الأكسجين O_2 هو المادة المُحدّدة للتفاعُل، والإيثين C_2H_4 هو المادةُ الفائضة.

المثال 7

أضيفُ 50 g من الفسفور الأبيض P_4 إلى 100 g من غاز الأكسجين O_2 لإنتاج الأُكسيد P_4O_{10} وفقَ المعادلةِ الكيميائية الموزونة الآتية:

$$P_{4(s)} + 5O_{2(g)} \rightarrow P_4O_{10(s)}$$

فإذا علمتُ أن الكُتل المولية بوحدة g/mol هي ($P_4 = 124$, $O_2 = 32$, $P_4O_{10} = 284$)

أ . أحسبُ كتلةَ المادة الناتجة.

ب. أحسبُ كتلةَ المادة الفائضة.

جـ. أحسبُ: المردود المئويّ للتفاعُل علمًا أن المردود الفعلي له 84.6 g

تحليل السؤال (المعطيات)

كتلةُ الفسفور الأبيض P_4 = 50 g

كتلةُ الأكسجين O_2 = 100 g

الكتلُ المولية بوحدة g/mol: ($P_4 = 124$, $O_2 = 32$, $P_4O_{10} = 284$)

المطلوب: أحسبُ كتلةَ المادة الناتجة، وأحسبُ كتلة المادة الفائضة، والمردود المئوي للتفاعل.

الحلُّ:

أ . حسابُ كتلةِ المادة الناتجة

لحساب كتلة المادة الناتجة؛ يجب أوّلًا تحديد المادة المحددة للتفاعُل.

أحسبُ عدد مولاتِ كلّ مادة مُتفاعِلة:

$$50\ g\ P_4 \times \frac{1\ mol\ P_4}{124\ g\ P_4} = 0.40\ mol\ P_4$$

$$100\ g\ O_2 \times \frac{1\ mol\ O_2}{32\ g\ O_2} = 3.13\ mol\ O_2$$

أُحدّدُ النسبةَ المولية للمواد المُتفاعِلة من المعادلة الموزونة:

$$\frac{5\ mol\ O_2}{1\ mol\ P_4}$$

أحسبُ عدد مولاتِ الأكسجين اللازمة للتفاعُل:

$$mol\ O_2 = \frac{5\ mol\ O_2}{1\ mol\ P_4} \times 0.40\ mol\ P_4$$

$$= 2\ mol\ O_2$$

عدد مولات الأكسجينِ المطلوبة للتفاعُل 2 mol، وعدد المولات المتوافرة 3.13 mol، وهي أكبرُ ممّا يلزم للتفاعُل، لذلك؛ الأكسجين هو المادة الفائضة. والفسفور الأبيض P_4 هو المادة المُحدّدة للتفاعُل.

أحسبُ عدد مولاتِ المادة الناتجة P_4O_{10} بمعرفة عدد مولاتِ المادة المُحدّدة للتفاعُل P_4

$$n\ P_4O_{10} = \frac{1 mol\ P_4O_{10}}{1\ mol\ P_4} \times 0.40\ mol\ P_4$$

$$= 0.40\ mol\ P_4O_{10}$$

أحسبُ كتلة P_4O_{10} بدلالة عدد مولاتِه وكتلته المولية:

$$m\ P_4O_{10} = \frac{284\ g\ P_4O_{10}}{1\ mol\ P_4O_{10}} \times 0.40\ mol\ P_4O_{10}$$

$$= 113.6\ g\ P_4O_{10}$$

ب. حسابُ كتلةِ المادة الفائضة

أحسبُ الكتلة التي تفاعلت من O_2:

$$m\ O_2 = \frac{32\ g\ O_2}{1\ mol\ O_2} \times 2\ mol\ O_2 = 64\ g\ O_2$$

أحسبُ كتلة O_2 الفائضة عن التفاعُل بإيجاد الفرقِ بين الكتلة المتوافرة والكتلة المُتفاعِلة:

$$100\ g - 64\ g = 36\ g\ O_2$$

جـ. حسابُ المردودِ المئويّ للتفاعُل

أحسبُ المردود المئوي (Y%) ل P_4O_{10}؛ وذلك بقسمةِ المردودِ الفعليِّ (Ay) على المردودِ النظري (Py) مضروبًا في 100.

$$Y\% = \frac{Ay}{Py} \times 100$$

$$Y\% = \frac{84.6}{113.60} \times 100 = 74.5\%$$

المثال 8

أستنتجُ المادة المُحدّدة للتفاعُل عند إضافة 50 g من النيكل Ni إلى 500 mL من محلول حمض HCl تركيزُه 0.01M، كما هو مُوضّحٌ في المعادلة الآتية:

$$Ni_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow NiCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

تحليلُ السؤال (المعطيات)

حجمُ الحمض HCl = 0.5 L

تركيزُ محلول الحمض = 0.01 M

كتلةُ النيكل Ni = 50 g

الكتلُ الموليّة بوحدة g/mol: (Ni = 58.7)

المطلوب: أستنتجُ المادة المُحدّدة.

الحلُّ:

أحسبُ عددَ مولاتِ الحمض:

عددُ المولات = التركيز × الحجم

$$\frac{0.01 \text{ mol HCl}}{1 \text{ L HCl}} \times 0.5 \text{ L HCl} = 0.005 \text{ mol HCl}$$

أحسبُ عدد مولاتِ النيكل:

$$50 \text{ g Ni} \times \frac{1 \text{ mol Ni}}{58.7 \text{ g Ni}} = 0.85 \text{ mol Ni}$$

أُحدّدُ النسبةَ المولية للمواد المُتفاعِلة من المعادلة الموزونة:

$$\frac{1 \text{ mol Ni}}{2 \text{ mol HCl}}$$

أحسبُ عدد مولاتِ الحمض اللازمة للتفاعُل:

$$\frac{2 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol Ni}} \times 0.85 \text{ mol Ni}$$

$$= 1.7 \text{ mol HCl}$$

عددُ مولات الحمض المطلوبة للتفاعُل 1.7 mol، وعدد المولات المتوافرة 0.005 mol، لذلك؛ فالحمض هو المادة المُحدّدة للتفاعُل.

المثال 9

أحسبُ كتلة AgCl الناتجة عند إضافة 100 mL من محلولِ نترات الفضة $AgNO_3$، تركيزُه 0.1 M إلى 100 mL من محلول كلوريد الصوديوم NaCl، تركيزُه 0.05 M؛ لإنتاج راسبِ كلوريد الفِضّة AgCl ومحلولُ $NaNO_3$ وفقَ المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$AgNO_{3\,(aq)} + NaCl_{\,(aq)} \rightarrow AgCl_{\,(s)} + NaNO_{3(aq)}$$

علمًا أن الكتلة المولية بوحدة g/mol (AgCl = 143.5)

تحليل السؤال(المعطيات)

حجم محلول نترات الفضة = 0.1 L تركيزُه = 0.1 M

حجم محلول كلوريد الصوديوم = 0.1 L تركيزُه = 0.05 M

الكتلة المولية بوحدة g/mol (AgCl = 143.5)

المطلوب: أحسبُ كتلة AgCl الناتجة.

الحلُّ:

أحسبُ عدد مولاتِ كلّ مادة مُتفاعِلة:

$$\frac{0.1\ \text{mol}\ AgNO_3}{1\ \text{L}\ AgNO_3} \times 0.1\ \text{L}\ AgNO_3 = 0.01\ \text{mol}\ AgNO_3$$

$$\frac{0.05\ \text{mol NaCl}}{1\ \text{L NaCl}} \times 0.1\ \text{L NaCl} = 0.005\ \text{mol NaCl}$$

أُحدّدُ النسبة المولية للمواد المُتفاعِلة من المعادلة الموزونة:

$$\frac{1\ \text{mol}\ AgNO_3}{1\ \text{mol NaCl}}$$

عدد مولاتِ نترات الفضة اللازمة للتفاعُل (أو كلوريد الصوديوم):

$$n\ AgNO_3 = n\ NaCl = 0.01\ \text{mol}\ AgNO_3$$

عدد مولات كلوريد الصوديوم NaCl المطلوبة للتفاعُل 0.01 mol، وعدد المولات المُتوافرة 0.005 mol، لذلك NaCl هو المادة المُحدّدة للتفاعُل، ونترات الفضة $AgNO_3$ هي المادة الفائضة.

أحسبُ عدد مولاتِ المادة الناتجة AgCl بمعرفة عدد مولاتِ المادة المُحدّدة للتفاعُل

$$n\ AgCl = n\ NaCl = 0.005\ \text{mol}\ AgCl$$

أحسبُ كتلة AgCl بدلالة عدد مولاتِه وكتلته المولية:

$$= \frac{143.5\ \text{g}\ AgCl}{1\ \text{mol}\ AgCl} \times 0.005\ \text{mol}\ AgCl = 0.72\ \text{g}\ AgCl$$

اقتصادُ الذرّةِ Atom Economy

يُستخدَم اقتصاد الذرة بوصفه مقياسًا لكفاءة التفاعل الكيميائي؛ حيثُ يشيرُ إلى استخدام الذرّات المُتفاعِلة جميعِها بشكلٍ فاعلٍ لتكوينِ النواتج المرغوبة، وتقليلِ كميّة النواتج غيرِ المرغوبة، فمثلًا للحصول على كميّةٍ اقتصاديّةٍ من مادّةٍ ما في أحد المصانع؛ يلجَأُ المُختصُّون لاختيار التفاعل الكيميائيّ الذي يؤدّي إلى تكوين الناتج المُستهدفِ دون نواتجَ ثانويّةٍ ما أمكن، وإجراء الحساباتِ الكيميائيّة، وتحديد العوامل المُؤثّرةِ في التفاعُل الكيميائيّ التي تهدف إلى الحصولِ على كميّةٍ أكبرَ منهُ في وقتٍ أقلَّ، ومثالُ ذلك؛ تحضيرُ غازِ كلوريد الهيدروجين HCl من تفاعُلِ حمضِ الكبريتيك المُركَّزِ مع كلوريد الصوديوم حسبَ المعادلة الآتية:

$$H_2SO_{4(l)} + 2NaCl_{(s)} \rightarrow 2HCl_{(g)} + Na2SO_{4(s)}$$

يكونُ المردودُ المئويُّ للتّفاعُل 100%، بينما يكونُ اقتصادُ الذرّةِ لهذا التفاعُلِ حوالي 34%؛ وذلك لوجودِ ناتجٍ ثانويٍّ غيرِ مرغوبٍ فيهِ هو كبريتات الصوديوم Na_2SO_4.

وهناك طريقةٌ أُخرى لتحضيرِ غاز HCl؛ وهي تفاعُلُ غازِ الهيدروجين مع غازِ الكلور، ولهذه الطريقة اقتصادُ ذرّةٍ مقدارُه 100%؛ حيثُ تتفاعلُ ذراتِ الهيدروجين والكلور جميعِها معًا لتكوين غاز HCl، وبذلك لا تنتجُ موادُّ ثانويّة غيرُ مرغوبةٍ. حسبَ المعادلةِ الآتية:

$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2HCl_{(g)}$$

أتحقَّق: أضيفُ 40 g من الصوديوم Na إلى 40 g أكسيد الحديد (III) Fe_2O_3؛ لإنتاج الحديد وأكسيد الصوديوم، وفقَ المعادلة الموزونة الآتية: $6Na_{(s)} + Fe_2O_{3(s)} \rightarrow 3Na_2O_{(s)} + 2Fe_{(s)}$

أ . أستنتجُ المادة المُحدّدة للتفاعُل.

ب . أحسبُ كتلة الحديد Fe الناتجة.

جـ. أحسبُ كتلة المادة الفائضة.

أعدُّ فِلمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (Movie Maker)، يوضح سلسلة إجراء الحسابات الكيميائيّة في تحديد المادة المُحدّدة للتّفاعُل، وحساب كتلة المادة الفائضة عنه، وكتلة المادة الناتجة استنادًا إلى المادة المُحدّدة، ثمّ أشاركه معلمي وزملائي في الصف.

مراجعةُ الدرس

1 - **الفكرةُ الرئيسة:** أستنتجُ أهمية المادة المُحدّدة للتفاعُل في التفاعُلِ الكيميائي.

2 - **أوضّحُ** المقصود بالمادة المُحدّدة للتفاعُل، المادة الفائضة عن التفاعُل.

3 - يتفاعُل 35.8 g من S_8 مع 84.2 g من غاز الميثان CH_4 لإنتاج ثاني كبريتيد الكربون CS_2، وفقَ المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$2CH_{4(g)} + S_{8(s)} \rightarrow 2CS_{2(l)} + 4H_2S_{(g)}$$

أ . **أستنتجُ** المادة المُحدّدة للتفاعُل.

ب . أحسبُ كتلة المادة الفائضة المتبقية بعد أنتهاء التفاعُل.

جـ. أحسبُ كتلة CS_2 الناتجة.

د . أحسبُ المردود المئويّ للمُركّب CS_2، علمًا أنه تمّ الحصول فعليًّا على 12g منه.

4 - **أستنتجُ** المادة المُحدّدة في التفاعُلِ الآتي:

$$CaC_{2(S)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow C_2H_{2(g)} + Ca(OH)_{2(aq)}$$

علمًا أنه تفاعُل 6 mol من الماء مع 6 mol من كربيد الكالسيوم CaC_2

5 - **أستنتجُ** المادة المُحدّدة للتفاعُل عند إضافة 40 g من الخارصين Zn إلى 150 mL من محلولُ حمض النيتريك HNO_3 تركيزُه 0.2 M وفقَ المعادلة الآتية:

$$Zn_{(s)} + 2HNO_{3(aq)} \rightarrow Zn(NO_3)_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

6 - أضيفُ 250 mL من محلولِ حمض Hl تركيزُه 0.04 M إلى 250 mL من محلولٍ KOH تركيزُه 0.02 M

أ . أكتبُ معادلةَ التفاعُل الموزونة.

ب . أستنتجُ المادّةَ المُحدّدة للتفاعُل.

الكيمياءُ الخضراء
Green Chemistry

الكيمياءُ الخضراء فَرعٌ من فروع علم الكيمياء، وترتكز على مجموعة من المبادئ تهدف في مُجمَلها إلى تصميم التفاعُلات الكيميائية التي تستخدم كمية اقتصادية من الموادّ الخامّ لإنتاج أكبر كمية من المادة النقية المرغوبة، والحدِّ من استنزاف الموارد الطبيعية، وكذلك التخلص من النفايات والموادّ السامة الضارة بالبيئة. وبهذا تجري المحاولات المستمرة إلى الحدِّ من استخدام الموادّ الخام من المصادر غير المتجددة واستخدامها من المصادر المتجددة لئلّا تُستنزف.

ويتضمّنُ ذلك -أيضًا- تقليلَ استخدام الطاقة غير المتجددة، وإنتاج الموادّ الكيميائية التي تتحلّلُ بعد استخدامها لمنع تراكمها في البيئة.

وضع العالمان أناستس ووارنر warner & Anastas اثنا عشر مبدأً للكيمياء الخضراء في مجال التصنيع الكيميائي، وذلك بما يُحقّق التنمية المستدامة دون إضرارٍ بالبيئة. ويبين الشكل الآتي عددًا من مبادىء الكيمياء الخضراء.

مبادئ الكيمياء الخضراء

أبحث أرجعُ إلى المواقع الالكترونية عبر شبكة الإنترنت وأكتبُ تقريرًا عن الكيمياء الخضراء Green Chemistry مُوضّحًا المبادىء التي قامت عليها، وأهميتها في مجالات الحياة، وأناقشه مع زملائي ومعلمي.

1 . أوضّحُ المقصودَ بالمفاهيم الآتية:

- تفاعُل الإحلال المزدوج.
- تفاعُل التعادل.
- المعادلة الأيونية.

2 . يتفاعُل 200 g من Na مع 200 g من الأكسجين وفقَ المعادلة الموزونة الآتية:

$$4Na_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Na_2O_{(s)}$$

أ – أُحدّدُ النسبة الموليّة للصوديوم Na.

ب– أستنتجُ المادة المحدد للتفاعُل.

جـ– أحسبُ كتلة Na_2O الناتجة.

د – أحسبُ كتلة المادة الفائضة.

3 . يتفاعُل محلول كلوريد النحاس II $CuCl_2$، مع محلول فوسفات البوتاسيوم K_3PO_4، فينتج محلولُ كلوريد البوتاسيوم KCl، وراسبٌ صلبٌ من فوسفات النحاس $Cu_3(PO_4)_2$. أجيبُ عن الأسئلة الآتية:

أ – أكتبُ المعادلة الكيميائية الموزونة.

ب– أكتبُ المعادلة الأيونية.

جـ– أستنتجُ المعادلة الأيونية النهائية.

4 . في المعادلةِ الكيميائية الموزونة الآتية:

$$4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 6H_2O_{(g)} + 4NO_{(g)}$$

أحسبُ عدد مولاتِ NO الناتجة من تفاعُل 25 mol O_2 مع 6 mol NH_3

5 . أضيفُ 0.4 g ثاني أكسيد المنغنيز MnO_2 إلى 50 mL من محلولِ حمضِ الهيدروبروميك HBr تركيزُه 0.02 M؛ لإنتاج البروم، وبروميد المنغنيز، والماء؛ وفقَ معادلة التفاعُل الموزونة الآتية:

$$MnO_{2(s)} + 4HBr_{(aq)} \rightarrow MnBr_{2(aq)} + Br_{2(l)} + 2H_2O_{(l)}$$

أ – أستنتجُ المادة المُحدّدة للتفاعُل.

ب– أحسبُ كتلة المادة الفائضة.

6 . يتفاعُل 80 g من النحاس مع 25 g كبريت لإنتاج كبريتيد النحاس (I) وفقَ المعادلة الموزونة:

$$2Cu_{(s)} + S_{(s)} \rightarrow Cu_2S_{(s)}$$

أ – أستنتجُ المادة المُحدّدة للتفاعُل.

ب– أحسبُ كتلة كبريتيد النحاس Cu_2S المُتكوِّنة.

جـ– أحسبُ المردود المئوي للتفاعُل إذا كانَ الناتج الفعلي عن التفاعُل 14.8 g

7 . أحسبُ كتلة كربونات الكالسيوم الناتجة عند إضافة 25 g من كربونات الصوديوم Na_2CO_3 إلى 20 g كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ وفقَ المعادلة الآتية:

$$Na_2CO_{3(aq)} + CaCl_{2(aq)} \rightarrow CaCO_{3(s)} + 2NaCl_{(aq)}$$

8 . أختار رمز الإجابة الصحيحة في الفقرات الآتية:

1) الأيونات المتفرجة في المعادلة الكيميائية الآتية هي:

$$AgNO_{3(aq)} + NaCl_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)} + NaNO_{3(aq)}$$

أ) Ag^+ , Cl^- ب) NO_3^- , Cl^-

جـ) Na^+ , NO_3^- د) Ag^+ , Na^+

2) الأيوناتُ المُتفاعِلة في المعادلة الأيونية الآتية هي:

$$H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + Li^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + Li^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

أ) OH^- , Cl^- ب) Li^+ , Cl^-

جـ) H^+ , OH^- د) H^+ , Cl^-

3) المعادلةُ الأيونية النهائية الصحيحة في ما يأتي هي:

أ) $Ni_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow NiSO_{4(aq)} + Cu_{(s)}$

ب) $Ni_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} + Cu_{(s)}$

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

د) $NiSO_{4(aq)} + Cu_{(s)} \rightarrow Ni_{(s)} + CuSO_{4(aq)}$

4) العبارة (تفاعُل مادتين أو أكثر لإنتاج مادة واحدة) تشيرُ إلى مفهوم تفاعُل:

أ) التحلُّل ب) الترسيب

جـ) الاتّحاد د) الإحلال المزدوج

5) عند خلطِ 3.8 mol A مع 4.5 mol B و 2.6 mol C وفقَ المعادلة الافتراضية الموزونة الآتية:

$$3A + 2B \rightarrow 5D$$

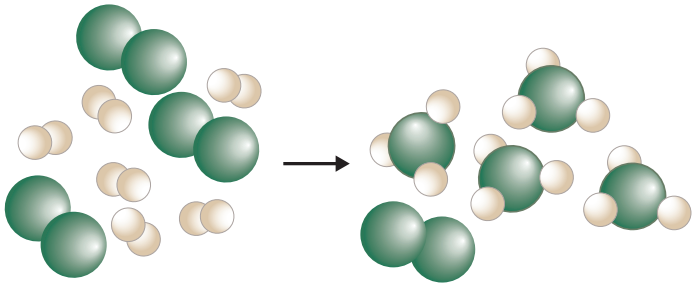
فإنّ المادة المُحدّدة للتفاعُل هي:

أ) A ب) B

جـ) C د) AB

$$Ni_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} + SO4^{2-}_{(aq)} \rightarrow NiSO4(aq) + Cu(s)$$

9 . أستنتجُ من الشكل الآتي كلًّا من المادة المُحدّدة والمادة الفائضة في تفاعُل ما، حيث تشيرُ الكراتُ الخضراء إلى جزيء X_2 والكرات البيضاء إلى جزيء Y_2.



10. أضيفُ 25 mL من حمضِ HCl، تركيزُه 0.1 M إلى 10 mL من NaOH، تركيزُه 0.5 M

أ – أكتبُ معادلةَ التفاعُل الموزونة.

ب– أكتبُ المعادلةَ الأيونية النهائية.

جـ– أستنتجُ المادّةَ المُحدّدة للتفاعُل.

د – أستنتجُ الموادَّ الموجودة في وعاء التفاعُل بعد اكتمال التفاعُل.

11. أصنّفُ التفاعُلاتِ الآتيةَ إلى أنواعها الرئيسة (الاتّحاد، الإحلال الأحادي، الإحلال المزدوج، التحلُّل)

$2HNO_{3(aq)} + Ca(OH)_{2(aq)} \rightarrow Ca(NO_3)_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$

$2KClO_{3(s)} \xrightarrow{\Delta} 2KCl_{(s)} + 3O_{2(g)}$

$Sn_{(s)} + 2AgNO_{3(aq)} \rightarrow 2Ag_{(s)} + Sn(NO_3)_{2(aq)}$

$Mg_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow MgCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$

$2Na_{(s)} + Br_{2(l)} \rightarrow 2NaBr_{(s)}$

12. أكتبُ المعادلةَ الأيونيّةَ النهائية لكلّ من المعادلتين الآتيتين:

$CuI_{2(aq)} + 2KOH_{(aq)} \rightarrow Cu(OH)_{2(s)} + 2KI_{(aq)}$

$Zn_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow ZnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$

الوحدةُ 5

الاتّزان الكيميائي

Chemical Equilibrium

أتأمَّلُ الصورة

تحدثُ الكثير من التفاعلات الكيميائية باتجاهين متعاكسين؛ إذ تتحول الموادّ المُتفاعلة إلى موادّ ناتجة في الاتجاه الأماميّ؛ أما في الاتجاه العكسيِّ فتتفاعل الموادّ الناتجة في ما بينها لتكوين الموادّ المُتفاعلة، ويستمرُّ التفاعلُ بالاتجاهين حتى الوصول إلى حالة الاتّزان. فما المقصود بحالة الاتّزان؟ وكيف يمكن حسابُ تراكيز الموادّ الناتجة أو الموادّ المُتفاعلةِ عند الاتّزان؟

الفكرةُ العامّة:

يستمرُّ حـدوث التفاعلات الكيميائيـة المنعكسة عنـد وصولها إلى حالـة الاتّزان بالاتجاهين بالسرعة نفسها، ويمكنُ التأثيرُ في موضع الاتّزان بتغيير ظروف التفاعل؛ وذلك لإنتاج كميات أكبر من مادّة معيّنة أو التقليل منها، ويجري حسابُ هذه الكميّاتِ باستخدام ثابت الاتّزان.

الدرسُ الأولُ: الاتّزان الكيميائي والعوامل المؤثرة فيه.

الفكرةُ الرئيسةُ: يوصَفُ الاتّزان في التفاعلات المنعكسة بالديناميكي، ويمكن التأثير فيه بتغيير ظروف التفاعل من تركيزٍ أو ضغطٍ أو درجة حرارة.

الدرسُ الثاني: حساباتُ ثابت الاتّزان .

الفكرةُ الرئيسةُ: يُعبّرُ ثابت الاتّزان عن نسب تراكيز الموادّ المُتفاعلة والناتجة في التفاعل عند وصولهِ إلى حالة الاتّزان، ويستفادُ منه في حساب كميات الموادّ المختلفة عند الاتّزان وتقدير المردودِ الاقتصاديّ للتّفاعُل.

تسامي اليود

المـوادّ والأدوات: بلّـوراتٌ مـن اليـود الصّلـب، كأسٌ زجاجيـة سـعة 200 mL، حـوض زجاجـي، زجاجـة سـاعة، ملعقـة، ميـزان حسـاس، مـاء سـاخن، قطـع مـن الجليـد.

إرشاداتُ السلامةِ:

أُطبّقُ إرشاداتِ السلامةِ العامةِ في المختبرِ.

أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقفازاتِ.

أُجري التجربةَ في خزانة الأبخرة، وأتجنّبُ استنشاقَ أبخرة اليود.

خطواتُ العملِ:

1. **أقيسُ** 10 g من اليود الصّلب باستخدام الميزان الحساس وأضعها في الكاس الزجاجية.
2. أملأُ الحوض الزجاجيّ بمقدار ثلُثه ماءً ساخنًا (حمامٌ مائيّ ساخن).
3. أضعُ قطعًا من الجليد في زجاجة الساعة وأضعها على فُوّهة الكأسِ الزجاجية.
4. **ألاحظُ:** أضعُ الكأس المحتويـة على اليود في الحمام المائي الساخن، وألاحظُ التغيُّر الذي يطرأ على بلورات اليود بمرور الوقت، أُسجّل ملاحظاتي.

5. **ألاحظُ:** أنتظرُ مدةَ عشرِ دقائق، وألاحظُ التغيُّر الذي يـطرأ على لـون بخار اليـود في الدورق، أُسجّلُ ملاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- أوضّحُ التغيُّرات التي تطرأُ على بلوراتِ اليود الصّلب، وأسمّي هذه العملية.

2- أُحدّدُ لون بخار اليود المتصاعد.

3- أوضّحُ التغيرات التى طرأت على بخـار اليـود بمرور الوقت، وأسمّي هذه العملية.

4- **أفسّرُ:** ثباتَ لون بخار اليود في الكأس الزجاجية.

5- **أستنتجُ:** العلاقةَ بين ما يحدث لبلّورات اليـود، وما يحدث لبخاره عنـد ثبات اللون في الكأس الزجاجية.

الدرس 1

الاتّزان الكيميائي والعوامل المؤثّرة فيه

Chemical Equilibrium and Factors Affecting It

الفكرة الرئيسة :

يوصَفُ الاتّزان في التفاعلات المنعكسة بالديناميكي، ويُمكن التأثير فيه بتغيير ظروفِ التفاعُل من تركيزٍ أو ضغطٍ أو درجةِ حرارة.

نتاجاتُ التعلُّم :

- أتوصّلُ إلى مفهوم الاتّزان الديناميكي.
- أوضح أثر العوامل المختلفة المؤثرة في حالة الاتّزان.

المفاهيمُ والمصطلحات :

التفاعلاتُ غير المنعكسة Irreversible Reactions

التفاعل الأمامي Forward Reaction

التفاعل العكسي Reverse Reaction

التفاعلات المنعكسة Reversible Reactions

اتّزان ديناميكي Dynamic Equilibrium

سرعة التفاعل الأمامي Forward reaction Rate

سرعة التفاعل العكسي Reverse Reaction Rate

مفهومُ الاتّزان الكيميائي

Chemical Equilibrium Concept

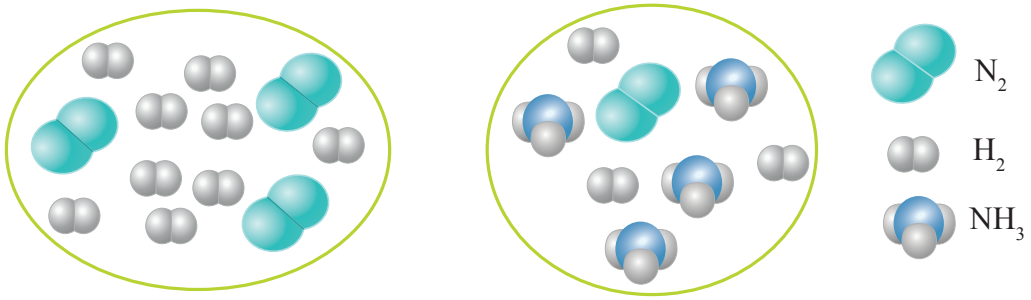
تحدثُ كثيرٌ من التفاعُلات وتنتهي باستهلاك إحدى المواد المُتفاعِلة أو جميعها كُلِّيًا ، فمثلًا يحترقُ شريطٌ من المغنيسيوم Mg في جوٍّ من الأكسجين O_2 وينتجُ أكسيد المغنيسيوم MgO وكميةٌ كبيرة من الحرارة، وينتهي التفاعُل باحتراق شريط المغنيسيوم كُلِّيًا، ولا يمكن إعادة تكوين أيٍّ من الموادّ المُتفاعِلة مرةً أخرى في أثناء التفاعُل؛ ما يعني أن التفاعُل يسير باتّجاهٍ واحدٍ نحو تكوين المواد الناتجة، ويُعبّر عن التفاعُل بمعادلة كيميائية على النحو الآتي:

$$2Mg_{(S)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2MgO_{(S)} + Heat$$

يتّضحُ من المعادلة أن السهم يشير إلى اتّجاه سير التفاعُل، ويُطلَقُ على هذا النوع من التفاعُلاتِ اسم **التفاعُلات غير المنعكسة Irreversible Reactions.**

تجري كثيرٌ من التفاعُلات الكيميائية في أوعيةٍ مغلقةٍ لا تسمحُ بفقدانِ أي كمية من الموادّ المُتفاعِلة أو الناتجة من وعاء التفاعُل، ممّا يتيحُ حدوث تفاعُل بين الموادّ الناتجة، ويجعلُ التفاعُل يحدث باتّجاهين متعاكسين، فعند بدايةِ التفاعُل تتفاعُل الموادّ المُتفاعِلة في ما بينها وتتكوّنُ الموادُّ الناتجة، ويُطلَقُ على هذا التفاعُل اسم **التفاعُلِ الأماميِّ Forward Reaction**، وبمجرد أن تتكوّن المواد الناتجة فإنّها تبدأ بالتفاعُل معًا وتُعيد تكوين المواد المُتفاعِلة مرّةً أخرى، ويسمى **التفاعُلَ العكسيَّ Reverse Reaction**، فمثلًا يُحضّرُ غاز الأمونيا NH_3 بطريقة هابر، بتفاعُل غاز النيتروجين N_2 مع غازِ الهيدروجين H_2 في وعاءٍ مغلق عند ظروفٍ مناسبة من الضغط ودرجة الحرارة، ويؤدّي ذلك إلى تكوين غازِ الأمونيا NH_3، في ما يُعرَف بالتفاعُل الأماميّ، كما يظهرُ في المعادلة الآتية:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \longrightarrow 2NH_{3(g)}$$



الشكلُ (1):
تكوينُ الأمونيا

$N_{2(g)} + 3H_{2(g)}$
بداية التفاعل

$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$
عند الاتّزان

وعندما يتكوّن غازُ الأمونيا NH_3 في وعاء التفاعُل؛ فإنّه يبدأُ بالتفكُّك ويتكون كلٌّ من غاز النيتروجين N_2 وغاز الهيدروجين H_2 في ما يعرفُ بالتفاعُل العكسي، كما يظهرُ في المعادلة الآتية:

$$2NH_{3(g)} \longrightarrow N_{2(g)} + 3H_{2(g)}$$

وبهذا نجد أن وعاءَ التفاعُل يحتوي على كميات مختلفة من المواد المُتفاعِلة والناتجة في الوقت نفسه. أنظرُ الشكل (1)، ويُسمّى هذا النوع من التفاعُلاتِ **التفاعُلات المنعكسة Reversible Reaction**، وتعني أن التفاعُل يحدث بالاتجاهين؛ الأماميّ ويشار إليه في المعادلة بسهمٍ باتّجاه اليمين، والعكسيّ ويشار إليه في المعادلة بسهمٍ باتّجاه اليسار، ويُعبّر عنها بمعادلة كيميائية؛ حيثُ يُكتب فيها سهمان باتّجاهين متعاكسين ($\rightleftharpoons$) كما في تفاعُل تحضيرِ الأمونيا:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

تشير التجارب الكيميائية إلى أنّ تراكيزَ الموادِّ المتفاعلة تكونُ في البداية أكبر ما يُمكنُ؛ وبهذا تكون سرعة تفاعلها وتحولها إلى مواد ناتجة أعلى ما يمكن، وتسمى **سرعة التفاعل الأمامي Forward Reaction Rate**، وبمرور الوقت تتناقص تراكيز المواد المتفاعلة، وبذلك تتناقص سرعة التفاعل الأمامي، أما المواد الناتجة فتكون تراكيزها عند بداية التفاعل صفرًا، وبمجرد تكونها

تبدأ بالتفاعُل والتحوّلِ إلى مواد متفاعلة، وبهذا يبدأ حدوث التفاعل العكسيّ، وبمرور الوقت تزداد تراكيزُ المواد الناتجة، وبذلك تزداد سرعة تفاعلها وتحولها إلى مواد متفاعلة، وتُسمّى **سرعة التفاعل العكسي Reverse Reaction Rate**، حتّى تصبح سرعةُ التفاعل الأمامي مُساويةً لسرعة التفاعل العكسيّ يصل التفاعل إلى حالة من الاتّزان عندها يستمر حدوث التفاعل بالاتجاهين بالسرعة ذاتها، وتثبت تراكيزُ الموادّ المُتفاعِلة والناتجة والخصائص المرتبطة بها، مثل الضغط، واللون، والحجم، ودرجة الحرارة، ويوصَفُ التفاعُل بأنه في حالة **الاتّزان الديناميكي Dynamic Equilibirium.**

وللتعرُّف إلى مفهوم الاتّزان الديناميكيّ؛ يُمكن دراسة تفكُّكِ غاز رباعيِّ أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 عديم اللّون إلى غاز ثنائي أكسيد النيتروجين NO_2 ذي اللّون البُنيّ المُحمرِّ الذي يحدثُ كما في المعادلةِ الآتية:

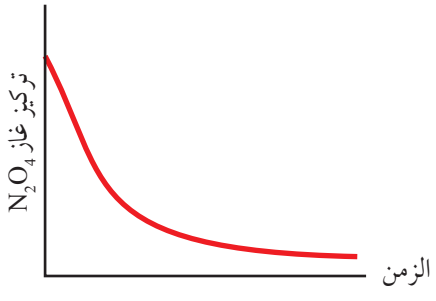
$$N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$$

عديم اللون — لون بني (مُحمرّ)

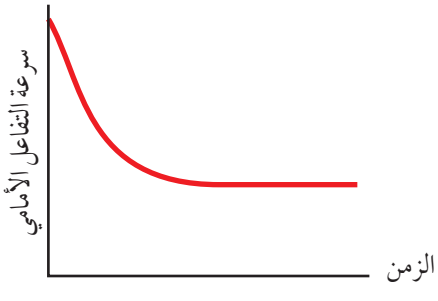
يبدأُ التفاعُل الأماميّ بِتحوُّل غازِ رباعيِّ أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 إلى غاز ثنائي أكسيد النيتروجين NO_2 بسرعة عالية نسبيًّا، ويُعبّر عن التفاعُل بالمعادلة الآتية:

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

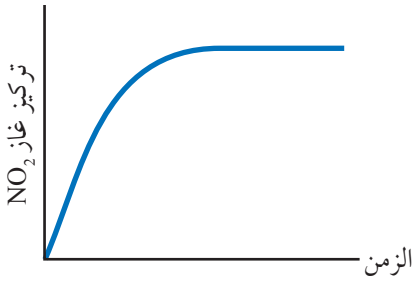
وبمرور الوقت، يتناقص تركيز غاز N_2O_4 وبذلك تتناقص سرعة التفاعُل الأماميّ، أنظرُ الشكل(2/ أ، ب).



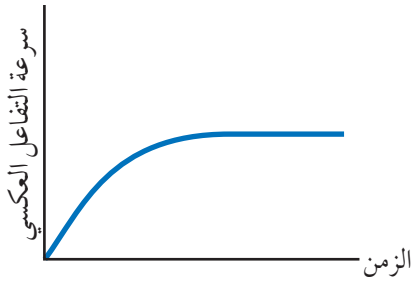
الشكلُ (2/ أ): تناقص تركيز N_2O_4 مع الزمن.



الشكلُ (2/ ب): تناقص سرعة التفاعل الأمامي مع الزمن.



الشكلُ (3/ أ): تزايد تركيز NO_2 مع الزمن.



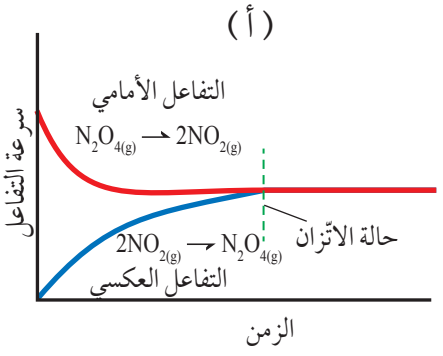
الشكلُ (3/ ب): تزايد سرعة التفاعل العكسي مع الزمن.

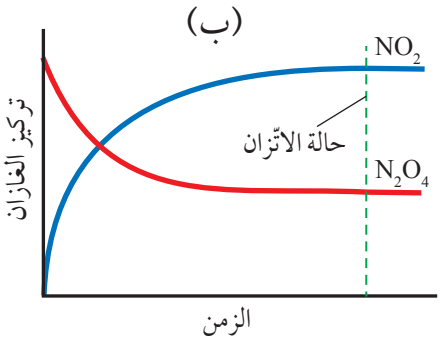
أمّا غاز NO_2؛ فيكونُ تركيزُه عند بداية التفاعُل صفرًا، وتكون سرعةُ التفاعُلِ العكسيّ صفراً أيضًا، وبسبب تفكُّك غاز N_2O_4 يبدأ تكون غاز NO_2 وظهور اللّون البُنيّ في وعاء التفاعُل، ويبدأ حدوث التفاعُل العكسيّ وتحول غاز NO_2 إلى الغاز N_2O_4 بسرعة بطيئة نسبيًّا، ويُعبّر عن التفاعُل كما في المعادلة الآتية:

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

وبزيادةِ تركيز NO_2 في وعاء التفاعُل، تتزايد سرعةُ التفاعُل العكسي تدريجيًّا، وبعد فترة من الزمن تثبت سرعة التفاعل وتثبت تراكيز المواد الناتجة، ويُبيّن الشكل(3/ أ، ب) تزايدَ تركيزِ NO_2 وتزايد سرعة التفاعُل العكسيِّ بمرور الزمن.

يتّضحُ مما سبق أن تراكيز المواد المتفاعلة وسرعة التفاعل الأمامي يتناقصان بمرور الزمن، وفي الوقت نفسه تتزايدُ تراكيز الموادّ الناتجة وتتزايد سرعةُ التفاعل العكسيِّ، إلى أن يصل التفاعل الى حالة الاتّزان حيث تصبح سرعة التفاعُل الأماميّ مُساويةً لسرعة التفاعل العكسي، وعندها تثبت تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة، أنظرُ الشكل (4/ أ، ب).





الشكلُ (4/ أ، ب)
الاتّزان الديناميكي لتفكك غاز N_2O_4.

أُقارنُ بين تراكيز الغازاتِ في وعاء التفاعل عند حالة الاتّزان.

لون غاز N_2O_4 عديم اللون | لون خليط متزن من الغازان بني باهت | لون غاز NO_2 بني محمرّ

الشكلُ (5): وصول التفاعل إلى حالة الاتّزان.

وبهذا فإنَّ وعاءَ التفاعل يحتوي على خليط من الغازين بنسب ثابتةٍ، ويصبح لون الخليط بُنيًّا باهتًا، أنظر الشكل (5).

ويمكنُ التعبيرُ عن التفاعُل المتَّزنِ السابق كما في المعادلة الآتية:

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

الربطُ مع الحياة

اتّزان نسبةِ الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجويّ

رغم استهلاكِ الأكسجين خلال عمليّاتِ الاحتراق، وتنفُّس الكائنات الحية، وإنتاجِ ثاني أكسيد الكربون؛ إلا أنّ هذا النقصَ في نسبة الأكسجين يـجري تعويضُه عن طريق عملية البناء الضوئي التي تحدث في النباتات، فهي تعملُ على استهلاك ثاني أكسيد الكربون وإنتاجِ الأكسجين، ورغم أنّ العمليّتين تحدثـان بشـكل منفصلٍ وبآليّتين مختلفتين؛ إلا أنّهمـا عمليتان متكاملتان تعملان معًا على المحافظةِ على حالةٍ من الاتّزان في نِسَب هذه الغازاتِ في الغلاف الجويّ.

✓ **أتحقَّق:** يتفاعل غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 مع الأكسجين O_2 في وعاءٍ مغلقٍ لتكوين غاز ثالث أكسيد الكبريت SO_3 وفقَ المعادلة الآتية:

$$2SO_{2\,(g)} + O_{2\,(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3\,(g)}$$

■ أصفُ التغيُّرات التي تحدث لكلّ مما يأتي قبل وصول التفاعُل إلى حالة الاتّزان وعندها:

أ . تراكيزُ الغازات SO_2, O_2, SO_3 في وعاء التفاعُل.

ب. سرعتا التفاعُلينِ الأماميّ والعكسيّ.

العواملُ المؤثّرة في الاتّزان Factors Affecting Equilibrium:

توصّلنا في ما سبق إلى أن التفاعُلاتِ المنعكسة تصلُ إلى حالة الاتّزان، ويحتوي عندها وعاءُ التفاعُل على تراكيزَ ثابتةٍ من المواد المُتفاعِلة والناتجة. يمكنُ للتّفاعُل أن يُكوِّنَ المواد الناتجة بنسبة أكبر من المواد المتفاعلة، ويكونُ الاتّزانُ مُزاحًا جهة المواد الناتجة، أو يكوِّنَ المواد المتفاعلة بنسبة أكبر من المواد المتفاعلة، ويَكونْ الاتزان مُزاحًا نحو المواد المتفاعلة، وهو ما يُسمّى **موضعَ الاتّزان Equilibrium Position.** يُمكن التحكُّم بموضع الاتّزان بإزاحته نحوَ اليمين لزيادة كمية الموادّ الناتجة، أو إزاحته نحو اليسار لتقليل كمية المواد الناتجة وزيادة كمية المواد المُتفاعِلة، وذلك عن طريق التحكُّم بمجموعة من العوامل. فما هذه العوامل؟ وكيف تُؤثّر في موضع الاتّزان؟

مبدأ لوتشاتلييه Le Chatelier`s Principle:

درس العالِم الفرنسيُّ هنري لوتشاتلييه التغيُّراتِ التي يمكن أن تُؤثّر في حالة الاتّزان للتفاعُل، وتوصّل إلى أنه يمكن التحكُّم بموضِع الاتّزان للتفاعُل عبر التحكم بظروف التفاعُل من: تركيزٍ، أو ضغطٍ، أو درجةِ حرارة، وقد عُرف ذلك **بمبدأ لوتشاتلييه Le Chatelier`s Principle** الذي ينصُّ على أنه "إذا حدث تغييرٌ في أحد العوامل المؤثّرة في الاتّزان لتفاعُل كيميائي مُتّزنٍ، مثل التركيز، أو الضغط، أو درجة الحرارة؛ فإنّ التفاعُلَ يعملُ على تعديل موضع الاتّزان للتّقليلِ من أثر ذلك التغيير".

يشيرُ مبدأ لوتشاتلييه أنه يمكنُ زيادةُ كميات الموادّ الناتجة من التفاعُل بالتحكُّم في العوامل المؤثّرة في الاتّزان، وتحسينِ المردودِ الاقتصاديّ للصناعات الكيميائية، مثل صناعة الأمونيا NH_3 بطريقة هابر، وصناعة حمض الكبريتيك وغيرها، فكيف يتم التحكُّم بالعوامل المُؤثّرة في الاتّزان؟ وما أثر تغيير موضعِ الاتّزان على كميّات المواد الناتجة والمُتفاعِلة؟

✓ **أتحقّق:** أُحدّد العواملَ التي درس لوتشاتلييه تأثيرَها على موضِعِ الاتّزان.

التركيز: Concentration

يتأثّرُ موضع الاتّزان بتغيير كميات الموادّ أو تراكيزِها في وعاء التفاعُل عند درجة الحرارة نفسِها؛ إذْ يُؤدّي تغيير تركيز مادة مُتفاعلةٍ أو ناتجة إلى اضطرابٍ في حالة الاتّزان، ممّا يدفع التفاعُل إلى تعديلِ وضعه للوصول إلى حالة الاتّزان من جديد، ويحصل ذلك بتغيير موضع الاتّزان بإزاحته جهة اليمين (نحو تكوين المواد الناتجة)، أو جهة اليسار(نحو تكوين المواد المُتفاعلة)؛ للتّقليلِ من أثر ذلك التغيير، ثم يعود التفاعُل إلى حالة الاتّزان من جديد.

فمثلًا يتفكّكُ خماسي كلوريد الفسفور PCl_5 في وعاء مغلقٍ، وينتجُ غاز ثلاثي كلوريد الفسفور PCl_3 وغاز الكلور Cl_2، ويصل التفاعُل إلى حالة الاتّزان كما في المعادلة الآتية:

$$PCl_{5\,(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

وعند إضافة كمية من غاز PCl_5؛ فإنّ تركيزَهُ يزداد في وعاء التفاعُل ويختل الاتّزان، ووفقًا لمبدأ لوتشاتلييه يعملُ التفاعُل على تعديلِ موضع الاتّزان وإزاحته جهة اليمين التي تُقلّل من أثر هذه الزيادة، وبالتالي سوف تزداد سرعة التفاعُل الأماميّ كما في المعادلة:

$$PCl_{5\,(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

وبهذا تُستهلك كمية من الغاز المضاف، وتتكون كميات جديدة من PCl_3 و Cl_2 وتزدادُ تراكيزُها، وبمرور الوقت، ونتيجةً لذلك تبدأ سرعة التفاعُل العكسي بالتزايد، وسرعة التفاعُل الأماميّ بالتناقص إلى أن تتساوى السرعتان فيعودُ التفاعُل إلى حالة الاتّزان من جديد، كما في المعادلة الآتية:

$$PCl_{5\,(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

وتحدث التغيُّرات ذاتها فيما لو جرت إزالة كمية من Cl_2 أو PCl_3 أو سحبها من وعاء التفاعُل.

أمّا عند إضافة كمية من غاز Cl_2 إلى وعاء التفاعُل فيزداد تركيزُه، ووفقًا لمبدأ لوتشاتلييه سوف تزداد سرعةُ التفاعُل العكسي للتقليل من أثر هذه الزيادة، ويُزاح موضع الاتّزان جهة اليسار كما في المعادلة:

$$PCl_{5\,(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

ونتيجةً لذلك؛ تنتج كمية جديدة من غاز PCl_5 ويزداد تركيزُه، وبمرور الوقت ونتيجةً لذلك؛ تبدأ سرعة التفاعُل العكسي بالتناقص

الربطُ مع الصحة

اتّزان (هيموجلوبين - أكسجين) في الجسم

يرتبطُ الأكسجينُ الذي يدخل إلى الجسم في أثناء عملية التنفس بجزيئات الهيموجلوبين Hb في الدم، وينتج الهيموجلوبين المؤكسج $Hb(O_2)_4$، حيث يُشكّل الهيموجلوبين والأكسجين نظامًا مُتّزنًا كما في المعادلة:

$$Hb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hb(O_2)_{4\,(aq)}$$

يصلُ الهيموجلوبين المؤكسج إلى أنسجة الجسم، حيث يكون تركيزُ الأكسجين منخفضًا، فيُزاح الاتّزان نحو اليسار ويتحرّرُ الأكسجين المرتبط بالهيموجلوبين، وتحدثُ العمليات الحيويّة اللازمة لإنتاج الطاقة في الجسم والمحافظة على حيويّته ونشاطه.

وسرعة التفاعُل الأمامي بالتزايد، إلى أن تصبح السرعتان متساويتين، فيعودُ التفاعُل إلى حالة الاتّزان من جديد.

أتحقَّق:

1- أوضّحُ التغيُّرات التي تحدث لتراكيز المواد في وعاء التفاعل الآتي، عند إضافة كمية من غاز HCl.

$$4HCl_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(g)} + 2Cl_{2(g)}$$

2- يحترقُ غاز النيتروجين N_2 بوجود الأكسجين O_2 في وعاء مغلق؛ وينتجُ غاز أكسيد النيتروجين NO (II)، ويصل التفاعُلِ إلى حالة الاتّزان وفقَ المعادلة الآتية:

$$N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$$

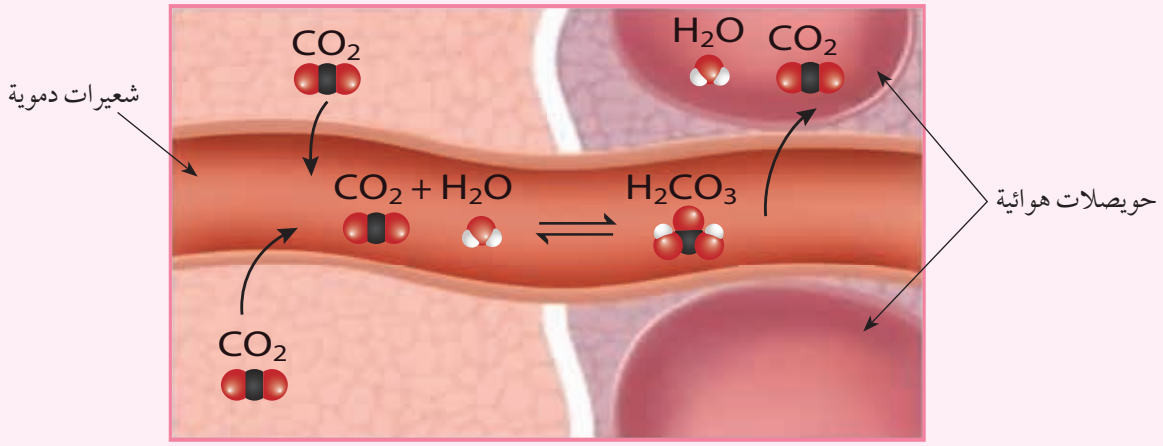
أوضّحُ التغيُّرات التي تحدث لتركيز كلٍّ من N_2 و NO عند سحب كمية معينة من غاز الأكسجين من وعاء التفاعُل.

الربطُ مع العلوم الحياتية الأنظمة المُتّزنة في الجسم

يحتوي الدم على حمض الكربونيك H_2CO_3 في حالة اتّزان مع ثاني أكسيد الكربون والماء، كما في المعادلة:

$$CO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2CO_{3(aq)}$$

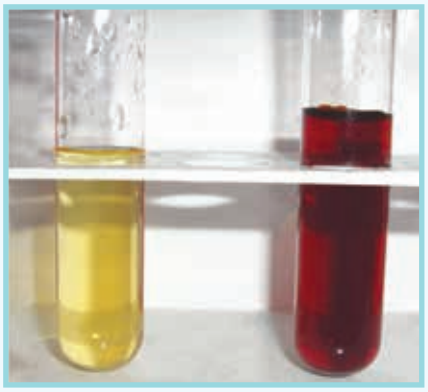
عند زيادة النشاط يزدادُ حرق السكريات، وينتُج عن ذلك كمياتٌ أكبر من ثاني أكسيد الكربون ويزداد تركيزُه في الدم، وهذا يدفع الاتّزان نحو تكوين حمض الكربونيك ويزداد تركيزُه في الدم ويزداد انتشارهُ إلى الرئة، حيث يتفكّك فيها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء ليجري التخلص منها عن طريق التنفُّس(الزفير).



التجربةُ 1

أثر التركيز على موضع الاتزان

الموادُّ والأدواتُ:



محلول ثيوسينات الأمونيوم NH_4SCN، محلول كلوريد الحديد (III) $FeCl_3$، محلول كلوريد الأمونيوم NH_4Cl، أنابيب اختبار عدد (3)، ماصة عدد (3)، حامل أنابيب.

إرشاداتُ السلامةِ:

- أتَّبعُ إرشاداتِ السلامةِ العامةِ في المختبرِ.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقُفّازاتِ.

خطواتُ العملِ:

1- **أقيس:** أضع 3 mL من محلول ثيوسينات الأمونيوم في أنبوب اختبار.

2- **ألاحظ:** أضيف ثلاث قطرات من محلول كلوريد الحديد إلى الأنبوب السابق، ثم أرجُّ المحلول وألاحظ لون المحلول الناتج، وأسجل ملاحظاتي.

3- **أُجرّبُ:** أنقل نصف كمية المحلول السابق إلى أنبوب اختبار آخر وأضع الأنبوبين على حامل الأنابيب.

4- **ألاحظ:** أضيف باستخدام الماصّةِ بضع قطرات من محلول كلوريد الأمونيوم إلى أحد الأنبوبين وأرجُّ المحلول، وألاحظ التغير الذي يطرأ على لون المحلول الناتج، وأسجل ملاحظاتي.

5- **ألاحظ:** أضيف باستخدام الماصّةِ قطرتين من محلول كلوريد الحديد إلى الأنبوب الآخر وأرُجُّ المحلول، وألاحظ التغير الذي يطرأ على لون المحلول الناتج، وأسجل ملاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- أُحدّدُ لون المحلول الناتج من إضافة محلول كلوريد الحديد إلى محلول ثيوسينات الأمونيوم.

2- أُحدّدُ المادة التي أدت إلى تغيير لون المحلول عند إضافة قطرات من محلول كلوريد الأمونيوم إلى الأنبوب الأول، وقطرات من محلول كلوريد الحديد إلى الأنبوب الثاني.

3- **أفسر** أثرَ تغيير تراكيز المواد على موضع الاتّزان وفق مبدأ لوتشاتلييه.

4- **أستنتج** العلاقة بين تغير لون المحلول وتراكيز المواد في وعاء التفاعل.

الضغطُ Pressure

يتأثرُ ضغطُ الغاز المحصور في وعاءٍ مُغلقٍ بحجم الوعاء وأعداد مولات الغازات فيه، حيثُ يتناسب ضغطُ الغاز عكسيًّا مع حجم الوعاء عند ثبات درجة الحرارة، وطرديًّا مع عدد مولاتِ الغاز أو عدد الجزيئات؛ فيزداد ضغط الغاز بزيادة عدد الجزيئات عند ثبات درجة الحرارة. في حين لا تتأثر المواد الصلبة والمواد السائلة بتغيُّرات الضغط في وعاء التفاعُل.

تُجرى التفاعُلات التي تشتمل على الغازات في أوعية مغلقة لضمان عدم فقدانها أي كمية من الغازات المُتفاعلة أو الناتجة لكي يصلَ التفاعُل إلى حالة الاتّزان. ويمكنُ تغيير ضغط الغاز في وعاء التفاعُل بالتحكم في حجم الوعاء، فمثلًا يُحضَّر غاز الميثان CH_4 صناعيًّا بتفاعُل غاز أول أكسيد الكربون CO مع غاز الهيدروجين H_2 كما في التفاعُلِ المُتّزن الآتي:

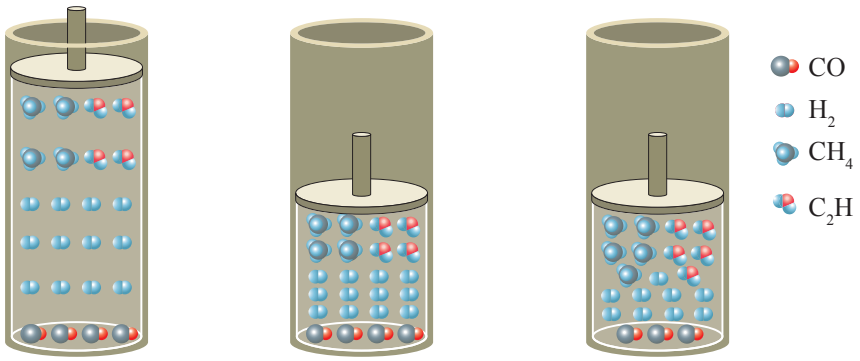
$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

يمكنُ زيادةُ كمية غاز الميثان الناتجة بالتحكم في موضع الاتّزان عن طريق تغيير ضغط الغازات في وعاء التفاعُل؛ إذْ يُلاحظُ من معادلة التفاعُل أن هناك أربعة مولاتٍ من الغازات المُتفاعلة $(CO_{(g)} + 3H_{2(g)})$، ومولينِ من المواد الناتجة $(CH_{4(g)} + H_2O_{(g)})$، وعند إنزال المكبسِ للأسفل يقلُّ حجم الوعاء ويزداد ضغط الغازات في وعاء التفاعُل، وللتّقليل من أثر زيادة الضغط يعمل التفاعُل على إزاحة موضعِ الاتّزان إلى الجهة التي تحتوي عدد مولاتِ أقلّ من المواد الغازية، أيْ جهةَ الموادّ الناتجة، ويقلُّ بذلك عدد المولات الكُلّي في وعاء التفاعُل ويقلُّ الضغط، ولذلك تزداد سرعة التفاعُل الأماميّ ويزداد تكوين غازِ الميثان.

وبعد مدّةٍ قصيرة؛ تبدأ سرعةُ التفاعُل الأماميّ بالتناقص وتتزايدُ سرعة التفاعُل العكسيّ إلى أن تتساوى السرعتان، ويعود

أُفكّر: لا يتأثّرُ موضعُ الاتّزان بإضافة كميّة من غاز الهيليوم He إلى وعاءِ التفاعُل الآتي:

$$2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$$



الشكلُ (6): أثر زيادة الضغط على موضع الاتّزان في تفاعل تكوين الميثان.

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

التفاعُل إلى حالة الاتّزان من جديدٍ، أنظرُ الشكل (6) الذي يُبيّن النسب المولية للمواد المُتفاعلة والناتجة في التفاعُلِ.

أتحقَّق:

1 – أُحدّدُ الجهةَ التي يُزاح نحوها موضع الاتّزان في التفاعُلِ الآتي؛ عند زيادة الضغط الكلّي لخليط الغازات:

$$PCl_{3\,(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$$

2 – أوضّحُ أثر زيادة حجم الوعاء على موضع الاتّزان للتفاعُل الآتي:

$$3H_{2\,(g)} + N_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

درجةُ الحرارة: Temperature

يختلفُ تأثير درجة الحرارة في الاتّزان الكيميائي تبعًا لنوع التفاعُل؛ إذا كان مَاصًّا للحرارةِ أم طاردًا لها، ولنعرف ذلك؛ يُمكن دراسة أثر تغيير درجة الحرارة لتفاعُل مُتّزنٍ ماصٍّ للحرارةِ مثل تفاعُل تحلُّلِ رباعيِّ أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 كما في المعادلة الآتية:

$$N_2O_{4(g)} + 58kJ \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$$

عديم اللون — لون بني محمر

يكونُ التفاعُل في حالة اتّزان عند درجة حرارة الغرفة، ويكون لون خليطِ الغازات في وعاء التفاعُل بُنيًّا باهتًا، وعند تسخين خليط الغازات تزدادُ

درجة حرارته، ممّا يدفعُ التفاعُل إلى تعديلِ موضع الاتّزان ويتّجهُ نحو الجهة التي تستهلك الحرارة الزائدة؛ أي جهة إنتاج NO_2 وتزدادُ كميّتُهُ في وعاء التفاعُل وتقلُّ كمية N_2O_4؛ لذا يُلاحظُ حدوثُ زيادةٍ في شِدّة اللّونِ البُنيّ المُحمرِّ، وتستقر شدته بعد مدّةٍ من الزمن، ويصلُ التفاعُل إلى حالة اتّزان جديدة ولا يعود إلى اللون الباهت مرّةً أخرى، ما يعني أن حالة الاتّزان الجديدة وموضعها تختلف عمّا كانت عليه قبل التسخين.

أمّا عند تبريدِ الخليط وخفض درجة حرارته؛ فإنّ التفاعُل يتّجهُ نحو الجهة التي تزيد من إنتاج الحرارة، ويندفع التفاعُل بالاتجاه العكسي، أيْ جهة تكوين N_2O_4، فيزدادُ تركيزُه ويقل تركيز NO_2 وبذلك يصبحُ لونُ المحلول مائلًا إلى اللّون الأصفر، ما يعني أن التفاعُل وصل إلى حالة اتّزان جديدة؛ أي أن الاتّزان وموضعه أُزِيحَا نحو المواد المُتفاعلة.

ويُبيّن الشكل (7) أثر تغيير درجة الحرارة على حالة الاتّزان للخليط.

يتّضح مما سبق؛ أن تغيير درجة حرارة التفاعُل المُتّزن يؤدي إلى حالة اتّزان جديدة، لا يعودُ فيها التفاعُل إلى حالة الاتّزان التي كان عليها.

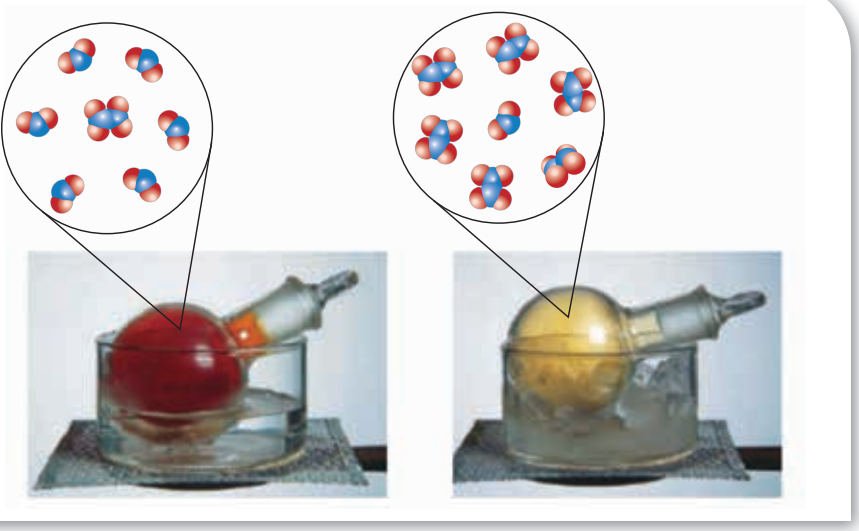
أتحقَّق: أُحدّدُ الجهة التي يُزاحُ نحوها الاتّزان في كلّ من التفاعُلين الآتيين عند زيادة درجة الحرارة:

$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)} + Heat$$

$$[Co(H_2O)_6]^{2+}_{(aq)} + 4Cl^-_{(aq)} + Heat \rightleftharpoons CoCl_4^{2-}{}_{(aq)} + 6H_2O_{(l)}$$

أستخدِمُ برنامجَ صانع الأفلام (Movie Maker)، وَأُصَمِّمُ فيلمًا أشرحُ فيه مبدأ لوتشاتلييه، ثمّ أعرضُه أمامَ زملائي، أو أُشاركهم إيّاه باستخدام مواقع التواصل الاجتماعيّ، مثل (whats app) أو صفحة المدرسة على (facebook).

أبحثُ: يستفادُ من العوامل المُؤثّرة في الاتّزانّ في مجالاتٍ صناعيّةٍ متعدِّدة، مثل: معالجة تلوث الهواء الجوي، أو صناعة حمض الكبريتيك H_2SO_4، أو صناعة الأمونيا. أبحث في مواقعَ إلكترونيّة مناسبة عبرَ شبكة الإنترنت عن التطبيقات الصناعية للاتّزان الكيميائي، وأكتب تقريرًا أو أُصمّمُ عرضًا تقديميًّا حولَ الموضوع، وأُناقشُهُ معَ زملائي ومعلّمي.



الشكلُ (7): أثر تغيير درجة الحرارة على حالة الاتّزانِ.

التجربة 2

أثرُ درجة الحرارة على الاتّزان

الموادّ والأدواتُ:

برادةُ النحاس، محلول حمض النيتريك HNO_3 تركيزه 0.1M ، دورقٌ مخروطيٌّ سعته 500 mL عدد (3)، سدّادة مطاطيّة عدد (3)، حوضٌ زجاجيّ عدد (2)، ماء ساخن، قطع من الجليد.

إرشاداتُ السلامةِ:

- أتّبعُ إرشاداتِ السلامةِ العامةِ في المختبرِ.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقُفّازاتِ.

خطواتُ العمل:

1- **أقيسُ:** أضعُ 500 mL من محلول حمض النيتريك في كلّ دورق مخروطي.

2- **ألاحظُ:** أحضرُ الدوارق المخروطية الثلاثة وأُرقّمها، ثم أضعُ في كلّ منها 1 g من برادة النحاس وأغلقُها بإحكام، وألاحظ لون الغاز المُتكون في كلّ منها.

3- **أضبطُ المتغيرات.** أُحضّر الحوضين الزجاجيين، وأضع في أحدهما إلى منتصفه ماءً ساخنًا، وفي الآخر ماءً وجليدًا.

4- **أجرّبُ:** أتركُ الدورقَ رقم (1) جانبًا، ثم أضعُ الدورقَ (2) في الحوض المحتوي على الماء الساخن، والدورقَ (3) في حوض الماء البارد.

5- **أُقارنُ:** أنتظرُ دقيقتين، ثمّ أقارنُ لون الغاز في الدورقين (3, 2) بلون الغاز في الدورق (1). أُسجّل لون الغاز في كلّ دورق.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- **أستنتجُ** أثر زيادة درجة الحرارة على تراكيز كلّ من الغازين في الدورق.

2- **أُفسّر** تغير لون الغاز في الدورق الموضوع في الماء الساخن، والموضوع في الماء البارد عن الدورق رقم (1).

3- **أُفسّر** أثر درجة الحرارة على كلّ من التفاعلين الأمامي والعكسي.

4- **أستنتج** أثر درجة الحرارة على الاتّزان للتّفاعُل الماصّ للحرارة والتفاعل الطارد لها.

مراجعةُ الدرس

1 - **الفكرةُ الرئيسةُ**: أصفُ الاتّزان الديناميكي وأُحدّدُ العوامل المُؤثّرة فيه.

2 - **أوضّحُ** المقصود بكلّ من:

- التفاعُلات المنعكسة
- مبدأ لوتشاتلييه.

3 - **أوضّحُ** التغيُّرات التي تحدث لتركيز الأمونيا NH_3 في التفاعُلِ المُتّزن في الحالات الآتية:

$$PCl_{3(g)} + 3NH_{3(g)} \rightleftharpoons P(NH_2)_{3(g)} + 3HCl_{(g)}$$

أ . زيادةُ تركيز PCl_3.

ب . إزالةُ HCl من وعاء التفاعُل.

جـ. إضافةُ كمية من $P(NH_2)_3$ إلى وعاء التفاعُل.

4 - **أُفسّرُ** يعتمد تغيير موضع الاتّزان للتفاعُل المُتّزن الآتي على تغيير حجم غاز Cl_2 فقط؟

$$P_{4(s)} + 6Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 4PCl_{3(s)}$$

5 - **أُحدّدُ** التفاعلات التي تؤدي زيادة الضغط الكلّي لها إلى إنتاج كمية أكبر من الموادّ الناتجة:

أ . $C_{(s)} + CO_{2(g)} \rightleftharpoons 2CO_{(g)}$

ب. $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$

جـ. $CO_{(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons COCl_{2(g)}$

د . $4NH_{3(g)} + 3O_{2(g)} \rightleftharpoons 2N_{2(g)} + 6H_2O_{(g)}$

6 - **أستنتجُ** أثر التغيُّرات الآتية على موضع الاتّزان للتفاعُل الآتي:

$$C_2H_{4(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons C_2H_5OH_{(g)} \qquad \Delta H = -46\ kJ\backslash mol$$

أ . زيادة حجم وعاء التفاعُل.

ب . زيادة درجة الحرارة.

جـ. إضافة كمية من بخار الماء.

الدرس 2

تعبيراتُ ثابت الاتّزان والحساباتُ المُتعلّقة به

Equilibrium Constant Expressions and Related Calculations

الفكرةُ الرئيسة :

يُعبّر ثابتُ الاتّزان عن نِسَب تراكيز الموادّ المُتفاعلة والناتجة في التفاعل عند وصوله إلى حالة الاتّزان، ويستفادُ منه في تقدير كميات المواد المختلفة عند الاتّزان وتقدير المردود الاقتصادي للتّفاعُل.

نتاجاتُ التعلُّم :

- أكتبُ تعبيرَ ثابت الاتّزان لبعض التفاعلات.
- أحسبُ كمياتِ المواد في وعاء التفاعل عند الاتّزان.

المفاهيمُ والمصطلحات :

قانونُ فعل الكتلة	Mass Action Law
ثابتُ الاتّزان	Equilibrium Constant
الاتّزان المتجانس	Homogeneous Equilibrium
الاتّزانُ غير المتجانس	Heterogeneous Equilibrium
الحمضُ الضعيف	Weak Acid
أيونُ الهيدرونيوم	Hydronium Ion
ثابتُ تأيُّن الحمض	Acid Dissociation Constant
القاعدةُ الضعيفة	Weak Base
ثابتُ تأيُّن القاعدة	Base Dissociation Constant

ثابتُ الاتّزان Equilibrium Constant

عرفت في ما سبق أنه عند وصول التفاعُل إلى حالة الاتّزان يستمر حدوث التفاعُل بالاتجاهين الأماميّ والعكسي بالسرعة نفسها، وتبقى تراكيز الموادّ الناتجة والمُتفاعلة ثابتةً، ويمكنُ التأثير عليها بإزاحة موضِع الاتّزان نحواليسار أو اليمين بتغيير ظروف التفاعُل من تركيزٍ أو ضغطٍ أو درجة حرارة، ويصلُ التفاعُل إلى حالة الاتّزان من جديد. وسنتعرّفُ في هذا الدرس كيفيّةَ التعبير عن حالة الاتّزان، وحساب تراكيز المواد المختلفة عند الاتّزان.

تعبيرُ ثابت الاتّزان:

Equilibrium Constant Expression

توصّلَ العالمان النرويجيان كاتو جولدبيرج Cato Guldberg وبيتر وييج Peter Waage عن طريقِ دراستهما للتّفاعُلات المُتّزنة إلى علاقة تصفُ حالة الاتّزان سُمّيت **قانون فعل الكتلة Mass Action Law**؛ وينصُّ على أنه عند درجة حرارة معيّنة يصل التفاعُل إلى حالة تكون عندها نسبة تراكيز المواد المُتفاعلة إلى تراكيز المواد الناتجة مرفوعًا كلٌّ منها إلى قوّة تساوي معاملاتها، قيمة ثابتة تُسمّى **ثابت الاتّزان Equilibrium Constant.**

فإذا كان لدينا التفاعُل الافتراضي الآتي:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

فإنّنا نجدُ أن ثابت الاتّزان ويُرمَز له K_{eq} يُمثّل حاصل ضرب تراكيز المواد الناتجة مقسومًا على حاصل ضرب تراكيز المواد المُتفاعلة مرفوعًا كلٌّ منها إلى قوّة تساوي معاملاتها (a, b, c, d) في المعادلة الموزونة، ويُعبّر عنه على النحو الآتي:

$$K_{eq} = \frac{[C]^c\,[D]^d}{[A]^a\,[B]^b}$$

يُعبّر عن ثابت الاتّزان بدلالة التراكيز المولارية للمواد المُتفاعلة والناتجة، ولذلك يُرمز لثابت الاتّزان في هذه الحالة K_c بدلا من K_{eq}، فمثلًا تُصنعُ الأمونيا NH_3 بطريقة هابر وفقَ المعادلة الآتية:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

وتعبيرُ ثابت الاتّزان للتفاعُل على النحو الآتي:

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\ [H_2]^3}$$

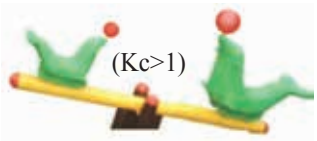
يستفادُ من قيمةِ ثابت الاتّزان في تحديدِ الجهة التي يُزاح إليها الاتّزان، وحسابِ كميّات المواد الناتجة والمُتفاعلة عند الاتّزان، فإذا كانت قيمةُ ثابت الاتّزان أكبر من واحد ($K_c>1$)؛ يكونُ موضع الاتّزان مُزاحًا إلى جهة المواد الناتجة، وتكون تراكيزُ الموادّ الناتجة أكبر من تراكيز المواد المُتفاعلة، وبهذا يكون مردودُ التفاعُل أكبر. أنظرُ الشكل (8/ أ)، بينما إذا كانت قيمة ثابت الاتّزان أقلّ من واحد ($K_c<1$)؛ يكونُ موضع الاتّزان مُزاحًا إلى جهة المواد المُتفاعلة، وتكون تراكيز المواد الناتجة أقلّ من تراكيز المواد المُتفاعلة ويكون مردود التفاعُل قليلًا. أنظر الشكل (8/ ب).

ألاحظُ أنّ المواد في تفاعُل الأمونيا تكون جميعُها في الحالة الغازية، ولذلك يمكن التعبيرُ عن ثابت الاتّزان للتفاعُل بدلالة الضغوط الجزئية للغازات في وعاء التفاعُل بدلًا من تراكيزها، ويُرمَز إلى ثابت الاتّزان في هذه الحالات بالرمز (K_p)، ويُعبّر عنه في التفاعُل السابق على النحو الآتي:

$$K_p = \frac{(P_{NH_3})^2}{(P_{N_2})\ (P_{H_2})^3}$$

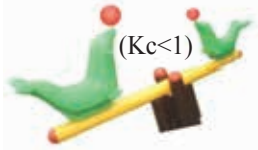
كثيرٌ من التفاعُلات الكيميائيّة تكون فيها المواد في حالاتٍ فيزيائيّة مختلفة؛ ولذلك يمكنُ تصنيف الاتّزان تبعًا إلى الحالة الفيزيائية للمواد إلى نوعين هما: اتّزان متجانس، وآخر غير متجانس، وسنتعرف في ما يأتي كيفية التعبير عن ثابت الاتّزان لكلٍّ منهما.

(أ)



مواد ناتجة مواد متفاعلة

(ب)



مواد ناتجة مواد متفاعلة

الشكلُ (8/ أ، ب) الجهة التي يزاح إليها الاتّزان.

الاتّزان المتجانس Homogeneous Equilibrium:

كثيرٌ من التفاعُلات الكيميائيـة المُتّزنة تكون فيها الموادّ المُتفاعلة والناتجـة جميعها في الحالـة الفيزيائيـة نفسها، وفي هذه الحالة يُوصَف الاتّزان بأنه **اتّزان متجانس Homogeneous Equilibrium**. ويُعبّر عن ثابت الاتّزان لهذه التفاعُلات بدلالة تراكيز المواد كلّها في التفاعُلِ، فمثلًا يتفاعل غاز الأمونيا مع غاز الأكسجين وينتج غاز ثاني أكسيد النيتروجين وبخار الماء كما في المعادلة الآتية:

$$4NH_{3(g)} + 7O_{2(g)} \rightleftharpoons 4NO_{2(g)} + 6H_2O_{(g)}$$

يُعبّر عن ثابت الاتّزان لهذا التفاعُل على النحو الآتي:

$$K_c = \frac{[NO_2]^4\ [H_2O]^6}{[NH_3]^4\ [O_2]^7}$$

أفكّر: أكتبُ معادلة التفاعُل؛ إذا كان تعبير ثابت الاتّزان لخليط من الغازات في وعاءِ تفاعُلٍ هو:

$$K_c = \frac{[NO]^2\ [Cl_2]}{[NOCl]^2}$$

الاتّزان غير المتجانس Heterogeneous Equilibrium:

تتنوعُ الحالةُ الفيزيائية للمواد المُتفاعلة والناتجة (صلبة، وسائلة، وغازية) في بعض التفاعُلات الكيميائية المُتّزنة، ويوصف الاتّزان بأنه **اتّزان غير متجانس Heterogeneous Equilibrium**، وقد وجد أن تراكيز المواد الصلبة في التفاعُلِ تبقى ثابتةً؛ إذْ إنَّ كمية المادة في وحدة الحجم منها تبقى ثابتة، فهي لا تُؤثّر في ثابت الاتّزان ولا تكتب في تعبير ثابت الاتّزان، فمثلًا تتحلّل كربونات الكالسيوم الصلبة $CaCO_3$ بالحرارة في وعاء مُغلق كما في المعادلة الآتية :

$$CaCO_{3(s)} \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

وقد وجد أن ثابت الاتّزان يعتمد فقط على تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، ويُعبّر عنه على النحو الآتي:

$$K_c = [CO_2]$$

وكذلك بالنسبة للمادّةِ السائلة (l) فإنّ تركيزَها يُمثّل كثافتها، وهي قيمةٌ ثابتةٌ مهما تغيرت كميتها، وبالتالي فإنّ تركيزَها يبقى ثابتًا ولا يُؤثّر في ثابت الاتّزان، وينطبق ذلك على الماء أيضًا، فمثلًا يتحلّلُ الماء السائل (l) وفقَ المعادلة الآتية:

$$2H_2O_{(l)} \rightleftharpoons 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$$

وحيث إنَّ الماء في التفاعُل مادّةٌ سائلةٌ؛ فإنّ تركيزَهُ يبقى ثابتًا، فلا يُؤثّر في ثابت الاتّزان؛ لذا لا يكتب في تعبير ثابت الاتّزان الذي يُعبّر عنه على النحو الآتي:

$$K_c = [H_2]^2 [O_2]$$

وكذلك عندما يكون الماء مذيبًا؛ فلا يتم التعبير عنه في ثابت الاتزان.

أبحثُ: في بعض الحالات يكونُ الماءُ في في الحالة السائلة، ويدخل في تعبير ثابت الاتّزان، أبحثُ في مواقعَ إلكترونيّةٍ مناسبةٍ عبرَ شبكة الإنترنت عن هذه الحالات، وأكتب تقريرًا أو أُعدُّ عرضًا تقديميًّا عن الموضوع، وأناقشُهُ معَ معلّمي وزملائي.

✓ أتحقَّق:

أ - أكتبُ تعبيرَ ثابت الاتّزان بدلالة تراكيز المواد لكلّ من التفاعُلات الآتية:

1- $FeO_{(s)} + CO_{(g)} \rightleftharpoons Fe_{(s)} + CO_{2(g)}$

2- $ZnCO_{3(s)} \rightleftharpoons ZnO_{(s)} + CO_{2(g)}$

3- $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons 2CrO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2H^+_{(aq)}$

ب- أكتبُ تعبير ثابت الاتّزان بدلالة الضغط الجزئي للغازات في كلٍّ من التفاعُلات الآتية:

1- $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$

2- $2AsH_{3(g)} \rightleftharpoons 2As_{(s)} + 3H_{2(g)}$

3- $CuO_{(s)} + H_{2(g)} \rightleftharpoons Cu_{(l)} + H_2O_{(g)}$

الحساباتُ المُتعلّقة بثابت الاتّزان:
Calculations Related to Equilibrium Constant

يستخدم قانون فعل الكتلة في تطبيقات صناعية واسعة لوصف حالة الاتّزان في الأنظمة الكيميائية المُتّزنة في المحاليل والتفاعُلات الغازية، وقد عرفنا في ما سبق أن نسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المُتفاعلة التي يُعبّر عنها ثابت الاتّزان K_c عند درجة حرارة معينة تبقى ثابتةً مهما اختلفت تراكيزُ المواد المستخدمة في التفاعُلِ، ويوضّحُ الجدول (1) قيم ثابت الاتّزان لتفاعُل إنتاج الأمونيا في تجارب عدّةٍ أُجريت عند درجة حرارة 500 °C كما في المعادلة:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

يتّضحُ من الجدول أنّ قيمة ثابت الاتّزان لا تتأثر بالتراكيز الابتدائية للمواد في التفاعُلِ، لكنها تعتمد عمليًّا على تراكيز المواد في وعاء التفاعُل عند الاتّزان. وسوف نتعرف في ما يأتي كيفيّة حساب ثابت الاتّزان، وحساب تراكيز الموادّ في التفاعُلِ عند وصولِهِ إلى حالة الاتّزان.

الجدول (1): قيمُ ثابت الاتّزان لتفاعُل الأمونيا في تجارب عدّةٍ عند درجة حرارة 500 °C.

التجربة	التركيزُ الابتدائي (بوحدة M)	التركيزُ عند الاتّزان (بوحدة M)	ثابتُ الاتّزان
1	$[N_2]_\circ = 1$ $[H_2]_\circ = 1$ $[NH_3]_\circ = 0$	$[N_2] = 0.921$ $[H_2] = 0.763$ $[NH_3] = 0.157$	$K_c = 6.02 \times 10^{-2}$
2	$[N_2]_\circ = 0$ $[H_2]_\circ = 0$ $[NH_3]_\circ = 1$	$[N_2] = 0.399$ $[H_2] = 1.197$ $[NH_3] = 0.203$	$K_c = 6.02 \times 10^{-2}$
3	$[N_2]_\circ = 2$ $[H_2]_\circ = 1$ $[NH_3]_\circ = 3$	$[N_2] = 2.59$ $[H_2] = 2.77$ $[NH_3] = 1.82$	$K_c = 6.02 \times 10^{-2}$

حسابُ ثابت الاتّزان Calculating Equilibrium Constant

يُستخدم تعبيرُ ثابت الاتّزان K_c في حساب قيمة ثابت الاتّزان للتفاعُلات التي تحدث في أوعية مغلقة لا تسمح بخروج أي من المواد المُتفاعلة أو الناتجة أو دخولها أثناء التفاعُل، ويستخدم في حسابِ تراكيز المواد عند وصول التفاعُل إلى حالة الاتّزان، ويتّخذُ ثابت الاتّزان وحدة تعتمدُ تراكيز الموادّ عند الاتّزان ومعاملاتها في المعادلة الموزونة، وفي هذا الدرس سوف نهمل وحدة ثابت الاتّزان. والأمثلة الآتية توضح كيفية حساب ثابت الاتّزان:

المثال 1

يُصنَع غاز الميثان وفقَ المعادلة الآتية:

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

أحسبُ ثابت الاتّزان إذا احتوى وعاءٌ حجمُه 2 L على 0.6 mol من CO، و 0.2 mol من H_2، و 0.12 mol من CH_4، و 0.04 mol من H_2O عند الاتّزان.

تحليلُ السؤال (المعطيات):

عددُ مولاتِ $CO = 0.6\ mol$ ، عدد مولاتِ $H_2 = 0.2\ mol$

عددُ مولاتِ $CH_4 = 0.12\ mol$ ، عدد مولاتِ $H_2O = 0.04\ mol$

حجمُ خليط الغازات = 2L

المطلوب: حساب ثابت الاتّزان K_c

الحلُّ:

أحسبُ التركيز المولاري لكلّ غاز في وعاء التفاعُل كما يأتي:

$$M_{(CO)} = \frac{n}{V} = \frac{0.6}{2} = 0.3M$$

$$M_{(H_2)} = \frac{n}{V} = \frac{0.2}{2} = 0.1M$$

$$M_{(CH_4)} = \frac{n}{V} = \frac{0.12}{2} = 0.06M$$

$$M_{(H_2O)} = \frac{n}{V} = \frac{0.04}{2} = 0.02M$$

$$K_c = \frac{[CH_4]\ [H_2O]}{[CO]\ [H_2]^3}$$

$$K_c = \frac{0.06 \times 0.02}{0.3 \times (0.1)^3} = 4$$

المثال 2

يتحلّلُ غازُ يوديدِ الهيدروجين HI، وينتَجُ خليطٌ من غازِ الهيدروجين H_2 وبخارِ اليودِ I_2 كما في المعادلة الآتية:

$$2HI_{(g)} \rightleftharpoons H_{2(g)} + I_{2(g)}$$

ويمكنُ تحديدُ كميّةِ اليود I_2 في الخليط الغازيِّ الناتجِ من شدّةِ اللون البنفسجيِّ لبخارِ اليود I_2؛ فكُلّما زاد تركيزُ بخارِ اليود في الوعاءِ زادت شدّةُ اللّون، فاذا أُدخلَ 4 mol من يوديدِ الهيدروجين HI إلى وعاءٍ حجمُه 5 L عند درجة حرارة 485 °C؛ نجد أنَّ الوعاءَ عندَ الاتّزانِ يحتوي 0.442 mol من بخارِ اليود I_2.

أحسبُ ثابتَ الاتّزانِ للتفاعُل عندَ درجةِ الحرارة هذه.

تحليل السؤال(المعطيات):

عندَ البدايةِ: عددُ مولات HI = 4 mol

عندَ الاتّزانِ: عددُ مولات I_2 = 0.442 mol

حجمُ خليطِ الغازات = 5 L

المطلوبُ: حسابُ ثابتِ الاتّزان K_c

الحلُّ:

أحسبُ تراكيزَ HI عندَ البداية:

$$[HI] = \frac{n_{HI}}{V} = \frac{4\ mol}{5\ L} = 0.8\ M$$

أحسبُ تراكيزَ I_2 عندَ الاتّزان:

$$[I_2] = \frac{n_{I_2}}{V} = \frac{0.442\ mol}{5\ L} = 0.0884\ M$$

أحسبُ تراكيزَ جميعِ الموادّ عندَ الاتّزانِ كما يأتي:

	$2HI_{(g)}$	$\rightleftharpoons$	$H_{2(g)}$	+	$I_{2(g)}$
التراكيز عند بداية التفاعُل:	0.8 M		0		0
التغيُّرات التي تطرأ على التراكيز:	-2x		+x		+x
التراكيز عند الاتّزان:	(0.8 - 2x)		(x)		0.0884

يتّضحُ من المعادلةِ أنّ:

$$[H_2] = [I_2] = 0.0884\ M$$

$$[HI] = 0.8\text{-}2x = 0.8 - 0.1768 = 0.623$$

الآن؛ يمكنُ حسابُ ثابتِ الاتّزان كما يأتي:

$$K_c = \frac{[H_2][I_2]}{[HI]_2} = \frac{0.0884 \times 0.0884}{0.623^2} = \frac{0.0078}{0.388} = 0.02$$

المثال 3

يتكوّنُ غاز كلوريد النيتروزيل NOCl من تفاعُلِ أكسيد النيتروجين NO مع الكلور Cl_2 كما في المعادلة:

$$2NO_{(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 2NOCl_{(g)}$$

أحسبُ ثابت الاتّزان؛ إذا كانت الضغوط الجزئية للغازات في وعاء التفاعُل عند الاتّزان كما يأتي:

$P_{(NO)} = 0.05$ atm, $P_{(Cl_2)} = 0.3$ atm, $P_{(NOCl)} = 1.2$ atm,

تحليل السؤال (المعطيات):

الضغوط الجزئية للغازات.

$P_{(NO)} = 0.05$ atm, $P_{(Cl_2)} = 0.3$ atm, $P_{(NOCl)} = 1.2$ atm,

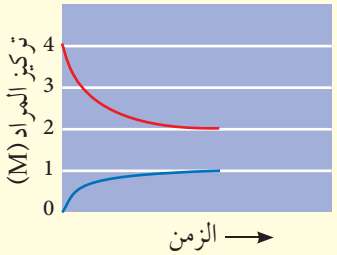
المطلوب: حساب ثابت الاتّزان بدلالة الضغوط الجزئية للغازات K_p

الحلُّ:

$$K_p = \frac{(p_{(NOCl)})^2}{(p_{(NO)})^2 \ (p_{Cl_2})}$$

$$K_p = \frac{(1.2)^2}{(0.05)^2 \ (0.3)} = \frac{1.44}{0.00075} = 1920$$

أفكّر: يبيّنُ الشكل النتائج التجريبية لإحدى التجارب، ويمثّلُ أحد المنحنيين المادة A، ويمثّلُ الآخر المادة B، أحسبُ ثابت الاتّزان.



أتحقَّق:

أحسبُ ثابت الاتّزان لتحلُّل غاز الفوسجين $COCl_2$ في وعاء مغلق حجمه 0.4 L كما في المعادلة الآتية:

$$COCl_{2(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + Cl_{2(g)}$$

إذا كان عدد مولاتِ الغازات في وعاء التفاعُل عند الاتّزان كما يأتي:

$CO = 0.071$ mol , $Cl_2 = 0.071$ mol , $COCl_2 = 3$ mol

حسابُ تراكيز المواد عند الاتّزان:
Calculating Equilibrium Concentrations

يرافقُ حدوث التفاعُلاتِ الكيميائية تغيُّرات في تراكيز المواد المُتفاعلة والناتجة إلى حينِ وصول التفاعُلِ إلى حالة الاتّزان، وتعتمد هذه التغيُّرات على النسب المولية للمواد في المعادلة الموزونة، ويمكنُ حساب تراكيز المواد في التفاعُلِ عند الاتّزان باستخدام ثابت الاتّزان، والأمثلة الآتية توضح ذلك:

المثال 4

يتفاعُل غاز أول أكسيد الكربون CO مع بخار الماء لإنتاج ثاني أكسيد الكربون CO_2 والهيدروجين H_2 كما في المعادلة الآتية:

$$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)}$$

فإذا أُدخِل 1mol من جميع هذه الغازات إلى وعاءٍ حجمه 1 L، وكان ثابت الاتّزان عند 700 K يساوي 5.10؛ أحسبُ تراكيز كلّ من هذه الغازات عند الاتّزان.

تحليل السؤال(المعطيات):

حجم الوعاء= 1 L

عدد مولاتِ الغازات الابتدائي= 1 mol

ثابت الاتّزان K_c = 5.10

المطلوب: حسابُ تراكيز الغازات جميعها عند الاتّزان.

الحلُّ:

أحسبُ -أولًا- التركيز الابتدائي لكلّ غاز، وحيث إنَّ عدد مولاتِ الغازات جميعها متساوية ونسبها في المعادلة الموزونة متساوية فإنّ:

$$[CO]_\circ = [H_2O]_\circ = [CO_2]_\circ = [H_2]_\circ = \frac{n}{V} = \frac{1}{1} = 1M$$

وهذا يعني أنه عندما ينقص تركيز CO بمقدار x؛ فإنّ تركيز H_2O ينقص بمقدار x، وتزداد تراكيز المواد الناتجة بالمقدار x نفسه، ويمكن تنظيم التغيُّرات التي تطرأ على تراكيز الموادّ على النحو الآتي:

$$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)}$$

التراكيز عند بداية التفاعُل:	1M	1M	1M	1M
التغيُّرات التي تطرأ على التراكيز:	-x	-x	+x	+x
التراكيز عند الاتّزان:	(1- x)	(1- x)	(1+ x)	(1+ x)

والآن؛ أطبق ثابت الاتّزان كما يأتي:

$$K_c = 5.1 = \frac{(1+x)}{(1-x)}\frac{(1+x)}{(1-x)} = \frac{(1+x)^2}{(1-x)^2}$$

وبأخذ جذر الطرفين أحصل على ما يلي:

$$\sqrt{5.1} = 2.26 = \frac{(1+x)}{(1-x)}$$

ومنها أجد أن:

$$2.26(1-x) = 1+x$$

ومنها أجد:

$$x = 0.387$$

أحصل على تراكيز الغازات عند الاتّزان بتعويض قيمة x كما يأتي:

$$[CO] = [H_2O] = 1 - x = 1- 0.387 = 0.613\ M$$

$$[CO_2] = [H_2] = 1 + x = 1 + 0.387 = 1.387\ M$$

الربط مع الرياضيات **حل المعادلة التربيعية**

تستخدم المعادلة التربيعية كثيرًا في مجال الحسابات الكيميائية كحسابات ثابت الاتّزان، وقد طور الخوارزمي مجموعة من الصيغ التي تُلائم الحلول الموجبة للمعادلة التربيعية، حيث تكتب المعادلة التربيعية في الرياضيات على النحو الآتي: $ax^2 + bx + c$

ويمكن حلُّها وإيجاد قيمة المتغير x بطرق عدّةٍ منها استخدام القانون العام على النحو الآتي:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

المثال 5

يتفاعل غاز الهيدروجين H_2 مع بخار اليود I_2 لتكوين غاز يوديد الهيدروجين HI كما في المعادلة:

$$H_{2\,(g)} + I_{2\,(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

إذا أُدخل 1 mol H_2 و 2 mol I_2 إلى وعاءٍ حجمه 1 L، وسخن الخليط إلى درجة حرارة 458 °C لكي يصل إلى الاتّزان، فكانت قيمة ثابت الاتّزان عندها تساوي 50؛ أحسبُ تراكيز الغازات كلّها عند الاتّزان.

تحليل السؤال(المعطيات):

حجم الوعاء= 1L

عدد مولاتِ H_2 الابتدائي= 1 mol

عدد مولاتِ I_2 الابتدائي= 2 mol

عدد مولاتِ HI الابتدائي= 0 mol

ثابت الاتّزان K_c = 50

المطلوب: حساب تراكيز الغازات جميعها عند الاتّزان.

الحلُّ:

أحسبُ -أولًا- التركيزَ الابتدائي لكلّ غازٍ كما يأتي:

$$[H_2]^\circ = \frac{n}{V} = \frac{1}{1} = 1M$$

$$[I_2]^\circ = \frac{n}{V} = \frac{2}{1} = 2M$$

أُنظّم التغيُّرات التي تطرأ على تراكيز المواد على النحو الآتي:

	$H_{2\,(g)}$	+	$I_{2\,(g)}$	$\rightleftharpoons$	$2HI_{(g)}$
التراكيز عند بداية التفاعُل:	1M		2M		0
التغيُّرات التي تطرأ على التراكيز:	-x		-x		+2x
التراكيز عند الاتّزان:	(1- x)		(2- x)		2x

أطبق قانون ثابت الاتّزان:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{([H_2]\ \ [I_2])}$$

أُعوِّضُ عن ثابت الاتّزان وتراكيز المواد عند الاتّزان كما يأتي:

$$50 = \frac{(2x)^2}{(1 - x)\ (2 - x)}$$

$$(1 - x)\ \ (2 - x) = \frac{4x^2}{50} = 0.08\ x^2$$

$$x^2 - 3x + 2 = 0.08x^2$$

$$0.92x^2 - 3x + 2 = 0$$

أحلُّ المعادلة فأجد أنّ x لها قيمتين:

$$x\ =\ 2.32\ ,\ \ x = 0.935$$

فتكون القيمة المقبولة: $x = 0.935$

وبهذا تكون تراكيز الغازات عند الاتّزان كما يأتي:

$[H_2] = 1 - 0.935 = 0.065\ M$

$[I_2] = 2 - 0.935 = 1.065\ M$

$[HI] = 2x = 2 \times 0.935 = 1.87\ M$

أتحقَّق:

1- أحسبُ تراكيز المواد عند الاتّزان لتفكُّك PCl_5 عند درجة حرارة 760 °C، فإذا أُدخل 1 mol PCl_5 إلى وعاء حجمه 2L، وتُرك ليتفكّك كما في المعادلة الآتية :

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

علمًا أن ثابت الاتّزان K_c يُساوي (5).

2- أجرى مجموعة من الطلبة تجربة لإنتاج فلوريد الهيدروجين HF؛ إذْ أدخل 3 mol H_2 و 6 mol F_2 إلى وعاء حجمه 3 L، وتركت لتتفاعل كما في المعادلة الآتية:

$$H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightleftharpoons 2HF_{(g)}$$

أحسبُ تراكيز المواد عند الاتّزان؛ علمًا أن ثابت الاتّزان K_c يُساوي (115).

أستخدِمُ برنامجَ صانع الأفلام Movie Maker؛ أو استخدم كاميرا رقمية، وأُعدُّ فيلمًا أشرحُ فيه كيفية حساب تراكيز الموادّ المختلفة في التفاعُلِ عند الاتّزان، ثمّ أعرضه أمام زملائي، أو أُشاركهم إيّاه باستخدام مواقع التواصل الاجتماعيّ مثل (whats app) أو صفحة المدرسة على(facebook).

ثابت الاتّزان لمحاليل الحموض الضعيفة:

Equilibrium Constant for Weak Acid Solutions

تتأيَّن الحموض الضعيفة Weak Acids جزئيًّا في الماء منتجة أيون الهيدروجين H^+ وأيونًا آخر سالبًا، فإذا رمزنا للحمض الضعيف بشكلٍ عامٍّ HA، فإنّه يتأيَّن كما في المعادلةِ الآتية:

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

ونظرًا لصغرِ حجم أيونِ الهيدروجين وكثافة الشحنة الموجبة عليه؛ فإنّه يصعب أن يتواجد منفردًا في المحلول فيرتبط بجزيء الماء مكوّنًا ما يُسمى **أيون الهيدرونيوم Hydronium Ion** (H_3O^+)، ولذلك يمكنُ إعادة كتابة معادلةِ تأيُّن الحمض على النحو الآتي:

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

يحتوي محلول الحمض الضعيف تراكيز متّزنة من جزيئات الحمض غير المُتأيِّنة HA والأيونات الناتجة عنه (H_3O^+ , A^-)، ويكون موضِع الاتّزان للحموض الضعيفة جميعها مُزاحًا جهة اليسار، ما يعني أنّ تراكيز الأيونات الناتجة صغيرة جدًّا مُقارنة بتركيز الحمض غير المُتأيِّن، ويُعبّر عن ثابت الاتّزان للمحلول على النحو الآتي:

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

ونظرًا لأن تركيز الماء يبقى ثابتًا في المحلول؛ فإنّه يُدمَجُ في ثابت الاتّزان ليُنتج ثابتًا جديدًا يسمى **ثابت تأيُّن الحمض Acid Dissociation Constant** (K_a)، وهو ثابت الاتّزان لتأيُّن الحمض الضعيف في الماء، ويُعبّر عنه على النحو الآتي:

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

وقد وجد عمليًّا؛ أن تركيز الهيدرونيوم $[H_3O^+]$ في المحلول يكون مساويًا لتركيز الأيون السالب $[A^-]$،ويمكن التعبير عن ثابت تأيُّن الحمض كما يأتي:

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

وعلى سبيل المثال؛ يتأيّن الحمضُ الضعيف HF في الماء على النحو الآتي:

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

ويُعبّر عن ثابت تأيُّن الحمض HF كما يأتي:

$$K_a = \frac{[H_3O^+]\ \ [F^-]}{[HF]}$$

تتفاوت قدرة الحموض الضعيفة على التأيُّن، ويُعدُّ ثابت تأيُّنها مقياسًا كميًّا لمدى تأيُّنها، ويُبيّن الجدول (2) قيم ثابت التأيُّن لعدد من الحموض عند درجة حرارة 25°C.

يُستفاد من ثابت تأيُّن الحمض في مقارنة قوة الحموض وقدرتها على التأيُّن، وكذلك حساب تركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+، وحساب الرقم الهيدروجيني pH للمحلول، وهذا ما ستتعرّفهُ في السنة الدراسيّة القادمة.

أتحقَّق:

1- أكتبُ معادلة تأيُّن كلّ من HCN , CH_3COOH

2- أُعبّرُ عن ثابت التأيُّن لكلّ منهما.

الجدول (2) قيم ثابت التأيُّن لعدد من الحموض الضعيفة

الحمض	معادلة تأيُّن الحمض الضعيف	ثابت تأيُّن الحموض K_a
الهيدروفلوريك	$HF_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$	5.6×10^{-4}
الإيثانويك	$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$	1.8×10^{-5}
الهيبوكلوروز	$HClO_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + ClO^-_{(aq)}$	3×10^{-8}
الهيدروسيانيك	$HCN_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$	6.2×10^{-10}

ثابت الاتّزان لمحاليل القواعد الضعيفة:

Equilibrium Constant for Weak Bases Solutions

تتأيّن **القواعد الضعيفة** **Weak Bases** في الماء جُزئيًّا، وينتج عن ذلك أيون الهيدروكسيد (OH^-) وأيون آخر موجب، فمثلًا تتأيَّن الأمونيا NH_3 في الماء وفقَ المعادلة الآتية:

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

تكون تراكيز الأيونات الناتجة (OH^-, NH_4^+) وجزيئات القاعدة غير المتأيِّنة NH_3 في حالة اتّزان، ويُعبّر عن ثابت الاتّزان كما في المعادلة الآتية:

$$K_c = \frac{[NH_4^+]\ [OH^-]}{[NH_3]\ [H_2O]}$$

وبدمج تركيز الماء بثابت الاتّزان K_c؛ ينتجُ ثابتٌ جديد يُسمّى **ثابت تأيُّن القاعدة** **Base Dissociation Constant** (K_b)، وهو ما يُعبّر عن ثابت الاتّزان في محلول القاعدة الضعيفة،

$$K_c\,[H_2O] = K_b = \frac{[NH_4^+]\ [OH^-]}{[NH_3]}$$

بهذا يمكنُ التعبير عن ثابت تأيُّن القاعدة كما يأتي:

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

ينطبق ذلك على جميع القواعد الضعيفة، إذْ يُعدُّ ثابت تأيُّن القاعدة مقياسًا كمِّيًّا لمدى تأيُّن القاعدة الضعيفة، ويبيّنُ الجدول (3) قيم ثابت التأيُّن لعدد من القواعد الضعيفة عند درجة حرارة 25 °C.

أبحثُ: يُعبّر ثابت الاتّزان K_c عن نسبة تراكيز الغازات في وعاء التفاعل عند الاتّزان، كما يُعبّر ثابت الاتّزان k_p عن نسبة الضغوط الجزئية للغازات في وعاء التفاعل عند الاتّزان، أرجعُ إلى مواقعَ إلكترونيّة مناسبة عبرَ شبكة الإنترنت، وأبحثُ عن العلاقة بين K_c و K_p، وأكتب تقريرًا أو أُصمّمُ عرضًا تقديميًّا حولَ الموضوع، وأناقشُهُ معَ زملائي ومعلّمي.

الجدول (3) قيم ثابت التأيُّن لعدد من القواعد الضعيفة

القاعدة	معادلة تأيُّن القاعدة الضعيفة	ثابت تأيُّن القاعدة K_b
إيثيل أمين	$CH_3CH_2NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3CH_2NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	5.6×10^{-4}
ميثيل أمين	$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	4.4×10^{-4}
الأمونيا	$NH_{3\ (aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	1.8×10^{-5}
الهيدرازين	$N_2H_{4\ (aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons N_2H_5^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	1.3×10^{-6}

يستخدمُ ثابت تأيُّن القاعدة في مقارنـةِ قـوة القواعد وقدرتها على التأيُّن، وحساب تركيز أيون الهيدروكسيد OH^- وحساب الرقم الهيدروجيني pH للمحلول، وهو ما ستعرفه في السنة الدراسيّة القادمة.

أتحقَّق:

1 – أكتبُ معادلةَ تأيُّن كُلٍّ من $CH_3CH_2NH_2$, N_2H_4

2 – أعبّرُ عن ثابت التأيُّن لكلّ منهما.

مراجعةُ الدرس

1 - **أُفسّر** دلالة ثابت الاتّزان للتفاعُل الكيميائي.

2 - **أوضّحُ** المقصود بكلّ مما يلي:

- قانون فعل الكتلة
- الاتّزان المتجانس
- ثابت تأيُّن الحمض الضعيف.

3 - أكتبُ تعبير ثابت الاتّزان بدلالة تراكيز المواد لكلّ من التفاعُلات الآتية:

أ. $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightleftharpoons 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(g)}$

ب. $BaSO_{4(s)} \rightleftharpoons Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$

جـ. $Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$

د. $CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

هـ. $HClO_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons ClO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

4 - **أُطبّق:** أُدخلَ 0.65 mol من غاز N_2O_4 إلى وعاء حجمه 0.5 L، وتركَ ليتفكّك كما في المعادلة الآتية:

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

أحسبُ ثابت الاتّزان، إذْ وُجدَ أنّ الوعاء يحتوي على 0.5 mol من NO_2 عند الاتّزان.

5 - **أُطبّق:** أُدخل 2mol من كلّ من الأكسجين والنيتروجين إلى وعاءحجمه 1 L لتتفاعَل معًا وفقَ المعادلة الآتية:

$$N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$$

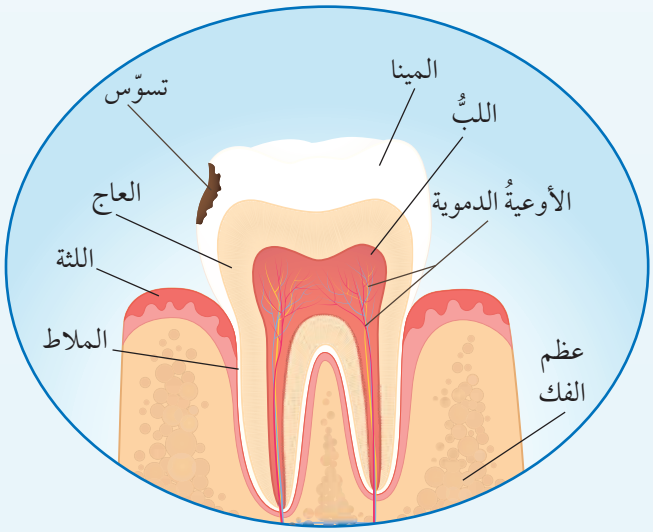
وقد وُجد أن ثابت الاتّزان للتّفاعُل عند درجة حرارة 150 K يُساوي 1×10^{-5}؛ أحسبُ تراكيز المواد عند وصول التفاعُل إلى حالة الاتّزان.

حماية الأسنان من التآكلّ

يُغطّي السنُّ طبقةً خارجيّةً صلبةً تُسمى المينا، وتتكوّنُ من نسبة عالية من المعادن؛ إذْ يُشكّل معدن هيدروكسي أباتيت Hydroxyapatite ($Ca_5(PO_4)_3OH$) النسبة الكبرى من هذه المعادن، وتمتازُ هذه المادة بأنها قليلة الذوبان، ورغم ذلك فهي عُرضة إلى الذوبان وإعادة التكوين اعتمادًا على حمضيةِ السائل الموجود في الفم أو قاعِديّته، وتركيز الموادّ المختلفة فيه، وتُسمّى عملية إذابة المعادن المكونة للأسنان إزالة المعدن Demineralization؛ بينما تُسمّى إعادة تكوينها عملية بناءِ المعدن Remineralization. تتآكلُ الأسنان وتصاب بالتسوس نتيجة ذوبان معدن هيدروكسي أباتيت المُكوّن للمينا كما في المعادلة الآتية:

$$Ca_5(PO_4)_3OH_{(s)} \rightleftharpoons 5Ca^{2+}_{(aq)} + 3PO_4^{3-}{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وعند تناول السُكريات تتخمّرُ بقاياها في الفم، وينتج حمض اللاكتيك $C_2H_4OHCOOH$، ويتأيّن في الفم منتجًا أيونات الهيدروجين (H^+) التي تتفاعُل مع أيونات (OH^-) وأيونات PO_4^{3-}، وتستهلكهما ويقل تركيزُهما، ممّا يسبب إزاحة موضع الاتّزان جهة اليمين نحو تكوين المواد الناتجة؛ فيزيد من تفكُّك معدن هيدروكسي أباتيت، ويزداد معدل إزالة المعدن، وتآكلّ طبقة المينا.



وللتقليل من معدل تآكلّ الأسنان وحمايتها؛ تُستخدم مُركّبات الفلور مثل فلوريد الصوديوم، وفلوريد الخارصين، وغيرها في صناعة معجون الأسنان التي تُنتج أيوناتِ الفلوريد F^- التي تحلُّ محلّ أيون الهيدروكسيد (OH^-) في معدن الهيدروكسي أباتيت، وينتج معدن الفلورو أباتيت $Ca_5(PO_4)_3F$، ويدخلُ في تكوين مينا الأسنان.

أبحث تدخل مُركّباتٌ كيميائية متنوعة في صناعة معاجين الأسنان، وتُساعد على إصلاح الأسنان ووقايتها من التسوس وبخاصة عند الأطفال، أرجع إلى مواقعَ إلكترونيّةٍ مناسبة عبرَ شبكة الإنترنت، وأبحثُ عن هذه المُركّبات ودورها في معالجة الأسنان ومعالجة تآكُلِها، وأكتب تقريرًا أو أُعدُّ عرضًا تقديميًّا عن الموضوع، وأناقشُهُ معَ زملائي ومعلّمي.

1 . **أوضّحُ** المقصود بكلّ مما يأتي:

- التفاعُلات غير المنعكسة
- اتّزان ديناميكي
- ثابت الاتّزان
- الاتّزان غير المتجانس
- ثابت تأيُّن القاعدة الضعيف.

2 . **أوضّحُ**: يتفاعُل ثأني أكسيد الكبريت SO_2 مع الكلور Cl_2 وفقَ المعادلة الآتية

$$SO_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons SO_2Cl_{2(g)} + Heat$$

أوضّحُ أثر التغيُّرات الآتية على موضع الاتّزان:

أ – زيادة تركيز Cl_2

ب – سحب SO_2Cl_2 من الوعاء

جـ – تقليلُ كمية SO_2 في وعاء التفاعُل

3 . **أتوقّعُ** أثرَ خفض درجة الحرارة على موضع الاتّزان للتفاعُلين المُتّزنينِ الآتيين:

أ – $C_2H_{4(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons C_2H_5OH_{(g)}$ $\quad \Delta H = -46\ kJ$

ب – $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ $\quad \Delta H = +90\ kJ$

4 . **أتوقّعُ** التفاعُل الذي يُنتج أكبر كمية من الموادّ عند زيادة الضغط الكلّي المؤثر في وعاء التفاعُل بين التفاعُلات الآتية:

أ – $PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$

ب – $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

جـ – $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$

د – $CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + 3H_{2(g)}$

5 . **أتنبّأُ** بموضع الاتّزان عند تقليلِ حجم الوعاء في العمليات الآتية مُبرّرًا تنبُّؤاتي:

أ – تَحلُّل المُركّب SO_2Cl_2 كما في المعادلة:

$$SO_2Cl_{2(g)} \rightleftharpoons SO_{2(g)} + Cl_{2(g)}$$

ب – تحضير الميثانول كما في التفاعُلِ المُتّزن الآتي:

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)}$$

جـ – تفاعُل ثلاثي كلوريد الفسفور PCl_3 مع الأمونيا كما في المعادلة الآتية:

$$PCl_{3(g)} + 3NH_{3(g)} \rightleftharpoons P(NH_2)_{3(g)} + 3HCl_{(g)}$$

6 . **أطبّق** أكتبُ تعبيرَ ثابت الاتّزان K_c لكلٍّ من التفاعُلات الآتية:

أ – $CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$

ب – $2N_2O_{5(g)} \rightleftharpoons 2N_2O_{4(g)} + O_{2(g)}$

جـ – $[Cu(H_2O)_4]^{2+}_{(aq)} + 4NH_{3(aq)} \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$

د – $HNO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NO_2^-{}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

هـ – $C_5H_5N_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_5H_5NH^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

7 . **أُفسّر:**

أ – لا يتأثّرُ موضع الاتّزان عند تغيير الضغط الكلّي في وعاء التفاعُل عند الاتّزان للتفاعُل الآتي:

$$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)}$$

ب – يمكن زيادة كمية الناتج SCN^- بترسيب أيونات الحديد Fe^{3+} من المحلول في التفاعُلِ المُتّزن الآتي:

$$FeSCN^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Fe^{3+}_{(aq)} + SCN^-_{(aq)}$$

8 . **أحلّلُ البيانات وأُفسّرها:** يُبيّن الجدول الآتي نتائج دراسة ثابت الاتّزان لتفاعُلٍ ما عند درجات حرارة مختلفة، هل التفاعُل ماصٌّ للحرارةِ أم طارد لها؟

درجة الحرارة بوحدة الكلفن	ثابت الاتّزان
208	4.9×10^{27}
800	1.38×10^{5}
1000	2.54×10^{2}

9 . تُحضّر الأمونيا NH_3 بتسخين مزيجٍ من غاز النيتروجين N_2 وغاز الهيدروجين H_2 عند ضغط مُعيّن، كما في المعادلة الآتية: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

ضُغِطت كميةٌ من غازي النيتروجين والهيدروجين إلى وعاء حجمه 10 L، وسُخّنت إلى درجة حرارة 350 °C؛ ليصل التفاعُل إلى حالة الاتّزان، حيث وُجد أن عدد مولاتِ النيتروجين والهيدروجين والأمونيا عند الاتّزان تساوي: 4.25 , 5.75 , 1.5 على الترتيب.

أ – **أحسبُ** ثابت الاتّزان للتفاعُل عند 350 °C

ب – **أقارنُ** هذه النتيجة بقيم ثابت الاتّزان في الجدول رقم (1)، وأُبرّرُ هذا الاختلاف.

10. وُجد أن ثابت الاتّزان للتفاعُل الآتي يساوي $K_c = 4 \times 10^{13}$ عند درجة 25°C

$$2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$$

أ – **أتوقّعُ** الموادّ المُتوافرة بكمية أكبر في وعاء التفاعُل عند الاتّزان.

ب – **أحسبُ** تركيز NO_2 عندما يكون $[NO] = [O_2] = 2 \times 10^{-6}\,M$

11. **أطبّقُ:** يحدث التفاعُل الآتي في وعاء مغلق حجمه 1 L

$$NO_{2(g)} + SO_{2(g)} \rightleftharpoons NO_{(g)} + SO_{3(g)}$$

أدخل 0.8 mol من الغازات الأربعة إلى وعاء التفاعُل عند درجة حرارة مُعينّة فوُجدَ أن ثابت الاتّزان للتفاعُل عند درجة الحرارة نفسها يساوي 3.75، أحسبُ تراكيز هذه الغازات عند الاتّزان.

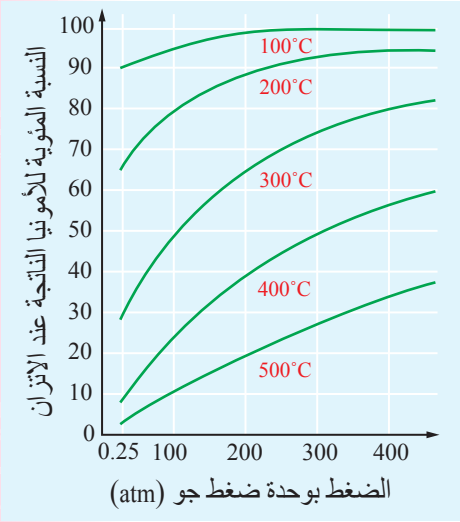
12. **أطبّقُ**. يتحلّل غاز بروميد اليود IBr وفقَ المعادلة الآتية:

$$2IBr_{(g)} \rightleftharpoons I_{2(g)} + Br_{2(g)}$$

إحدى التجارب جرى فيها تحليل 0.1 mol من بروميد اليود في وعاء حجمه 1 L عند درجة حرارة 100 °C، وكان ثابت الاتّزان يساوي 0.026، أحسبُ تراكيز المواد عند وصول التفاعُل إلى حالة الاتّزان.

13. **أحلِّلُ النتائج وأُفسّرها**: تُصنّعُ الأمونيا بتسخين مزيج من غازي النيتروجين والهيدروجين بوجود عاملٍ مساعد من معدن المغنتيت الصُّلب، كما في المعادلة الآتية:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} \qquad \Delta H = -92\ kJ$$



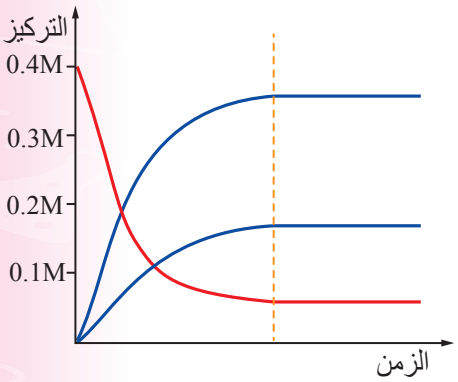
ويُبيّن الشكل المجاور نسبة الأمونيا الناتجة عند ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة، أدرس المنحنى وأجيبُ عن الأسئلة الآتية:

أ – **أُفسّرُ**: أستخدم مبدأ لوتشاتلييه لتفسير أثر زيادة درجة الحرارة على نسبة الأمونيا الناتجة.

ب – **أُفسّر**: أستخدم مبدأ لوتشاتلييه لتفسير أثر زيادة الضغط على نسبة الأمونيا الناتجة.

جـ – أكتبُ تعبيرَ ثابتِ الاتّزان للتفاعُل باستخدام تراكيز المواد، وكذلك باستخدام الضغوط الجزئية للغازات.

14. **أحلِّلُ النتائج**. يُبيّن الشكل المجاور النتائج التجريبية لخليط من الغازات (SO_3, SO_2, O_2) عند الاتّزان، أدرس الشكل وأجيب عن الأسئلة الآتية:



أ – أُحدّدُ المنحنى الذي يُمثّل الموادّ المُتفاعلة والمنحنى الذي يُمثّل الموادّ الناتجة.

ب – أكتبُ معادلة التفاعُل الموزونة.

جـ – **أحسبُ** ثابت الاتّزان للتفاعُل في ضوء هذه النتائج.

15. تغطي الأسنانَ طبقةٌ من المعادن تُسمّى طبقة المينا؛ تعمل على حماية الأسنان من التآكل.

أ – أُسمّي المعدن الأساسي التي تتكون منه هذه الطبقة.

ب – **أوضّحُ** عملية إزالة المعدن وأكتبُ معادلة كيميائية تُبيّن ذلك.

جـ – أُسمّي المادة المستخدمة في إعادة بناء المعدن.

د – **أوضّحُ** كيفيّة بناء المعدن في الأسنان.

16. **أختارُ الإجابة الصحيحة لكلّ فقرة في ما يأتي:**

1) أحدّدُ التفاعُل الذي يُنتج كمية أكبر من النواتج عند زيادة الضغط المُؤثّر على وعاء التفاعُل:

أ – $I_{2(g)} + Br_{2(g)} \rightleftharpoons 2IBr_{(g)}$

ب – $2NH_{3(g)} \rightleftharpoons N_{2(g)} + 3H_{2(g)}$

جـ – $2NO_{(g)} + Br_{2(g)} \rightleftharpoons 2NOBr_{(g)}$

د – $CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + 3H_{2(g)}$

2) يؤدي سحب غاز NH_3 من وعاءِ التفاعُل الآتي إلى:

$$4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightleftharpoons 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(g)}$$

أ – زيادة سرعة التفاعُل الأماميّ

ب – زيادة إنتاج غاز NO

جـ – إزاحة موضع الاتّزان نحو اليمين

د – إزاحة موضع الاتّزان نحو اليسار

3) يُعدُّ تحليل الماء إحدى طرق تحضير الهيدروجين كما في التفاعُلِ الآتي:

$$2H_2O_{(g)} \rightleftharpoons 2H_{2(g)} + O_{2(g)} \qquad \Delta H = +484\ kJ$$

أحدّدُ أيّ الإجراءات الآتية يؤدي إلى زيادة كمية الهيدروجين الناتجة هو:

أ – زيادة درجة الحرارة

ب – خفض درجة الحرارة

جـ – زيادة الضغط المؤثر

د – إضافة كمية من غاز الأكسجين

4) العبارةُ الصحيحةُ في ما يتعلق بالتفاعُل عند الاتّزان في ما يأتي:

أ – تراكيزُ الموادّ الناتجة مساوٍ لتراكيز الموادّ المُتفاعلة.

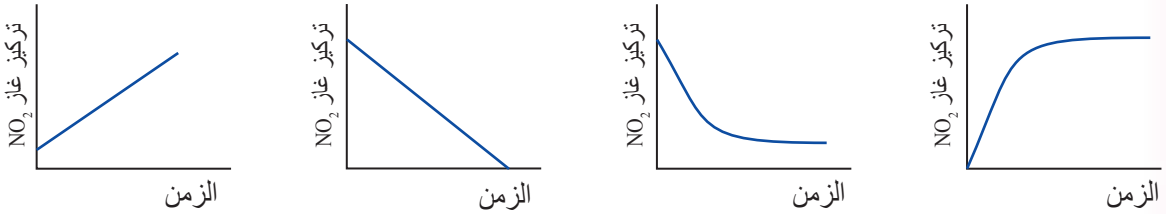
ب – موضع الاتّزان مُزاحٌ نحو تكوين الموادّ المُتفاعلة.

جـ – سرعة التفاعُل الأماميّ مساويةٌ لسرعة التفاعُل العكسي.

د – تعتمد قيمة ثابت الاتّزان على التراكيز الابتدائية للمواد في التفاعُلِ.

5) الشكل الذي يُعبّر عن تغيُّر تركيز NO_2 في أثناء سير التفاعُل والوصول إلى حالة الاتّزان للتفاعُل الآتي هو:

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



الوحدةُ 6

المُركّبات الهيدروكربونية

Hydrocarbons

أتأمَّلُ الصورة

ينتُجُ النفط من تحلُّل بقايا الكائنات الحية، ويُعدُّ أحد أهم مصادر الطاقة والمخزون الرئيس للمُركّبات الهيدروكربونية التي تدخل في الكثير من الصناعات، مثل البلاستيك، والألياف الصناعية، وغيرها من المُركّبات الكيميائية. فما المُركّبات الهيدروكربونية؟ وما خصائصُها؟

الفكرةُ العامّة:

تتكونُ المُركّبات الهيدروكربونية من عنصرَيِ الكربون والهيدروجين.

تختلف أنواعُها باختلاف طبيعة الروابط بين ذرات الكربون، ولها خصائص كيميائية وفيزيائية تختلف باختلاف أنواعها، وتُسمّى المُركّباتِ الهيدروكربونيّةِ حسب نظام التسمية العالمي IUPAC.

الدرسُ الأولُ: المُركّبات الهيدروكربونية المُشبعة.

الفكرةُ الرئيسةُ: تتكون المُركّبات الهيدروكربونية المشبعة من الكربون والهيدروجين فقط، وترتبط فيها ذرات الكربون بأربع روابط أُحاديّة ويُطلَقُ عليها الألكانات، ولها خصائص كيميائية وفيزيائية.

الدرسُ الثاني: المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة.

الفكرةُ الرئيسةُ: تتكون المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة من الكربون والهيدروجين، وترتبط فيها ذرات الكربون برابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين.

بناء المُركّبات الهيدروكربونية

الموادّ والأدوات: مجموعة نماذج الجزيئات (الكراتُ والوصلات).

إرشاداتُ السلامةِ:

- أتّبعُ إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أرتدي المعطفَ والنظارات الواقية والقُفّازات.

خطواتُ العملِ:

1. أختار (5) كراتٍ تحتوي كلّ منها على (4) ثقوب تُمثّل ذرات الكربون.
2. **أُجرّب:** أستخدمُ الوصلاتِ في توصيل الكرات الخمس.
3. **أُطبّق:** أختارُ عددًا من الكرات متشابهةِ اللّون التي تحتوي على ثقب واحد تُمثّل ذرات الهيدروجين، وأصلُها مع ذرات الكربون، وأرسم الشكل الناتج وأكتبُ صيغته الجُزيئيّة.
4. **أُصمم:** أُنموذجًا آخر باستخدام (4) كرات تُمثّل ذرّات الكربون؛ ثم أصِلُها معًا في سلسلة.
   أمّا الكُرة الخامسةُ فأصلها مع إحدى كُرَتَي ذرتي الكربون الموجودة في الوسط، ثم أصِلُ كرات الكربون جميعها بكرات الهيدروجين. وأرسم الشكل الناتج وأكتبُ صيغته الجُزيئيّة.
5. **أُصمّمُ:** نموذجًا أصِلُ به (3) كُراتٍ تُمثّل ذرات الكربون في سلسلة، ثم أصِلُ الكرتين المتبقّيتينِ مع ذرة الكربون التي تقعُ في الوسط، وبعد ذلكَ أصِلُ الكرات التي تُمثّل ذرات الكربون جميعها مع الهيدروجين. وأرسم الشكل الناتج وأكتبُ صيغته الجُزيئيّة.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- **أقارنُ** بين الصيغ الجُزيئيّة للمُركّبات الثلاثة السابقة من حيث عدد ذرات الكربون.

2- **أستنتجُ** العلاقة بين عدد ذرات الكربون وعدد ذرات الهيدروجين.

المُركّبات الهيدروكربونيّة المُشبعة
Saturated Hydrocarbons Compounds

الدرسُ 1

الفكرةُ الرئيسة :

تتكوّنُ المُركّباتُ الهيدروكربونية المشبعة من الكربون والهيدروجين فقط، وترتبط فيها ذرات الكربون بأربعِ روابطَ أُحاديةٍ ويُطلَقُ عليها الألكانات، وتُسمّى وفقَ نظام التسمية العالمي IUPAC، ولها خصائص كيميائية وفيزيائية مُحدّدة.

نتاجاتُ التعلُّمِ :

- أتعرّف إلى الألكانات وأُسميها وفقَ نظام التسمية العالمي IUPAC
- أستنتجُ خصائص الألكانات واستخداماتها في الحياة العملية.

المفاهيمُ والمصطلحات :

مُركّباتٌ عضوية	Organic Compounds
المُركّبات الهيدروكربونية المشبعة	Saturated Hydrocarbons
المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة	Unsaturated Hydrocarbons
ألكاناتٌ	Alkanes
مجموعة الإلكيل	Alkyl Group
التصاوُغُ	Isomerism
المتصاوِغاتُ	Isomers
المتصاوغات البنائية	Structural Isomers
الهلجنة	Halogenation

مقدمةٌ في الكيمياء العضوية
Introduction in Organic Chemistry

لعلك تساءلت يومًا عن ملايين المُركّبات العضوية (Organic Compounds) من حولك؛ ووجدت أن منها الصناعي الذي يُحضّر في المختبرات والمصانع ومنها الطبيعي الذي يوجد في أجسامنا وغذائنا وكثير من الأشياء التي نتعامل بها. أنظرُ الشكل (1) الذي يُمثّل عددًا من الموادّ الغذائية التي تحتوي على مُركّباتٍ عضوية. وقد عرَفَ الكيميائيون -في بداية القرن التاسع عشر- أنّ المخلوقات الحية تنتجُ عددًا هائلًا من مُركّبات الكربون، وأشاروا لها بالمُركّبات العُضويّة لأنها ناتجةٌ عن مخلوقات حيّة (عضوية). وعندما جرى قبول نظرية دالتون فهم الكيميائيون أنّ المُركّبات الكيميائية تتكوّن من ذرات مرتبطة معًا بنِسَبٍ مُحدّدة، ونظرًا لعدم مقدرة الكيميائيين على تحضير المُركّبات العضوية آنذاك؛ اعتقدوا بالخطأِ القائلِ: (أنّ المخلوقاتِ الحيّةَ لها قُوّةٌ حيويّة تُمكّنُها من إنتاج مُركّبات الكربون). وبقيت فكرةُ القُوّة الحيوية سائدةً حتى تمكن العالم الألماني فريدريك فوهلر من دحضِها بتحضير مُركّب عضوي وهو اليوريا (NH_2CONH_2) من مُركّبٍ غير عضوي هو سيانات الأمونيوم NH_4OCN.

الشكلُ (1): مواد غذائية تحتوي مُركّبات عضوية.

يُطلَقُ مصطلح **المُركّبات العضوية Organic Compounds** على المُركّبات التي تتكوّن بشكلٍ رئيسٍ من الكربون باستثناء أكاسيد الكربون والكربيدات والكربونات. ولأهمية المُركّبات العضوية؛ فقد خصّص العلماءُ مجالًا خاصًّا بها من علم الكيمياء سُمّيَ الكيمياء العضويّة.

أطلق الكيميائيون على المُركّبات العضوية اسمَ مُركّبات الكربون؛ وذلك بسبب قدرة ذرة الكربون على تكوينِ أربع روابطَ تساهميّةٍ مع ذرات الكربون الأخرى أو ذرات العناصر المختلفة، ومنها الهيدروجين. وهذا يعطي ذرة الكربون خاصية مميزة وهي قدرتها على تكوين مُركّبات في صورة سلاسل مكونة من ذرتين إلى ملايين الذرات، أو في صورة حلَقات، لذا؛ قد تكون بسيطة أو مُعقّدةَ التركيب.

صنّفَ الكيميائيون المُركّبات العضوية إلى نوعين هما المُركّباتُ العضوية الهيدروكربونية، ومشتقات المُركّبات الهيدروكربونية، وسيجري التعرف إليها في أثناء دراسة هذا الكتاب.

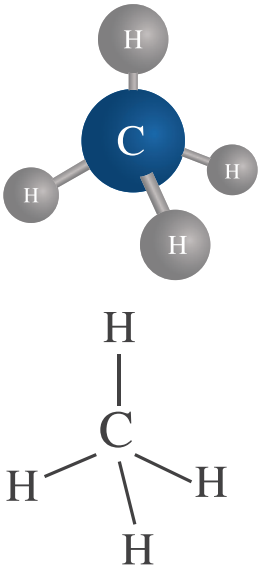
فريدريك فوهلر (1800-1882).

المُركّبات الهيدروكربونية

عندما أركبُ السيارة مع أحد والديَّ أو الحافلةَ، أو أطهو الطعام على الغازِ أستعمل المركبات الهيدروكربونية؛ فالجازولين والديزل اللذان يستعملان في تسييرِ السياراتِ والحافلات والشاحنات، وكذلكَ الغاز الذي يشتعل عند استخدام غاز الطهو من هذه المركبات .

تتكوّنُ **المُركّبات الهيدروكربونية Hydrocarbons** من عنصري الكربون والهيدروجين فقط؛ لذا فهي أبسط المُركّبات العضوية.

وقد تعتقد أنّ عددها قليلٌ بناء على ذلك، ولكن في الحقيقة هناك عدد كبير جدًّا من المُركّبات الهيدروكربونية المعروفة، وأبسطها الميثان CH_4 الذي يتكون من ذرّةِ كربون مرتبطة مع أربعِ ذرات هيدروجين بروابطَ تساهميةٍ أُحاديّة. ويُبيّن الشكل (2) الصيغة البنائيّة لغاز الميثان.



الميثان CH_4

الشكلُ (2): الصيغة البنائية لغاز الميثان.

تـرتبط ذرة الكربون بـروابطَ تساهميةٍ أُحاديّـةٍ؛ وقد تـرتبط برابطةٍ تساهميّةٍ ثنائية أو ثلاثية مع ذرّةِ كربون أخرى.

صنّـفَ الكيميائيـون المُركّبـاتِ الهيدروكربونيـة؛ اعتمـادًا علـى طبيعـة الروابـط إلـى قسـمين همـا؛ المُركّبـات الأليفاتيـة التـي تتكون مـن **الهيدروكربونـات المشـبعة Saturated Hydrocarbons**؛ وترتبط ذرات الكربـون فيهـا بروابـطَ تسـاهميةٍ أُحاديّـة فقـط، وكذلـك مـن **الهيدروكربونـات غير المشـبعة Unsaturated Hydrocarbons** تحتوي رابطـة تسـاهميّة ثنائيـة أو ثلاثيـة واحدة علـى الأقلّ بين ذرتـي كربون. أمّا القسـم الثاني فهـو المُركّبـات الأروماتية (العِطريّة) التـي لها روائح مميـزة لذلـك سـميت عطريّـة، أنظر الشـكل (3).

الألكانـاتُ alkanes

عنـد اشـتعال لهـب بنسـن فـي المختبـر أو اسـتخدام ولّاعـة؛ فإن المادة المسـتخدمة تكون من الألكانات. أنظرُ الشـكل (4). **الألكانات Alkanes** مُركّبـاتٌ هيدروكربونيـة تحتـوي روابـطَ تسـاهميةٍ أحاديـةٍ فقـط. وتترابـط ذرّاتُ الكربون في الألكان بشـكل سلسـلة مفتوحة قد تكـون بسـيطةً مُكوّنـةً من عـدد بسـيط مـن ذرات الكربـون، أو معقدة تحتـوي على مئـاتِ ذرّات الكربـون. وقـد تترابـط ذرات الكربون في الألـكان بصـورة سلسـلة مغلقة(حلقـة). ولكـنْ يكون تهجيـنُ ذرات الكربـون فـي الألكانـات جميعِها مـن نوع sp^3.

الربطُ مع الحياة

يُستخرَج الغاز الطبيعي في الأردن من حقل الريشة، إذ يعدُّ الميثانُ أحدَ المكونات الرئيسة لهذا الغاز.

الشكلُ (3): عطر برائحة البنزين.

الشـكلُ (4): لهـب بنسـن وولاعـة الغـاز المسـتخدمة فـي اشـعال غـاز الطبـخ.

تسميةُ الألكانات Nomenclature of Alkanes

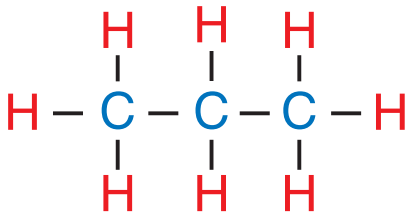
طُوِّرت في الماضي أنظمةٌ مختلفة لتسمية المُركّبات العضوية، ولكن في وقتنا الحاضر يُعتمَد في تسمية المُركّبات العضوية نظامُ الاتّحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية IUPAC فقط؛ إذْ تُتّبَع فيه قواعد محددة للتسمية تشمل أنواع المُركّبات العضوية جميعها، وذلك لتوحيد أسماء المُركّبات العضوية بين الكيميائيين جميعهم في العالم؛ ليسهل عليهم دراستها وتبادل المعلومات حولها. واعتَمد النظام الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية أحيانًا قبول بعض الأسماء الشائعة (لها أصول تاريخية ولا تعتمد على التركيب) بصفتها بادئات في الأسماء النظامية.

تسمية الألكانات ذات السلاسل المستمرة

تُسمّى الألكاناتُ من هذا النوع بناءً على أعداد ذرات الكربون فيها؛ ويتألّف اسمُ الألكان فيها من مقطعين؛ الأولِ بادئةٍ مُشتقّةٍ من كلمات إغريقيّةٍ أمّا المقطع الثاني(ان)؛ فيعني الإشباع ويشير إلى الألكان. فالألكانات الأربعة الأولى المُكوّنة من ذرة كربون واحدة إلى أربع ذرات كربون جرت معرفتُها قبل نظام التسميةِ IUPAC؛ لذلك اشتقت بادِئتُها من أسماء لمُركّباتٍ كيميائيةٍ إغريقيّةٍ. أمّا الألكاناتُ المُكونة من خمسِ ذرات كربون فأكثر؛ فقد اشتُقّت بادئتُها من كلمات تشير إلى الأعداد الإغريقية. والجدول (1) يتضمّن أسماء الألكانات العشرة الأولى وصيغَها.

الجدول (1): اسماء الألكانات العشرة الأولى وصيغُها.

عدد ذرات الكربون	البادئة	اسم الألكان	الصيغة الجُزيئيّة	الصيغة البنائية
1	ميث	ميثان Methane	CH_4	CH_4
2	ايث	إيثان Ethane	C_2H_6	CH_3CH_3
3	بروب	بروبان Propane	C_3H_8	$CH_3CH_2CH_3$
4	بيوت	بيوتان Butane	C_4H_{10}	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
5	بنت	بنتان Pentane	C_5H_{12}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$
6	هكس	هكسان Hexane	C_6H_{14}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$
7	هبت	هبتان Heptane	C_7H_{16}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$
8	أوكت	أوكتان Octane	C_8H_{18}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$
9	نون	نونان Nonane	C_9H_{20}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2\ CH_2CH_3$
10	ديك	ديكان Decane	$C_{10}H_{22}$	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$



الشكلُ (5): الصيغة المفصلة للبروبان.

ألاحظُ من الجدول أنّ كلّ ألكان يزيد على الألكان الذي قبله بذرة كربون واحدة وذرتي هيدروجين (CH_2)، ممّا يُمكّنُنا أن نستنتج صيغةً جُزيئيّةً عامّة للألكانات؛ وهي (C_nH_{2n+2})، حيث تُمثّل n عدد ذرات الكربون، لذا يمكنُ كتابةُ الصيغةِ الجُزيئيّة لأيّ ألكان بمعرفةِ عدد ذرات الكربون أو الهيدروجين فيه، مثلًا؛ الألكان الذي يحتوي على 12 ذرة كربون تكونُ صيغته الجُزيئيّة $C_{12}H_{26}$.

يكتب الكيميائيونَ المُركّباتِ العضوية، ومنها المركبات الهيدروكربونية بأكثر من صورة بِنائيّة؛ منها التي تظهر في الجدول (1) وتُسمّى صيغة بنائيةً مختصرة، ويمكنُ أن تُكتب المُركّبات بصورة صيغة مُفصّلة؛ حيثُ تظهر الروابط جميعها بين الذرات كما في الشكل (5) الذي يُمثّلُ الصيغة المُفصّلة لمُركّب البروبان.

وقد تُكتب المُركّبات بصورة هيكلّية كما في الشكل (6)، حيث تُمثّل بداية السلسلة ونهايتها ذرة كربون مُتّصلة مع ثلاثِ ذرّاتِ هيدروجين CH_3، وكلُّ زاوية تُمثّل CH_2.

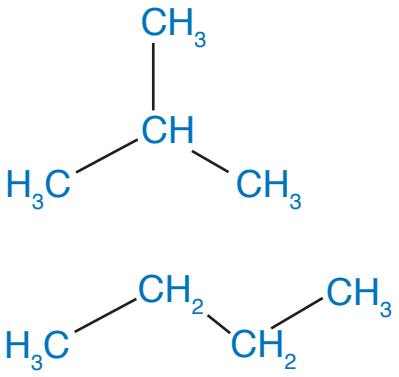
الشكل (6): الصورة الهيكلية للبروبان.

أتحقّقُ:

1- أكتبُ الصيغة الجُزيئيّة لألكانٍ يحتوي على 12 ذرة كربون.

2- أكتبُ الصيغة الجُزيئيّة لألكانٍ يحتوي على 24 ذرة هيدروجين.

3- أُسمّي الألكان الآتي:



الشكلُ (7): صيغ بنائية للصيغة الجزيئية C_4H_{10}.

تسمية الألكانات المُتفرّعة Naming Branched-Chain Alkanes

تُسمّى الألكانات التي تعرفنا إليها الألكانات ذات السلاسل المستمرة؛ لأن ذرات الكربون فيها ترتبط معًا. ولكنّ هناكَ أنواعًا أُخرى من الألكاناتِ تحتوي على تفرُّعاتٍ مرتبطة بالسلسلة المستمرة كما في الشكل (7) الذي يُمثّل صيغًا بنائية للصيغة الجُزيئيّة C_4H_{10}؛ فعند عدِّ ذرات الكربون والهيدروجين سأكتشف أنّ لكُلٍّ منهما الصيغةَ الجُزيئيّة نفسَها؛ فهل هما مادّةٌ واحدةٌ أم مادّتانِ مختلفتان؟

تُمثّل الصيغة في الجانب السُّفلي من الشكل (7) البيوتان؛ بينما تُمثّل الصيغة في الجانب العلويّ ألكانًا مُتفرّعًا، وهي مادة ذاتُ خصائصَ كيميائيةٍ وفيزيائيةٍ مختلفة تمامًا عن البيوتان. تُسمّى التفرُّعات المتصلة بالسلسلة الأكثر طولًا **بمجموعات الألكيل Alkyl Group**؛ لأنّها مشتقّةٌ من الألكانات الأصليّة بحذف ذرة هيدروجين واحدةٍ، فتكون الصيغة العامة لها (C_nH_{2n+1})، وتُسمّى بتغيير المقطع (ان) من اسمِ الألكان إلى المقطع (يل)، ويُرمَز إليها بالرمز R، والجدول (2) الآتي يُمثّل أهمَّ التفرُّعات وتسميتَها.

الجدول (2): أهمُّ التفرُّعات وتسميتُها.

الصيغة البنائية للألكان	اسم الألكان	الصيغة البنائية للتفرع	الصيغة الجُزيئيّة للتفرع	أُسمّي التفرُّع
CH_4	ميثان	CH_3-	CH_3-	ميثيل methyl
CH_3CH_3	إيثان	CH_3CH_2-	C_2H_5-	إيثيل ethyl
$CH_3CH_2CH_3$	بروبان	$CH_3CH_2CH_2$-	C_3H_7-	بروبيل propyl

سيجري التعرف إلى تسمية الألكانات المُتفرّعة باستخدام القواعد الآتية التي وضعها الاتّحادُ الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية IUPAC، واستخدمها الكيميائيون في تسمية المُركّبات العضوية:

1- أُحدّدُ أطولَ سلسلة مستمرة من ذرات الكربون وأُسمّيها باسم الألكان المقابل في الجدول (1).

2- أُرقّم ذرات الكربون في السلسلة الرئيسة مبتدئًا من طرف السلسلة؛ بحيث تعطى هذه التفرُّعات أقلّ الأرقام المُمكنةٍ.

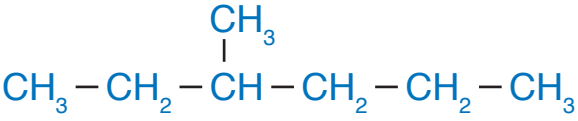
3- أُسمّي كُلّ تفرّع وأضعُ اسم التفرُّع قبل اسم السلسلة الرئيسة.

4- أكتبُ أرقام التفرُّعات قبل اسم التفرُّع؛ بحيث يُفصل بين الرقم والاسم بشرطة (-)، وعندما تكون التفرُّعات متشابهةً أستخدمُ البادئات (ثنائيٌّ، ثلاثيٌّ، رباعيٌّ)، وأفصلُ بين أرقامها بفاصلة (،) وإذا كانت التفرُّعات محتلفةً؛ فإنّها تُكتب في الاسم حسب الترتيب الهجائي باللغة الإنجليزية، ولا أُراعي البادئاتِ عند الترتيب الهجائي.

5- أكتبُ اسم المُركّب كاملًا.

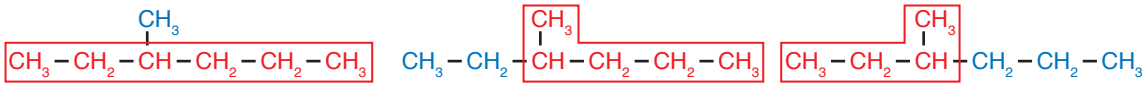
المثال 1

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ نظام التسمية العالمي (IUPAC).



الحلُّ:

1 - أُحدّدُ أطولَ سلسلة مُستمرّة من ذرات الكربون وأُسمّيها.



(1) (2) (3)

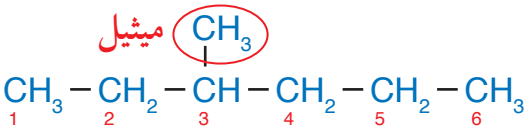
يتّضحُ أن هناك ثلاث سلاسلَ نختار منها ما تحتوي على أكبر عدد من ذرات الكربون، وهي التي تحتوي على ستّ ذرات كربون، وهي السلسلة رقم (1)؛ وتُسمّى هكسان.

2 - أُرقّم ذرات الكربون في السلسلة الأطول كما يأتي:

(1) (2)

أختارُ الشكل رقم (1)؛ لأنّهُ يعطي أقلّ الأرقام لمجموعة الميثيل؛ فحسب نظام التسمية العالمي يجب أن نبدأ ترقيم ذرات الكربون في السلسة الأكثر طولًا من الطرف الأقرب للتفرُّع؛ لأن رقم مجموعة الميثيل فيه هو 3 وليس 4.

3 - أُسمّي كُلّ تفرُّع وأضعُ اسم التفرُّع قبل اسم السلسلة الرئيسة، وبما أنه لا يوجد سوى تفرُّعٍ واحد هو الميثيل؛ أضع اسمه قبل اسم الألكان، فيصبح ميثيل هكسان.

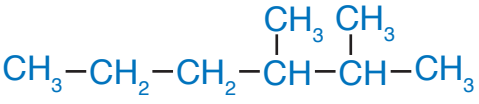


4 - أكتبُ رقم التفرُّع واسمه: 3- ميثيل

5 - أكتبُ اسم المُركّب كاملًا فيصبح: 3- ميثيل هكسان، ألاحظُ أنّ طريقة كتابة اسم المُركّب يمكن أن تكون على الصيغة العامة: رقم التفرُّع – اسم التفرُّع اسم الألكان.

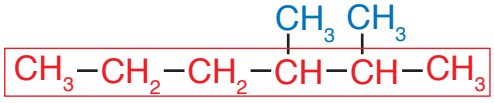
المثال 2

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ نظام التسمية العالمي (IUPAC).

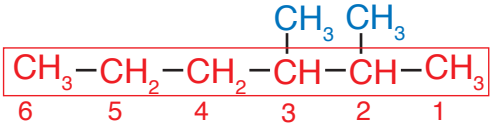


الحلُّ:

1 - أُحدّدُ أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون وأُسمّيها. ألاحظُ أنّ السلسلة الأكثر طولًا تحتوي على ستّ ذرات كربون؛ فيصبح اسمه هكسان.

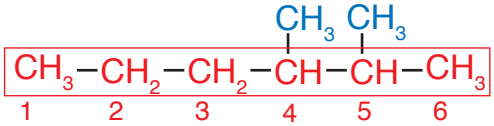


2 - أُرقّم ذرات الكربون في السلسلة الرئيسة مبتدئًا من طرف السلسلةِ الذي يُعطي هذه التفرُّعات أقلّ مجموعِ أرقامٍ مُمكنةٍ، وأختارُ الشكل (1) وليس (2)؛ لأنّ مجموعَ أرقامِ التفرُّعاتِ فيه 5 = 3 + 2 بينما في الشكل (2) 9 = 5 + 4



1

2 + 3 = 5



2

4 + 5 = 9

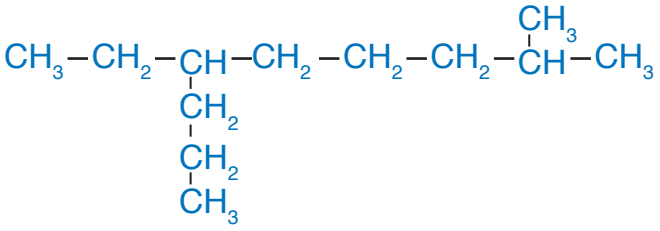
3 - أُسمّي كلّ تفرُّع وأضعُ اسم التفرُّع قبل اسم السلسلة الرئيسة، فيصبح الاسم ميثيل هكسان.

4 - أكتبُ أرقام التفرُّعات قبل اسم التفرُّع؛ بحيث يُفصَل بين الرقم والاسم بشرطة (–)، وعندما تكون التفرُّعات متشابهةً أستخدمُ البادئات (ثنائيٌّ، ثلاثيٌّ، رباعيٌّ)، وأفصلُ بين أرقامها بفاصلة (،) وإذا كانت التفرُّعات مختلفةً؛ فإنّها تكتب في الاسم حسب الترتيب الهجائي باللغة الإنجليزية ولا يُلتفتُ إلى البادئات عند الترتيب الهجائي، وفي هذا المثال تُوجد مجموعتا ميثيل تقعان على ذرتي الكربون رقم 2 ورقم 3؛ فأستخدمُ البادئة (ثنائيّ) قبل ميثيل بدلًا من تكرار كلمة ميثيل، وأضعُ أرقام مجموعتي الميثيل قبل ثنائي وأفصلُ بين الأرقام بفاصلة(،) وبين الأرقام والاسم بشرطة كما يأتي 2،3- ثنائي ميثيل.

5 - أكتبُ اسم المُركّب كاملًا فيصبح الاسم 2،3- ثنائي ميثيل هكسان.

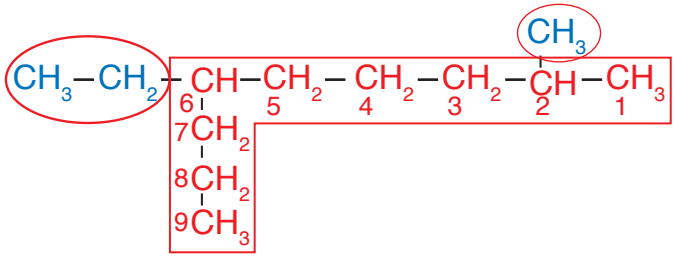
المثال 3

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ نظام التسمية العالمي (IUPAC)



الحلُّ:

1 - أُحدّدُ أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون، وأُرقّمها من الجهة الأقرب لأول تفرُّعٍ.



2 - أُعطي أرقامًا وأسماءً للتفرُّعات، حيث يقع التفرُّع الأول على ذرة الكربون رقم 2؛ ويقع التفرُّع الثاني على ذرّة الكربون رقم 6، وبما أن التفرُّعين غير متشابهين (ميثيل وإيثيل)، واعتمادًا على اللغة الإنجليزية؛ فإنّ إيثيل تسبق ميثيل، لذلك فإنّ 6- إيثيل ستكتب قبل 2-ميثيل في الاسم؛ فيصبح على النحو الآتي: 6- إيثيل -2- ميثيل.

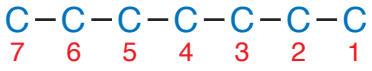
3 - أكتبُ في نهاية الألكان الاسم الذي يُمثّل السلسلة الأكثر طولًا وهو نونان فيصبح اسم هذا المُركّب هو 6- إيثيل -2- ميثيل نونان.

المثال 4

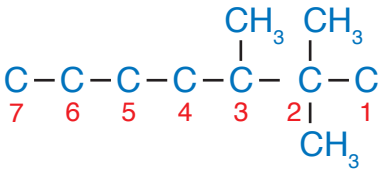
أكتبُ الصيغة البنائية للمُركّب 3،2،2- ثلاثي ميثيل هبتان

الحلُّ

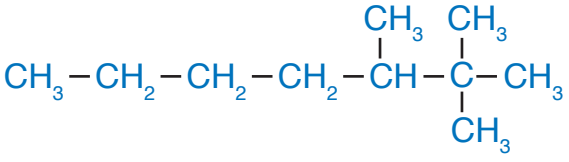
1 - أرسم سلسلةً مستمرّةً من ذرات الكربون مُكوّنـةً من 7 ذرات كربـون تُمثّـل اسـم الألكان وأُرقّمها كما في الشكل:



2 -أضعُ مجموعَتي ميثيل على ذرة الكربون رقم 2 والمجموعة الثالثة على ذرة الكربون رقم 3 كما في الشكل:

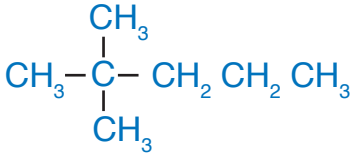


3 - أضيفُ ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون، بحيث تُكوّن كلّ ذرة كربون أربع روابطَ مع ذرّات الهيدروجين؛ فيصبح الشكل النهائي:

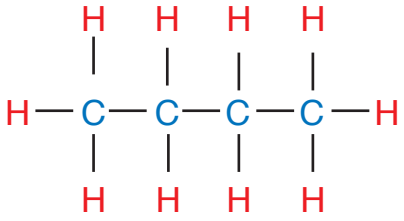


✓ أتحقَّقُ:

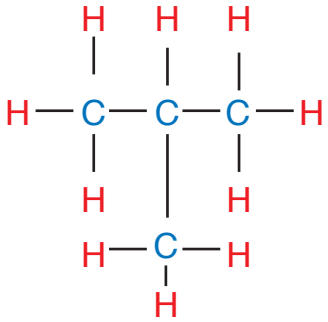
1- أسمّي المركب الاتي:



2- أرسم الصيغة البنائية للمُركّب: 3- إيثيل هبتان



الشكل (8 / أ)



الشكل (8 / ب)

المتصاوغاتُ Isomers

هناك مُركّبات عضوية عدّةٌ تشترك في صيغتها الجُزيئيّة؛ ولكنّها تختلف في صيغتها البنائيّة، ويُطلَقُ على وجود صيغ بنائية مختلفة لنفس الصيغة الجُزيئيّة اسم **التصاوغِ Isomerism**، وتُسمّى الصيغ البنائيّةُ الناتجةُ **متصاوغاتٍ Isomers**.

المتصاوغاتُ البنائية Structural Isomers

تترتّبُ ذرّاتُ الكربون في الألكانات بطرائق مختلفة، وينتج عن ذلك مُركّبات مختلفة في صيغتها البنائية؛ ولكنها تشترك في الصيغة الجُزيئيّة ولها خصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة، تُسمّى **متصاوغاتٍ بنائية Structural Isomers**. مثلًا؛ ذرات الكربون في الصيغة الجُزيئيّة C_4H_{10} يمكنُ ترتيبها بطريقتين مختلفتين كما في الشكل(8/ أ، 8/ ب).

يتّضحُ من الشكل أنه يمكن أن تترتب ذرات الكربون في سلسلة مستمرة من أربع ذرات كربون كما في الشكل (8/ أ)؛ أو في سلسلة مستمرة من ثلاث ذرات، وترتبط ذرة الكربون الرابعة بذرة الكربون الثانية في السلسلة كما في الشكل (8/ ب)، ويُسمى ميثيل بروبان. وللمتصاوغات البنائية خصائص كيميائية وفيزيائية مختلفة ويزداد عددها بزيادة عدد ذرات الكربون في المُركّب العضوي.

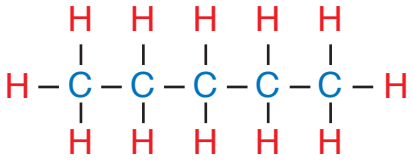
المثال 5

أرسمُ متصاوغات الصيغة الجُزيئيّة C_5H_{12} وأسمّي كُلًّا منها.

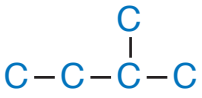
الحلُّ:

1 - أرسمُ خمس ذرات كربون في سلسلة مستمرة C – C – C – C – C

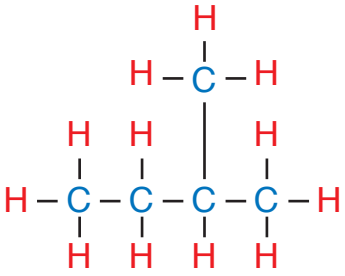
2 - أوزّع ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون؛ بحيث تكوّنُ كلّ ذرة كربون أربع روابطَ تساهُميّةٍ أُحاديّةٍ كما في الشكل، ويكون الاسم بنتان.



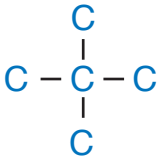
3 - أرسم أربع ذرات كربون في سلسلة مستمرة، وأربط ذرة الكربون الخامسة على إحدى ذرتي الكربون في داخل المُركّب وليس على الأطراف كما في الشكل.



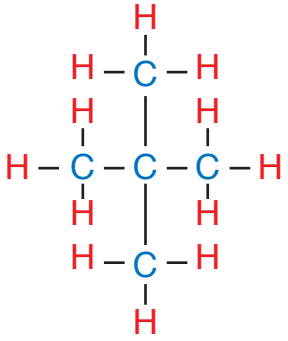
4 - أوزّع ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون؛ بحيث تُكوِّن كلّ ذرة كربون أربعَ روابطَ تساهُميّةٍ أُحاديّةٍ كما في الشكل، ويكون الاسم 2- ميثيل بيوتان.



5 - أرسمُ ثلاث ذرات كربون في سلسلة مستمرة، وأربطُ ذرتي الكربون المتبقّيتين مع ذرة الكربون الثانية في السلسلة كما في الشكل.



6 - أوزّع ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون؛ بحيث تُكوِّن كلّ ذرة كربون أربع روابطَ تساهُميّةٍ أُحاديّةٍ كما في الشكل، ويكون الاسم 2،2- ثنائي ميثيل بروبان (ويمكن اختصار الاسم في هذه الحالة الى ثنائي ميثيل بروبان؛ لأنَّ التفرُّعَ سيكون على ذرة الكربون الثانية).



أتحقَّقُ: أرسم الصيغ البنائية للهكسان C_6H_{14} وأُسمّيها.

التجربة 1

تحضيرُ غاز الميثان في المختبر

الموادّ والأدوات:

إيثانوات الصوديوم اللامائية الجافة CH_3COONa، هيدروكسيد الصوديوم NaOH الصلب، أكسيد الكالسيوم CaO، سدادة مطاطية مثقوبة من المنتصف، أنبوب اختبار، أنبوب زجاجي، لهب بنسن، حامل فلزّي، ميزان، ملعقة، ورق نشاف، ماء، كأس زجاجية طويلة ، حوض زجاجي.

إرشاداتُ السلامة:

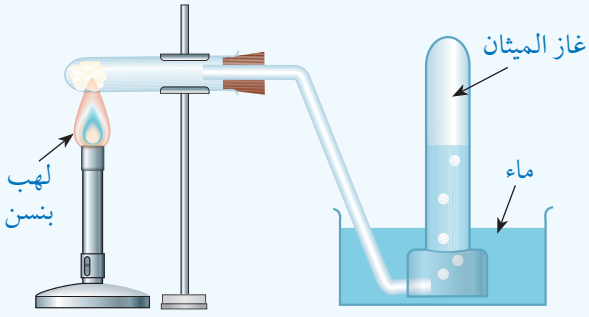
- أتّبعُ إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أرتدي المعطف والنظارات الواقية والقُفّازات.

خطوات العمل:

1- **أقيسُ:** أضعُ ورقة نشاف على الميزان؛ ثم أزن 10 g من إيثانوات الصوديوم اللامائية الجافّة، وأضعُ هذه الكمية في أنبوب الاختبار.

2- **أُطبّقُ:** أُكرّرُ العملية نفسها لقياس 10 g من هيدروكسيد الصوديوم الصلب، و 10 g من أكسيد الكالسيوم وأضيفهما إلى إيثانوات الصوديوم في الأنبوب.

3- أُركّب الجهاز المُوضّح كما في الشكل، بحيث يكون طرف الأنبوب الزجاجي مغمورًا في الماء تحت الكأس الزجاجية الطويلة المملوءة إلى ثلثيها بالماء.



4- **ألاحظُ:** أشعلُ لهب بنسن تحت أنبوب الاختبار كما في الشكل مع تحريك اللّهب على طول أنبوب الاختبار لتوزيع الحرارة على جميع الخليط. وألاحظُ ظهور فُقاعاتٍ غازية في الكأس الزجاجية، وأُسجّل ملاحظاتي.

5- **ألاحظُ:** تغيُّر مستوى الماء داخل الكأس الزجاجية الطويلة، وأسجل ملاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاج:

1- **أُفسّرُ** تغيُّرَ مستوى الماء في الكأس الزجاجية الطويلة.

2- **أتوقّعُ** نوع الغاز الناتج من التفاعُل.

الجدول (3) الخصائص الفيزيائية لبعض الألكانات.

الألكان	الصيغة الجُزيئيّة	درجة الغليان	الحالة الفيزيائية
ميثان	CH_4	-162	غاز
إيثان	C_2H_6	-88	غاز
بروبان	C_3H_8	-42	غاز
بيوتان	C_4H_{10}	-0.5	غاز
ميثيل بروبان	C_4H_{10}	-11.63	غاز
بنتان	C_5H_{12}	36	سائل
2- ميثيل بيوتان	C_5H_{12}	27.8	سائل
ديكان	$C_{10}H_{22}$	274	سائل

الخصائص الفيزيائية والكيميائية للألكانات

الخصائص الفيزيائية

تتميّزُ الألكانات بأنها مُركّبات غير قطبية تتجاذب جزيئاتُها بقوى لندن، ويعود ذلك إلى أن الفرق في السالبية الكهربائية بين الكربون والهيدروجين قليلٌ جدًّا، لذلك لا تذوب الألكانات في الماء وإنّما تذوب في بعضها بعضًا وفي المُركّبات غير القطبية الأُخرى. الجدول (3) يُمثّل الخصائص الفيزيائية لبعض الألكانات.

يتّضحُ من الجدول أن الحالة الفيزيائية للألكانات تعتمد على زيادة عدد ذرات الكربون في المُركّب (الكتلة المولية)، حيث تكون الألكانات الأربعة الأولى غازيةً؛ بينما تصبحُ سائلة من البنتان إلى الألكان الذي يحتوي على 16 ذرةِ كربونٍ، وبعد ذلك تصبح صلبة للألكانات التي تحتوي على أكثر من ذلك من ذرات الكربون، كما ألاحظُ أن درجة الغليان تزداد بزيادة الكتلة المولية للألكان وذلك بسبب زيادة قوى لندن.

أُفسّر: درجة غليان البيوتان أعلى من درجة غليان ميثيل بروبان على الرغم من أنّ لهما الصيغة الجزيئية نفسها .

الربطُ مع الحياة

تُستخدمُ الألكانات التي تحتوي على 17 ذرة كربون أو أكثر كموادّ تشحيم ومضادات للتآكل؛ فلا يستطيع الماء الوصول إلى سطح الفلزِّ نظرًا لكثافتها ولزوجتها، فهي مثاليةٌ لهذا الاستخدام كما تستخدم الألكاناتُ التي تحتوي على سلاسل كربون تحتوي على 20 إلى 40 ذرة كربون في صناعة شمع البرافين.

الخصائصُ الكيميائية للألكانات

تتميّزُ الألكانات بأنها مستقرةٌ كيميائيًّا نسبيًّا، ويعود ذلك إلى قوة الروابطِ الأُحادية بين ذرات الكربون وبين ذرات الكربون والهيدروجين، ويحتاج كسر هذه الروابط إلى طاقة كبيرة ومن أهمّ تفاعُلات الألكانات:

الاحتراق Combustion:

تحترق الألكانات بوجود كمية كافية من الأُكسجين، وينتجُ عن هذه العملية غاز ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، وكميّةً كبيرةً من الطاقة، كما في المعادلتين الآتيتين:

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + Heat$$

$$C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O + Heat$$

الهلجنة Halogenation:

تتفاعُل الألكانات مع الهالوجينات بوجود الضوء بوصفه عاملًا مساعدًا؛ حيث تحلُّ فيه ذرة هالوجين أو أكثر محلّ ذرة هيدروجينٍ أو أكثر، ويُسمّى تفاعُلَ **الهلجنة Halogenation**، وينتجُ عن هذا التفاعُل إحدى مشتقات المُركّبات الهيدروكربونية وهي هاليدات الألكيل التي ستجري دراستها في الوحدة القادمة. توضح المعادلتين الآتيتين تفاعل الهلجنة:

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{\text{الضوء}} CH_3Cl + HCl$$

$$C_2H_6 + Br_2 \xrightarrow{\text{الضوء}} C_2H_5Br + HBr$$

أتحقَّقُ:

1- أكتبُ معادلةً موزونة لإحتراق البنتان مع الأكسجين.

2- أكتبُ معادلةَ تفاعُل الكلور مع الإيثان.

أستخدِمُ برنامجَ Dream Waver وأُعدُّ فيلمًا يُمثّل أنواع المُركّبات الهيدروكربونية، ثم أعرضهُ أمام زملائي أو أشاركه على صفحة المدرسة على (facebook).

أبحثُ: تُستخدم الألكانات بشكلٍ رئيس كوقود في السيارات، أرجعُ إلى مواقعَ إلكترونيّة مناسبة عبرَ شبكة الإنترنت، وأبحثُ عن سبب تسمية الألكان المستخدم كوقود في السيارات أوكتان 90 وأوكتان 95، وأكتبُ تقريرًا أو أُصمّمُ عرضًا تقديميًّا حولَ الموضوع، وأناقشُهُ معَ زملائي ومعلّمي.

التطبيقاتُ الاقتصاديةُ للألكانات

تُستخدم الألكانات للحصول على الكربون الأسود، وذلك عن طريق التكسير الحراري، ويُنتَج الكربون الأسود عن طريق تسخين الميثان إلى 1000 °C في حالة غياب الهواء، ويُستخدم الكربون الأسود في صناعة إطارات السيارات، والطلاء الأسود، والتلميع، وحبر الطباعة.

مراجعةُ الدرس

1 - **الفكرةُ الرئيسة:** أُفسّر سبب تسمية الألكانات مُركّبات هيدروكربونية مشبعة.

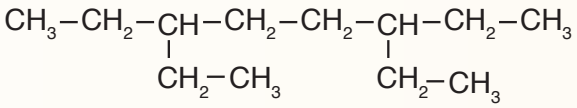
2 - **أوضّحُ** المقصود بكلّ من:

- المُركّبات الهيدروكربونية
- التصاوغ

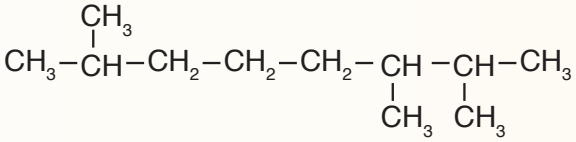
3 - أرسم صيغة بنائية للمُركّب 2 ، 2- ثنائي ميثيل هكسان

4 - أُسمّي المُركّبات الآتية وفقَ نظام التسمية العالمي IUPAC

أ .



ب.



جـ.

5 - أرسم المتصاوغات البنائيّة للهبتان C_7H_{16}، وأُسمّي كلًّا منها.

6 - أُكملُ المعادلات الآتية وأوازنها:

$$C_9H_{20} + O_2 \longrightarrow$$

$$CH_4 + Br_2 \longrightarrow$$

7 - **أُفسّرُ:** درجة غليان الهبتان C_7H_{16} أعلى من درجة غليان البنتان C_5H_{12}

الفكرةُ الرئيسة:

تتكوّنُ المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعةِ من الكربون والهيدروجين، وترتبط فيها ذرات الكربون برابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أتعرّفُ الألكينات والألكاينات وأسميها.
- أُميّزُ الخصائص الفيزيائية والكيميائية للألكينات والألكاينات.
- أتعرّفُ المُركّبات الأروماتية (العطرية) وخصائصها.

المفاهيمُ والمصطلحات:

المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة Unsaturated Hydrocarbons

ألكين Alkene

ألكاين Alkyne

المُركّبات الأروماتية Aromatic Compounds

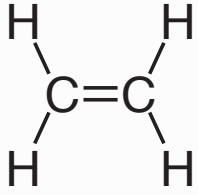
المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة
Unsaturated Hydrocarbons

تحتوي كثير من المُركّبات الهيدروكربونية على رابطة ثنائية أو رابطة ثلاثية واحدة على الأقلّ بين ذرتي كربون متجاورتين تُسمّى **المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة Unsaturated Hydrocarbons**، وتُعرّفُ بأنها المركبات التي لا تحتوي على الكمية القصوى من ذرات الهيدروجين، ولا ترتبط ذرات الكربون جميعها فيها بأربعِ روابطَ تساهميةٍ أحادية، وسوف نتعرّفُ -في هذا الدرس- أنواعَ هذه المُركّبات وخصائصَها.

الألكينات Alkenes

تتميز **الألكينات Alkenes** باحتوائها على رابطة تساهمية ثنائية واحدة على الأقلّ بين ذرتي كربون متجاورتين؛ إحداهما رابطة σ والأُخرى π، وبسبب وجود هذه الرابطة الثنائية؛ فإنّ عدد ذرات الهيدروجين سيقلُّ بمقدار ذرتين عن الألكان المقابل لها في السلسلة المفتوحة، وتكون الصيغة العامة لها C_nH_{2n}. يُعدُّ الإيثين C_2H_4 أصغرَ الألكينات، وترتبط فيه ذرتا الكربون برابطة ثنائية، وترتبط كلّ ذرة بذرتي هيدروجين كما في الشكل (9).

$$CH_2 = CH_2$$



الشكل (9): جزيء الإيثين.

تسمية الألكينات

تُسمّى الألكينات وفقَ نظام التسمية العالمي IUPAC بطريقة مشابهة لتسمية الألكانات كما يأتي:

1 - أُحدّدُ السلسلة المستمرة الأطول التي تحتوي على الرابطة الثنائية.

2 - أُرقّم هذه السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثنائية.

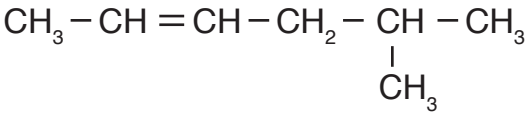
3 - أُسمّي السلسلة الأطول باسم الألكان المقابل، مع استبدال المقطع (ين) بالمقطع (ان) بحيث يسبق الاسم رقم ذرة الكربون الأقلّ في الرابطة الثنائية.

4 - أُرقّمُ مجموعات الألكيل المتفرّعة، وأُسمّيها بطريقة الألكانات نفسِها.

5 - أكتبُ اسم المُركّب كاملًا.

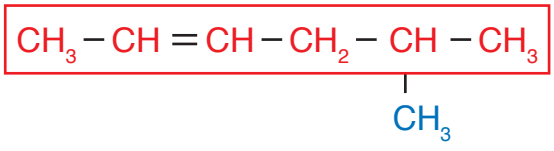
المثال 6

أُسمّي الألكين الآتي

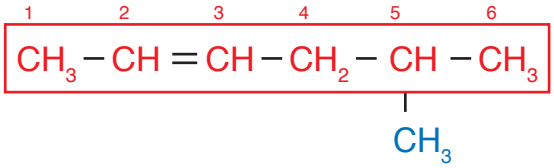


الحلُّ:

1 - أُحدّدُ أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون تحتوي على الرابطة الثنائية.



2 - أُرقّم هذه السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثنائية.



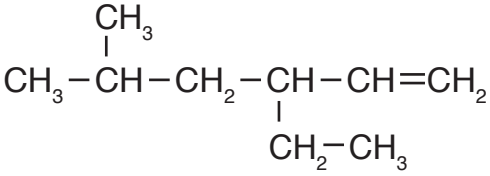
3 - أُسمّي السلسلة الأطول باسم الألكان المقابلِ، مع استبدال المقطع (ين) بالمقطع (ان)، يسبق الاسم رقم ذرة الكربون الأقلّ في الرابطة الثنائية فيُصبح الاسم 2- هكسين.

4 - أعطي مجموعات الألكيل المُتفرّعةَ أرقامًا وأُسمّيها بطريقة الألكانات ذاتِها؛ بوضع اسم التفرُّعات وأرقامها قبل اسم الألكين، في هذا المثال توجد مجموعة ميثيل تقع على ذرة الكربون رقم 5 فيصبح الاسم 5- ميثيل

5 - أكتبُ اسم المُركّب كاملًا؛ فيصبح الاسم النهائي للمُركّب 5- ميثيل -2- هكسين

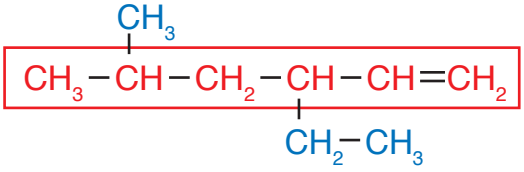
المثال 7

أُسمّي الألكين الآتي

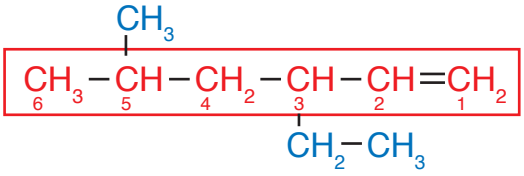


الحلُّ:

1 - أُحدّدُ أطول سلسلة مستمرّةٍ من ذرات الكربون تحتوي على الرابطة الثنائية:



2 أُرقّم هذه السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثنائية:



3 - أُسمّي السلسلة الأكثر طولًا باسم الألكان المقابل مع استبدال المقطع (ين) بالمقطع (ان)، يسبق الاسم رقم ذرة الكربون الأقلّ في الرابطة الثنائية فيصبح 1- هكسين

4 - أُعطي مجموعات الألكيل المتفرعة أرقاما وأُسمّيها بنفس طريقة الألكانات؛ بوضع اسم التفرُّعات وأرقامها قبل اسم الألكين.

في هذا المثال نبدأُ بالإيثيل؛ لأنها تسبق أبجديًّا حسب اللغة الإنجليزية، ومن ثم الميثيل فتصبح: 3- إيثيل - 5 - ميثيل

5 - أكتبُ اسم المُركّب كاملًا؛ فيصبح اسم الألكين: 3- إيثيل - 5 - ميثيل - 1 - هكسين

المثال 8

أرسمُ الصيغة البنائية للمُركّب 3- ميثيل -1- هكسين

الحلُّ:

1 - أرسمُ السلسلة المستمرّة التي تُمثّل الهكسين المحتوي على 6 ذرات كربون، وأُرقّمها بحيث تكون الرابطة الثنائية على ذرة الكربون رقم 1

$$\overset{6}{C}-\overset{5}{C}-\overset{4}{C}-\overset{3}{C}-\overset{2}{C}=\overset{1}{C}$$

2 - أضعُ مجموعة الميثيل على ذرة الكربون رقم 3

$$\overset{6}{C}-\overset{5}{C}-\overset{4}{C}-\overset{3}{\underset{\displaystyle CH_3}{C}}-\overset{2}{C}=\overset{1}{C}$$

3 - أضيفُ ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون، بحيث تُكوّن كلّ ذرة كربون 4 روابط؛ فيصبح الشكل النهائي:

$$CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{CH}-CH=CH_2$$

أتحقّقُ:

1- أُسمّي المُركّب العضوي الآتي وفقَ نظام التسمية العالمي IUPAC

$$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{C}}-CH_2-CH=CH_2$$

2- أرسمُ الصيغة البنائية للمُركّب: 5 ، 5- ثنائي ميثيل -3- هبتين

الجدول (4) بعض الألكينات وخصائصها الفيزيائية.

الألكين	الصيغة البنائية	درجة الغليان	الحالة الفيزيائية
ايثين	$CH_2 = CH_2$	-104	غاز
بروبين	$CH_3CH = CH_2$	-47	غاز
1- بيوتين	$CH_3CH_2CH = CH_2$	-6	غاز
1- بنتين	$CH_3CH_2CH_2CH = CH_2$	30	سائل
1- ديكين	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH = CH_2$	171	سائل

الخصائصُ الفيزيائية والكيميائية للألكينات

الخصائصُ الفيزيائية

تتشابه الألكينات في خصائصها الفيزيائية مع الألكانات؛ فهي مواد غير قطبية لا تذوب في الماء ولها درجاتُ غليانٍ منخفضة، ويُبيّن الجدول (4) بعض الألكينات و خصائصها الفيزيائية.

يتّضحُ من الجدول أنّ درجة غليان الألكين تزداد بزيادة عدد ذرات الكربون (الكتلة المولية للمُركّب)، وأن الحالة الفيزيائية للألكينات الثلاثة الأولى غازيّةٌ، ثم تصبح سائلة للألكينات التي بعدها إلى الألكين الذي يحتوي على 15 ذرة كربون، ثم تصبح صلبة في الألكينات التي تحتوي على أكثر من ذلك من ذرات الكربون.

الخصائص الكيميائية

تتميزُ الألكينات بأنها أنشط كيميائيًّا من الألكانات، ويعود ذلك إلى وجود الرابطة الثنائية التي تحتوي على رابطة باي π الضعيفة إذ يسهُل كسرها، وهي تُشكِّل مركز النشاط الكيميائي للمُركّب، الذي يُحدّد الخصائص الكيميائية له، وسنتعرّفُ في ما يأتي بعضًا منها.

تفاعُل الاحتراق

تتفاعُل الألكيناتُ مع كمية كافية من الأكسجين، وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، وكمية من الطاقة الحرارية.

$$C_2H_4 + 3O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O + \text{طاقة}$$

أكسدة الألكينات

تتأكسدُ الألكينات باستخدام محلول بيرمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$

البارِدِ ذي اللون البنفسجي، فتنكسر الرابطة الثنائية وينتج مُركّب عضوي عديم اللون يحتوي مجموعتي هيدروكسيل OH، ويتكون راسبٌ بُنّيٌّ مُحمرّ من أُكسيد المنغنيز (IV) MnO_2، كما في المعادلة الآتية:

$$3CH_2=CH_2 + 2KMnO_4 + 4H_2O \longrightarrow 3CH_2OHCH_2OH + 2KOH + 2MnO_2$$

بنفسجي — بُنّي مُحمَرٌّ

يستخدم هذا التفاعُل في التمييز بين الألكينات والألكانات، فعند تفاعُل الألكين مع محلول بيرمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$؛ يختفي لون المحلول البفسجي، ويتكون الراسب البني المُحمرّ لأُكسيد المنغنيز (IV) MnO_2، بينما لا يتفاعُل الألكان مع المحلول، ويبقى اللون البنفسجي ولا يتكون الراسب البُني المُحمرّ.

التجربة 1

أكسدةُ الألكينات باستخدام بيرمنغنات البوتاسيوم

الموادّ والأدوات:

هكسان، 2- هكسين، أنبوب اختبار عدد (2)، ماصّة، قطارة، محلول بيرمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$ (تركيزُه 0.5 %)، محلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

ارشادات السلامة:

- أتّبعُ إرشادات الأمن والسلامة في المختبر.
- أرتدي المعطف والقفازات والنظارات الواقية.
- أحذرُ أن يلامس محلول البيرمنغنات يديَّ أو ثيابي، وفي حالة حدوث ذلك أغسل يديَّ بالماء.

خطوات العمل:

1- **أقيسُ** باستخدام الماصة 1 mL من الماء المقطر وأضعُها في أنبوب الاختبار وأُرقّمه (1).

2- أضيفُ 5-7 نقاط من الهكسان باستخدام القطارة إلى الماء في الأنبوب رقم (1).

3- **ألاحظُ**: أُضيف 5 قطرات من كل من محلول بيرمنغنات البوتاسيوم ومحلول هيدروكسيد البوتاسيوم إلى الأنبوب (1)، وأستمرُّ في الرجِّ مدة دقيقة، أسجل ملاحظاتي.

4- **أُطبّق**: أُكرر الخطوات السابقة (1-4) باستخدام 2- هكسين في الأنبوب الثاني وأُرقّمه (2)، وأُسجل ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج

1- أُحدّدُ الأنبوب الذي يتكون فيه الراسب البنيُّ المُحمرّ.

2- **أُفسّر** اختفاء اللون البنفسجي وتكوين الراسب البنيِّ المُحمرّ.

تفاعُلات الإضافة

تحدث تفاعُلات الإضافة عندما ترتبطُ ذرات أخرى مع ذرّتي الكربون المُكوّنة للرابطة الثنائية في الألكين، وينتُج عن ذلكَ مُركّب مُشبَع، حيث تُكسر الرابطة π في الألكين ويحلّ محلّها رابطتان من النوع سيجما، فمثلًا عند إضافة الهيدروجين H_2 إلى الإيثين، يجري إضافة ذرتي هيدروجين إلى ذرتي كربون الرابطة الثنائية لينتج الإيثان، وتحدث هذه العملية بوجود أحد العوامل المساعدة كالنيكل Ni أو البلاتين Pt كما في المعادلة الآتية:

$$CH_2 = CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_3$$

أتحقَّقُ:

أكتبُ معادلة تفاعُل البروبين مع الهيدروجين وأُسمّي المُركّب الناتج.

الألكاينات Alkynes

الألكاينات Alkynes هي إحدى أنواع المُركّبات الهيدروكربونية التي تتميز بأنها تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة على الأقلّ بين ذرتي كربون متجاورتين، ولها الصيغة العامة C_nH_{2n-2}، وينتهي اسمها بالمقطع (اين). يعدُّ الإيثاين أصغر الألكاينات، وله الصيغة الجُزيئيّة C_2H_2 والصيغة البنائية $HC \equiv CH$ ويُعرف أيضًا باسم الاسيتيلين بصفته اسمًا شائعًا ويستخدم في قصِّ الفلزّات ولحامِها. أنظر الشكل (10)، وتُستخدم الألكاينات بصفتها مُذيباتٍ عُضويّة للمواد الكيميائية العضوية الأخرى.

الشكلُ (10): لحام الفلزات.

تسمية الألكاينات

تُسمّى الألكاينات بطريقة تسمية الألكينات نفسِها، ويُشتقُّ اسمها من الألكانات المقابلة باستبدال المقطع (اين) بالمقطع (ان) في سلسلة الألكان المقابلة كما في الخطوات الآتية،

1- أُحدّدُ السلسلة المستمرة الأكثر طولًا التي تحتوي على الرابطة الثلاثية.

2- أُرقّم السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثلاثية.

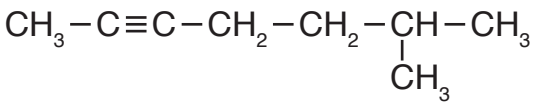
3- أُسمّي السلسلة الأكثر طولًا باسم الألكان المقابل مع استبدال المقطع (اين) بالمقطع (ان)، بحيث يسبق الاسم رقم ذرة الكربون الأقلّ في الرابطة الثلاثية.

4- أُرقّمُ مجموعات الألكيل المُتفرّعةَ، وأُسمّيها بطريقة الألكانات نفسها.

5- أكتبُ اسم المُركّب كاملًا.

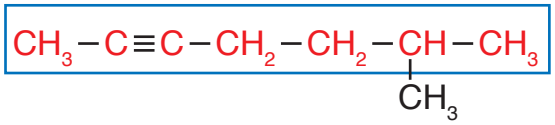
المثال 9

أُسمّي المُركّب الآتي:

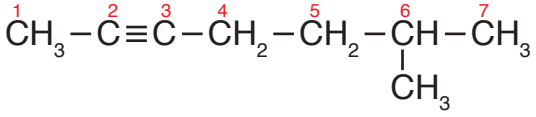


الحلُّ:

1 - أُحدّدُ السلسلة المستمرة الأطول التي تحتوي على الرابطة الثلاثية.



2 - أُرقّم هذه السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثلاثية كما في الشكل:



3 - أُسمّي السلسلة الأطول باسم الألكان المقابل مع استبدال المقطع (اين) بالمقطع (ان)، يسبق الاسم رقم ذرة الكربون الأقلّ في الرابطة الثلاثية؛ فيصبح اسم الألكاين هبتاين.

4 - أُرقّمُ مجموعات الألكيل المُتفرّعةَ، وأُسمّيها طريقة الألكانات نفسها، ألاحظُ وجود مجموعة ميثيل تقع على ذرة الكربون السادسة فيصبح اسمها 6- ميثيل

5 - أكتبُ اسم المُركّب كاملًا فيصبح 6- ميثيل -2- هبتاين

المثال 10

أرسم الصيغة البنائية للألكاين 4- إيثيل -1- هكساين

الحلُّ:

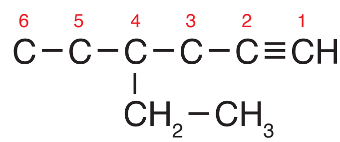
1 - أرسم 6 ذرات كربون تُمثّل الهكساين، وأضعُ الرابطة الثلاثية على الذرة الأولى.

$$C-C-C-C-C\equiv CH$$

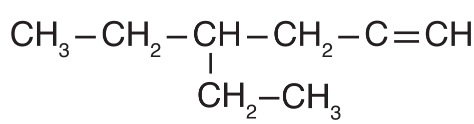
2 - أُرقّمُ السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثلاثية.

$$\overset{6}{C}-\overset{5}{C}-\overset{4}{C}-\overset{3}{C}-\overset{2}{C}\equiv\overset{1}{C}H$$

3 - أضعُ مجموعة الإيثيل CH_3CH_2- على ذرة الكربون رقم 4؛ فيصبح الشكل البنائي.

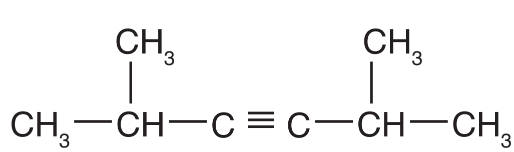


4 - أضعُ ذرات الهيدروجين على السلسلة؛ بحيث تصبح كلّ ذرة كربون ترتبط بأربع روابط كما في الشكل المجاور:



أتحقَّقُ:

1- أُسمّي المُركّب الآتي



2- أرسم الصيغة البنائية للمُركّب 3، 3- ثنائي ميثيل -1- بنتاين

الجدول (5): بعضُ الألكاينات وخصائصها الفيزيائية.

اسم الألكاين	الصيغة البنائية	درجة الغليان	الحالة الفيزيائية
إيثاين	$HC\equiv CH$	-84	غاز
بروباين	$CH_3C\equiv CH$	-23	غاز
1- بيوتاين	$CH_3CH_2C\equiv CH$	8	غاز
1- بنتاين	$CH_3CH_2CH_2C\equiv CH$	40	سائل

أستنتجُ العلاقة بين الكتلة المولية للألكاين ودرجة غليانه.

الخصائصُ الفيزيائية والكيميائية للألكاينات

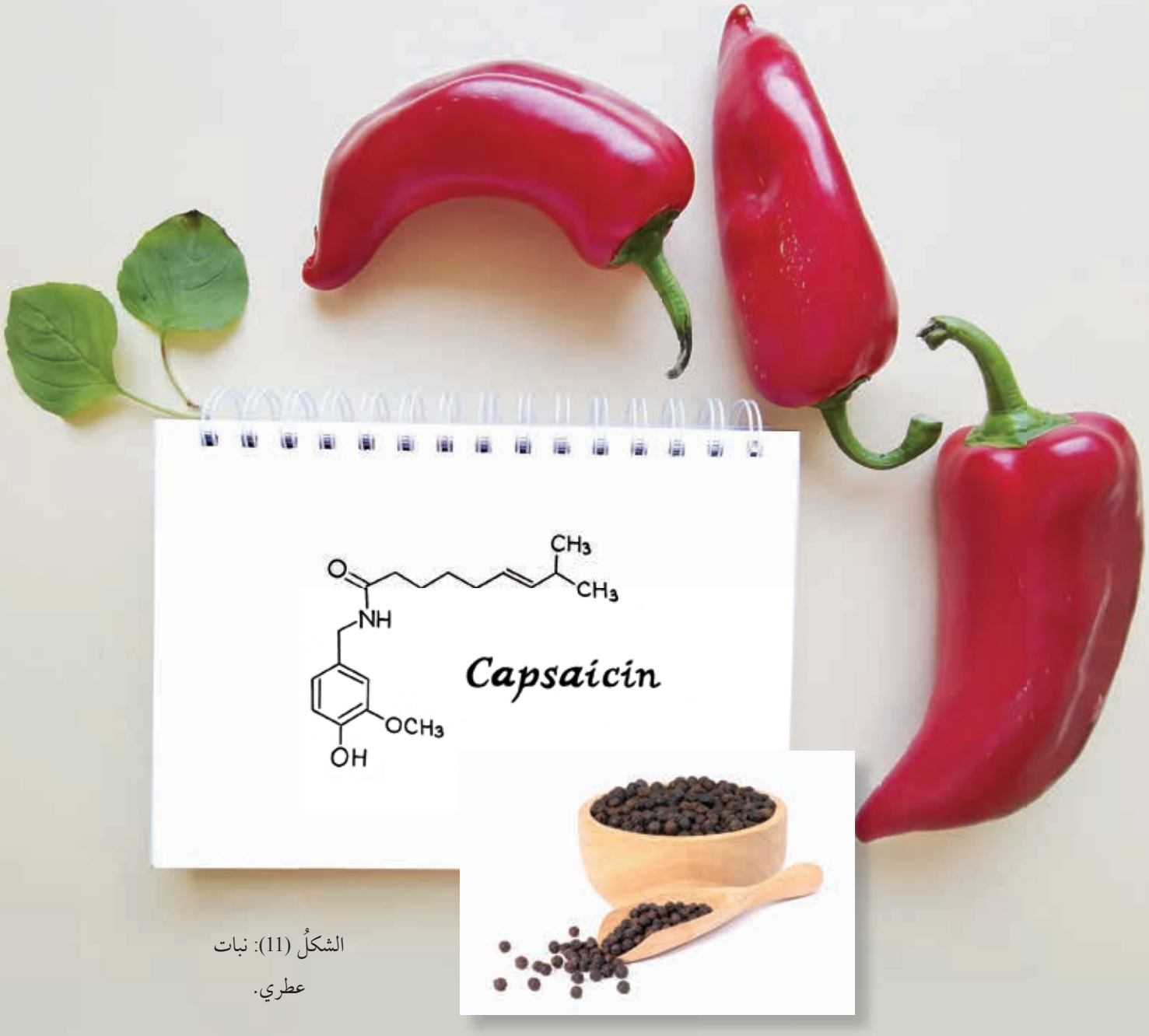
الخصائصُ الفيزيائية

تتشابه الألكاينات في خصائصها الفيزيائية مع بقية المُركّبات الهيدروكربونية؛ فهي غير قُطبيّة ولا تذوب في الماء، وتوجد في الحالات الفيزيائية الثلاث كما في الجدول رقم (5) الذي يوضح بعض الألكاينات وخصائصها الفيزيائية.

الخصائصُ الكيميائية

يحتوي الألكاينُ على رابطتي π الضعيفة سهلة الكسر التي تُشكّل مركزًا للنشاط الكيميائي منهُ، ومن تفاعُلات الألكاينات تفاعُل الاحتراق بوجود كمية وفيرةٍ من الأكسجين، وينتج عنه غاز ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، وكمية من الطاقة كما في تفاعُل احتراق الإسيتيلين الآتي:

$$2C_2H_2 + 5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 2H_2O + Heat$$

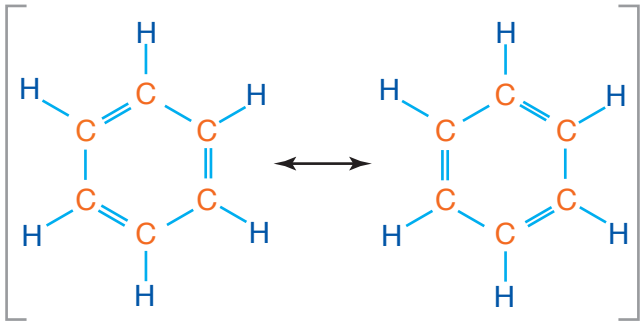


الشكلُ (11): نبات عطري.

المُركّباتُ الاروماتية العطرية (مُركّبات البنزين)

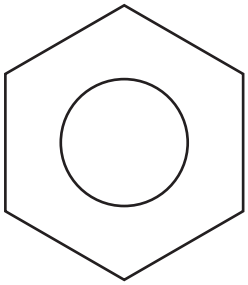
يُطلَقُ على المُركّبات الهيدروكربونية ذات الرائحة المميزة المُركّبات الأروماتية العطرية، والشكل (11) يُمثّل عددًا من النباتات العطرية التي تدخُل في تركيبها بعض أنواع هذه المُركّبات.

يُعدُّ البنزين أشهر المُركّبات الأروماتية، حيثُ جرى استخلاصُه عام 1825م، بواسطة العالم البريطاني مايكل فارادي من الغازات المنبعثة



الشكلُ (12):
الشكل البنائي
للبنزين.

عند تسخين زيوت الحيتان أو الفحم. وقد وجد الكيميائيون أنّ الصيغة الجُزيئيّة له C_6H_6. اقترح العالم فريدريك كيكوله شكلًا بنائيًّا للبنزين مُكوّنًا من حلقة سُداسيّة من ذرات الكربونِ تحتوي 3 روابطَ أُحاديّة و 3 روابط ثنائية متعاقبة، كما في الشكل (12). لكن هذا الشكل لم يستطع تفسير أن روابط البنزين لها الطول نفسه، وأن نشاطه الكيميائي أقلُّ من النشاط الكيميائي للألكينات، لذلك اقترحَ كيكوله أن تكون إلكترونات الروابط الثنائية مُتحرّكةً تتوزّعُ بانتظام في الحلقة على صورة غيمةٍ من الإلكترونات، وهذا يُفسّر تساوي طول الروابط في البنزين وضعف نشاطه الكيميائي؛ فالرابطة الثنائية ليست ثابتةً بين ذرتين، ومُثِّلت الصيغة البنائية للبنزين بحلقةٍ سُداسيّةٍ في داخلها دائرةٌ تشير إلى عدم ثبات الروابط الثنائية في مكان واحد في الحلقة، وحرية حركتها بين الذرات كما في الشكل (13). والمركباتُ الأروماتيّةُ تتكون من حلقةِ بنزينٍ أو أكثر.



الشكلُ (13):
الشكل البنائي لحلقة
للبنزين.

الربطُ مع الصناعة

يدخلُ البنزين بصفته مذيبًا عضويًّا في الكثير من الصناعات وفي المختبر؛ ومثالُ ذلك استخدامُهُ في تنظيفِ قطعِ آلاتِ الطباعة، بحيثُ تساعدُ عمليّةُ التنظيفِ هذهِ في أن تدومَ هذه الآلاتُ مدّةً أطولَ وتعملُ بكفاءةٍ أكبرَ. كما يدخلُ في صناعةِ الحبر والأصباغِ المُستخدَمة في عمليّاتِ الطباعةِ، ويدخلَ أيضًا في صناعة الدِّهانات؛ لأنّهُ يعملُ على بقائِها في الحالة السائلةِ.

خصائصُ المُركّبات الأروماتية

تُعدُّ حلقةُ البنزين حلقةً مستقرة؛ لذلك فإنَّ نشاطَها الكيميائي أقلّ من الألكينات والألكاينات، ويستخدم البنزين بصفته مذيبًا عضويًّا غيرَ قطبيٍّ. والبنزين مثلُ غيره من المُركّبات الهيدروكربونية لا يذوب في الماء، ويتميّزُ بأنه سائلٌ متطايرٌ ذو رائحة مميزة، ودرجة غليانه 80 °C.

أبحثُ: يستخدم البنزين ومشتقاته في الكثير من الصناعات الكيميائية، أرجعُ إلى مواقعَ إلكترونيّة مناسبة عبرَ شبكة الإنترنت، وأبحثُ عن أهمّ الاستخدامات الصناعية للبنزين ومشتقاته، وأكتبُ تقريرًا أو أُصمّمُ عرضًا تقديميًّا حولَ الموضوع، وأناقشُهُ معَ زملائي ومعلّمي.

الربطُ مع الصحة

شاع استخدام الكثير من المُركّبات الأروماتية وبخاصة البنزين، بوصفها مذيباتٍ صناعيةً ومُختبريّة؛ إلا أنّ الدراساتِ أظهرت ضرورة الحدّ من استخدام هذه المُركّبات؛ لأنّها تُؤثّر في صحة الأشخاص المُعرّضين لها بصورة مستمرة، وتشمل مخاطرُها أمراض الجهاز التنفسي والكبدِ والجهاز العصبي وقد تسبب السرطان.

الربطُ مع الحياة

تتميز المُركّبات الأروماتية بأنّها تعطي الرائحة المميزة للبهارات والتوابل، مثلَ مُركّب الفانيلين $C_8H_8O_3$ الذي يُعطي الرائحةَ المُميّزة لنبات الفانيليا، التي تظهر نبتتها في الشكل.

الصيغة البنائية لمركب الفانيلين.

زهرة نبات الفانيليا.

مراجعةُ الدرس

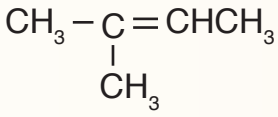
1 - **الفكرة الرئيسة:** أُفسّرُ سبب تسمية المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة

2 - **أوضّحُ** المقصود بالآتي:

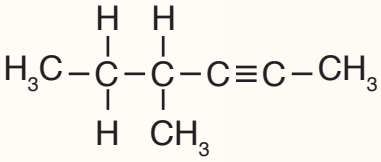
- الألكين
- الألكاين
- المُركّبات الأروماتية

3 - أُسمّي المُركّبات الآتية وفقَ نظام التسمية العالمي IUPAC

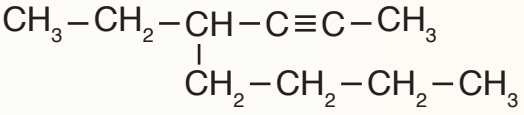
أ.



ب.



جـ.



4 - **أُفسّر:** درجة غليان 1- بنتين أكبر من درجة غليان بروبين

5 - **أرسم** مُتصاوغاتٍ بنائيّةً للصيغة الجُزيئيّة C_4H_8

6 - **أرسم** الصيغةَ البنائيّةَ لكلّ من المُركّبين الآتيين:

أ. 4، 4- ثنائي ميثيل -1- بنتين

ب. 2، 3- ثنائي ميثيل -4- نوناين

هرمونُ الإيثين

الهرموناتُ النباتيةُ مُركّبات عضوية تُنتجها النباتات بكميات قليلة، وتعمل على تسريع نموّ النبات، ومن هذه الهرمونات هرمون الإيثين واسمه الشائع (هرمون الإيثلين)؛ وهو هرمون نباتيٌّ طبيعيٌّ يوجد في الحالة الغازية عكس الهرمونات النباتية الأخرى، ويصنّعُ في الثمار، ولهُ دورٌ في نُضجِها، ويستخدم في إنضاجُ الثمار داخل الغرف المُخصّصة لتخزينها، فحين تُقطَف الفواكه قبل نضجها لإتاحة الوقت لنقلها وطرحها في الأسواق؛ يجري تعريض هذه الثمار إلى مصدر يبعث غاز الإيثين حال وصولها الغرف المُخصّصةِ للتخزين، ممّا يُعجّلُ نضجَها لتُعرض على المستهلك، كما في عملية إنضاج ثمار الموز، والمانغا، والبندورة، وغيرها. كما أنه يُسبّب تلفَ الفواكه عند زيادة كمية استخدامه. المشكلة تبدأ حين يلفُّ غاز الإيثينِ محيطَ فاكهة لم تنضج بعد، فوجوده يُشجع تلك الفاكهة على النضج السريع فتسبق أوانها، وحين تكون ناضجةً يُحفّزها على مزيد من النضج، وبالتالي ستتعفّنُ وتصبح غير صالحةٍ للأكل، ويمكن ملاحظُة هذه الظاهرة عند وضع مجموعة مختلفةِ الأنواع من الفواكه، ومنها التفاح في المطبخ في طبق واحد، حيث نلاحظُ تَعفُّن هذه الثمار بصورة أسرع بسبب إطلاق التفاح لغاز الإيثين أكثر من غيره من الفواكه الأُخرى، لذلك؛ يجبُ عزل التفاح عن هذه الفواكه، ويجبُ أن لا تقلّ المسافةُ بين الصحنين عن نصف متر في أقلّ تقدير، ولا يقتصر هذا على التفاح؛ بل يشملُ البندورة، والمشمش، والإجاص، والخوخ، وجميعُها من بواعث غاز الإيثين.

أبحث يستفاد من هرمون الإيثين في الكثير من العمليات الحيوية في النبات؛ مستعينًا بمصادر المعرفة المُختلفة أبحثُ عن طريقة تحضير هرمون الإيثين في النبات، وأكتبُ تقريرًا أو أُصمّمُ عرضًا تقديميًّا حولَ الموضوع، وأناقشُهُ معَ زملائي ومعلّمي.

1 . أوضّحُ المقصودَ بكلّ من:

- المُركّبات الأليفاتية.
- الهيدروكربونات غير المشبعة.

2 . **أُفسّرُ**: تتحوّلُ الألكانات من الحالة الغازية إلى السائلة إلى الصلبة بزيادة كتلتها المولية.

3 . **أرسم** متصاوغات الصيغة الجُزيئيّة C_7H_{16} وأُسمّيها.

4 . أكتبُ الصيغةَ البنائية لكلٍّ من المُركّبات الآتية:

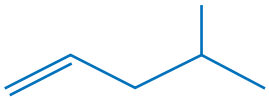
أ – 3- إيثيل هبتان.

ب – 2- نونين.

جـ – 3،3،2- ثلاثي ميثيل -1- هكسين.

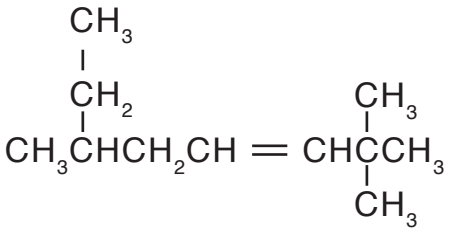
5 . أُسمّي المُركّبات الآتية:

أ –



ب –

جـ –



6 . أكتبُ معادلةً موزونة لتفاعُل البروبان مع الأكسجين.

7 . أصفُ خواص البنزين التي تجعله مُركّبًا قليل التفاعُل.

8 . أُحدّدُ الخطأ في اسم المُركّب 2- إيثيل -2 - بيوتين.

9 . أرتب الألكينات الآتية حسب درجة غليانها تصاعُديًّا:

- 1- بيوتين
- 1- هكسين
- 1- بنتين

10. **أختارُ رمز الإجابة الصحيحة لكلّ فقرة مما يأتي:**

1) الصيغة الجُزيئيّة لألكانٍ يحتوي على 12 ذرة كربون هي:

أ – $C_{12}H_{24}$ ب – $C_{12}H_{22}$

جـ – $C_{12}H_{26}$ د – $C_{12}H_{20}$

2) الصيغةُ الجُزيئيّة لألكينٍ يحتوي على 14 ذرّةِ كربونٍ هي:

أ – $C_{14}H_{28}$ ب – $C_{14}H_{30}$

جـ – $C_{14}H_{26}$ د – $C_{14}H_{32}$

3) الصيغة الجُزيئيّة لألكايٍن يحتوي على 16 ذرة هيدروجينٍ هي:

أ – C_8H_{16} ب – C_9H_{16}

جـ – $C_{10}H_{16}$ د – $C_{11}H_{16}$

4) أحد المُركّباتِ الآتية يُعدُّ من المُركّبات الأروماتية هو:

أ – إيثين. ب – هكسين.

جـ – هبتين. د – بنزين.

5) عددُ متصاوغات الهبتان هو:

أ – 9 ب – 8

جـ – 6 د – 7

6) يسمى المُركّب C_6H_{12}

أ – هبتان. ب – هبتين.

جـ – هبتاين. د – هكسين.

7) المُركّب الذي ليس له متصاوغات هو:

أ – البروبان. ب – البيوتان.

جـ – الهكسين. د – الهبتان.

الوحدةُ 7

مشتقاتُ المُركّبات الهيدروكربونية

Derivatives Of Hydrocarbons

أتأمَّلُ الصورة

تعودُ النكهة الفريدة والرائحة المميزة للبهارات لاحتوائها على مُركّبات عضوية، فما هذه المُركّبات؟ وما صيغها الكيميائية؟ وبماذا تختلف عن المُركّبات الهيدروكربونية؟

الفكرةُ العامّة:

تُصنّفُ مشتقاتُ المُركّبات الهيدروكربونية وفقَ المجموعات الوظيفية التي تُحدّد خصائصها الفيزيائية والكيميائية، وتُصنّفُ المُبلمَرات وفقَ طريقة تكونها ولكلّ منها خصائصه واستخداماته.

الدرسُ الأول: هاليدات الألكيل، الكحولات، الإيثرات والأمينات.

الفكرةُ الرئيسة: عندما تحلُّ مجموعةٌ وظيفية محل ذرّة هيدروجين أو أكثر في المُركّبات الهيدروكربونية يتكون مُركّب جديد له خصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة تُميّزه عن غيره من المُركّبات.

الدرسُ الثاني: مُركّبات الكربونيل ومُركّبات الكربوكسيل ومشتقاتها.

الفكرةُ الرئيسة: تتكوّن مجموعة الكربونيل من ذرة كربون مرتبطة برابطة ثنائية مع ذرة أكسجين، وتُعدُّ مجموعة وظيفيّةً رئيسة في بعض المُركّبات وجزءًا من مجموعات وظيفية في مُركّبات أخرى.

الدرسُ الثالث: المُبلمَرات

الفكرةُ الرئيسة: المُبلمراتُ مُركّباتٌ ضخمة طبيعيـة أو صناعية، لكلٍّ منها أهميته واستخداماته المرتبطة بتركيبه وخصائصه.

التصاوغ الوظيفي

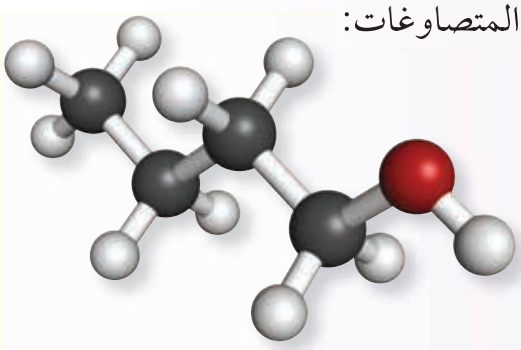
المـوادّ والأدوات: مجموعـة نماذج الجزيئـات (الكرات والوصلات).

إرشاداتُ السلامة:

- أتّبعُ إرشاداتِ السلامة العامّة في المختبر.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقُفّازات.

خطواتُ العمل:

1. أختار 4 كرات تحتوي كل منها 4 ثقوبٍ تُمثّل ذرات الكربون، وكرةً واحدةً تحتوي على ثقبين تُمثّل ذرة الأكسجين، و 10 كرات تحتوي كل منها ثقبًا واحدًا تُمثّل ذرات الهيدروجين.
2. أُجرّب: أصلُ الكُراتِ معًا بالوصلات بطرائق مختلفة؛ بحيث أحصلُ على أكبر عدد من المتصاوغات للصيغة الجُزيئيّة $C_4H_{10}O$. والشكل الآتي يُمثّل أحد هذه المتصاوغات:



3. أرسم صيغًا بنائيةً للمتصاوغات التي حصلت عليها.

التحليلُ والاستنتاج:

1- أُحدّدُ عدد المتصاوغات التي حصلت عليها.

2- أصنّفُ المتصاوغات حسب ارتباط ذرة الأكسجين مع باقي الذرات.

3- أتوقع المتصاوغات المتشابهة في خصائصها الفيزيائية والكيميائية، أُبرّر توقُّعي.

هاليدات الألكيل، الكحولات، الإيثرات والأمينات
Alkyl Halides, Alcohols, Ethers and Amines

الدرسُ 1

الفكرةُ الرئيسة :
عندما تحلُّ مجموعةٌ وظيفيّة محل ذرّة هيدروجين أو أكثر في المُركّبات الهيدروكربونية يتكون مُركّب جديد له خصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة تُميّزه عن غيره من المُركّبات.

نتاجاتُ التعلُّم :
- أُميّزُ بين المُركّبات العضوية هاليدات الألكيل، والكحولات، والإيثرات والأمينات بناء على المجموعة الوظيفية المميزة لها.
- أُطبّق قواعد التسمية وفقَ نظام الأيوباك لتسميتها وأكتبُ صيغًا بنائية لها.
- أُفسّر بعض الخصائص الفيزيائية لبعض المُركّبات العضوية كهاليدات الألكيل والكحولات والإيثرات والأمينات بناءً على تركيبها البنائي أو مجموعاتها الوظيفية.

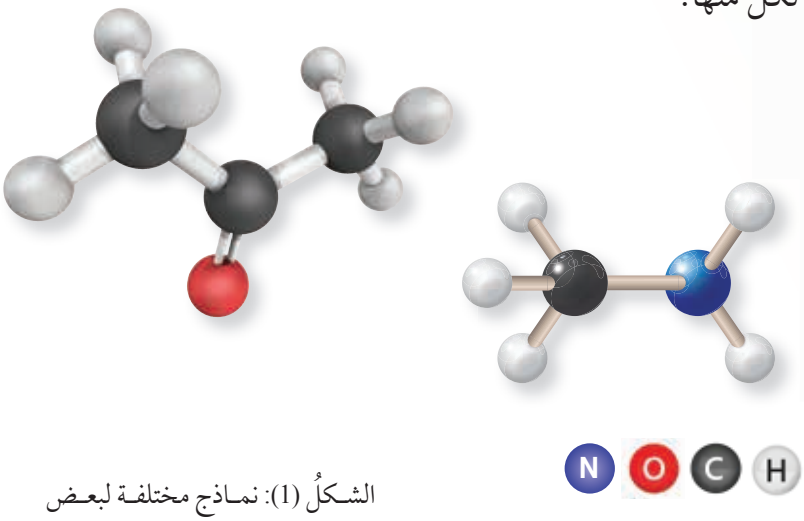
المفاهيمُ والمصطلحات :
مشتقاتُ المُركّبات الهيدروكربونية Derivatives of Hydrocarbons
مجموعةٌ وظيفية Functional Group
هاليدات الألكيل Alkyl Halides
الكحولات Alcohols
الإيثرات Ethers
الأمينات Amines
التصاوغ الوظيفي Functional Isomerism

المجموعات الوظيفية Functional Groups

توجد ملايين المُركّبات العضوية لكلّ منها خصائصه الفيزيائية والكيميائية الخاصة به. وقد صُنّفت هذه المُركّبات إلى أنواع عدّةٍ اعتمادًا على التشابُه في تركيبها البنائي؛ إذْ وجد أن هناك مجموعةً من المُركّبات العضوية تحوي -بالإضافة للكربون والهيدروجين- ذرّةً أو أكثر من عناصر أخرى؛ مثل الأكسجين، أو النيتروجين، أو الهالوجينات، أو الكبريت، أو الفسفور. وسُمّيت هذه المُركّبات **مشتقات المُركّبات الهيدروكربونية Derivatives of Hydrocarbons.**

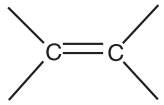
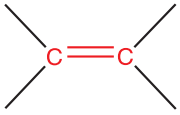
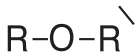
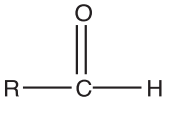
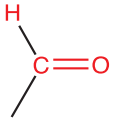
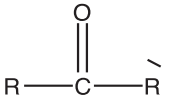
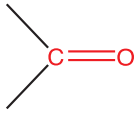
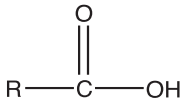
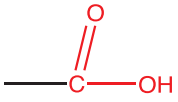
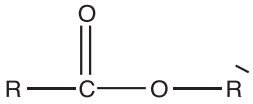
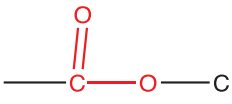
إن وجود هذه الذرات وطريقة ترابُطِها مع الكربون يُكسب المُركّب خصائصَ كيميائيّةً محدّدةً ومميزةً له.

وقد سُمّيت الذرة، أو مجموعة الذرات، أو الروابط المسؤولة عن الخصائص المميزة للمُركّب العضوي التي تُعدُّ مركز النشاط الكيميائي فيه **المجموعةَ الوظيفيّةَ Functional Group**، أنظر الشكل (1). وتتشابهُ المُركّبات العضويةُ التي تحتوي على المجموعة الوظيفية نفسِها في خصائصها الكيميائية، ويُوضّح الجدول (1) تصنيفَ المُركّبات العضوية حسب المجموعة الوظيفية المميزة لكلٍّ منها.

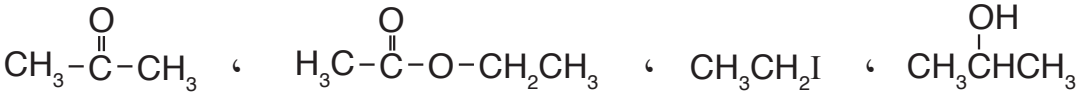


الشكلُ (1): نماذج مختلفة لبعض المشتقات الهيدروكربونية.

الجدول (1): تصنيف المُركّبات العضوية حسب المجموعة الوظيفية المميزة لكلّ منها.

نوع المُركّب العضوي	الصيغة العامة للمُركّب العضوي	اسم المجموعة الوظيفية وصيغتَها	
الألكينات		رابطة ثنائية	
الألكاينات		رابطة ثلاثية	
هاليدات الألكيل	R–X	هالوجين	–X حيث X تُمثّل أحد الهالوجينات: (I, Br, Cl, F)
الكحولات	R–OH	هيدروكسيل	–OH
الإيثرات		إيثر	– O –
الأمينات	$R-NH_2$	أمين	$-NH_2$
الألديهايدات		كربونيل	
الكيتونات			
الحموض الكربوكسيلية		كربوكسيل	
الإسترات		إستر	

✓ **أتحقَّقُ**: أصنّفُ المُركّبات العضوية الآتية حسب نوعها:



الشكلُ (2): بعض الكائنات الحية البحرية التي تُنتج هاليداتٍ عُضويّةً.

هاليداتُ الألكيل Alkyl Halides

كان الاعتقادُ السائد أن هاليداتِ الألكيل من المُركّبات العضوية قليلة الانتشار في الطبيعة؛ ولكن تبيّنَ أن عددًا من الكائنات الحيّة تقوم بإفرازها، فمثلًا تُنتج الأعشاب البحرية كميّاتٍ هائلةً من كلوروميثان CH_3Cl، ويُنتِج النملُ الأبيض الكلوروفورم $CHCl_3$، ويُنتِج الإسفنج البحريُّ والمرجان هاليداتٍ عُضويّةً كنوع من الحماية لإبعاد الأسماك والحيوانات المفترسة، أنظرُ الشكل (2).

وتُعرّف **هاليدات الألكيل Alkyl Halides**؛ بأنها مُركّباتٌ هيدروكربونية حَلّت فيها ذرة هالوجين أو أكثر محلّ ذرة أو ذرات هيدروجين، وصيغتُها العامّةُ R-X، حيث تُمثّل R مجموعة ألكيل، أمّا X فتُمثّل إحدى ذرات الهالوجينات (فلور F، كلور Cl، بروم Br، يود I).

تسميةُ هاليدات الألكيل:

توجد طريقةٌ شائعة لتسمية هاليدات الألكيل؛ حيث ينظر للمُركّب على أنه مُكوّنٌ من جزئين أحدهما يُمثّل الهالوجين، ويُسمّى هاليدًا، أمّا الجزءُ الآخر فيُمثّل مجموعة الألكيل R مثل (الميثيل، الإيثيل، بروبيل...)، الجدول (2) يتضمنُ أمثلةً عليها:

الجدول (2): أسماء شائعة لبعض هاليدات الألكيل.

الصيغةُ البنائية	CH_3F	$CHCl_3$	CH_3CH_2Br
الاسمُ الشائع	فلوريد الميثيل	ثلاثي كلوريد الميثيل (الكلوروفورم)	بروميد الإيثيل

وتُسمّى هاليدات الألكيل وفقَ نظام التسمية الدولي الأيوباك IUPAC بالطريقة نفسها التي تُسمّى بها الألكانات؛ إذْ يُعامَلُ الهالوجين بوصفه تفرُّعًا على سلسلة الألكان، ويكون الاسم العام لها هالو ألكانات. والأمثلة الآتية توضح الخطوات المُتّبعة في التسمية:

المثال 1

أُسمّي المُركّب الآتي وفق نظام الأيوباك: $CH_3-\underset{\underset{Br}{|}}{CH}-CH_2-CH_2-CH_3$

الحلُّ:

1 - أُحدّدُ أطولَ سلسلةٍ كربونيّةٍ تتضمّن الهالوجين، وأُسمّيها حسب عدد ذرات الكربون فيها.

$$CH_3-\underset{\underset{Br}{|}}{CH}-CH_2-CH_2-CH_3$$

أُلاحظ وجودَ سلسلةٍ كربونيّةٍ واحدةٍ عدد ذرات الكربون فيها (5)؛ فأُسمّيها بنتان .

2 - أُحدّدُ ذرة الهالوجين وموقعها على السلسلة؛ بحيث أُرقّم السلسلة من الجهة التي يكون فيها لِذرّة الكربون المرتبطة بذرة الهالوجين أقلّ رقمٍ مُمكن، لمعرفة ذلك أُرقّم السلسلة بدءًا من جهة اليمين، ومرة أخرى بدءًا من جهة اليسار:

$$\overset{5}{CH_3}-\overset{4}{\underset{\underset{Br}{|}}{CH}}-\overset{3}{CH_2}-\overset{2}{CH_2}-\overset{1}{CH_3}$$

الترقيمُ الأول

$$\overset{1}{CH_3}-\overset{2}{\underset{\underset{Br}{|}}{CH}}-\overset{3}{CH_2}-\overset{4}{CH_2}-\overset{5}{CH_3}$$

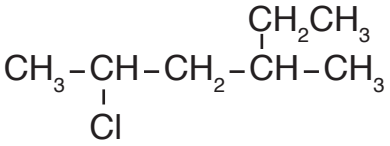
الترقيمُ الثاني

ألاحظُ أن المُركّب يحتوي ذرة بروم واحدة؛ وفي الترقيم الأول يكون رقم ذرة الكربون المرتبطة بذرة البروم 4، وفي الترقيم الثاني يكون رقمها 2، والصحيح هو الترقيم الثاني.

3 - لكتابة اسم المُركّب؛ أكتبُ رقم ذرة الكربون المرتبطة بذرة البروم متبوعًا بشرطة (-) لفصل الأرقام عن الكلّمات (2-)، ثم أُسمّي الهالوجين على وزن (هالو)؛ فيكون (2- برومو)، ثم أكتبُ اسم الألكان الذي يُمثّل سلسلة الكربون وهو بنتان؛ فيكون الاسم: 2- برومو بنتان

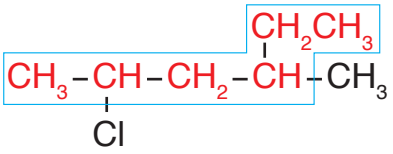
المثال 2

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ نظامِ الأيوباك:



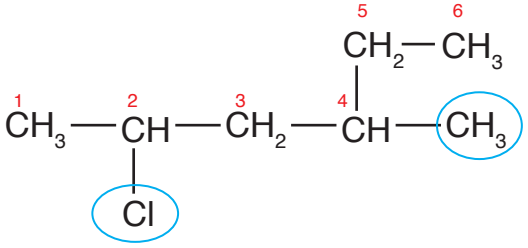
الحلُّ:

1 - أُحدّدُ أطول سلسلةٍ كربونيّةٍ مستمرّةٍ تتضمن الهالوجين (الكلور)، وأُسمّيها حسب عدد ذرات الكربون فيها.



ألاحظُ أنَّ أطولَ سلسلةٍ مكوّنةٍ من ستّ ذراتِ كربون؛ فتُسمّى هكسان.

2 - أُحدّدُ التفرُّعات ومواقعها؛ بحيث أُرقّم السلسلة من الجهة التي يكون فيها لذرات الكربون المرتبطة بكلٍّ من ذرة الكلور أو مجموعة الميثيل أقلّ أرقام ممكنة.

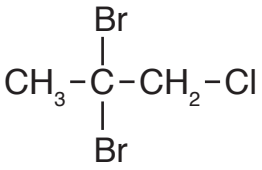


ألاحظُ وجود ذرّةِ كلورٍ واحدةٍ مُرتبطةٍ بذرة كربون رقم 2، ومجموعة ميثيلٍ واحدةٍ مرتبطة بذرة كربون رقم 4.

3 - أكتبُ اسم المُركّب باتّباع الخطوات ذاتها في المثال السابق، مع إضافة رقم ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الميثيل واسمُها (4- ميثيل)، ويُراعى الترتيب الهجائي باللغة الإنجليزية عند كتابة الاسم، لذلك؛ يُكتب الكلور قبل الميثيل فيكون الاسم: 2- كلورو -4 - ميثيل هكسان

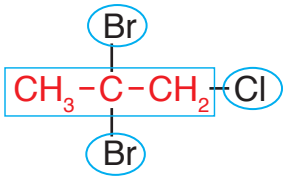
المثال 3

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ نظام الأيوباك:



الحلُّ:

1 - أُحدّدُ أطول سلسلةٍ كربونيةٍ مُستمرّةٍ تتضمّنُ الهالوجين، وأُحدّدُ ذرات الهالوجين، وأُرقّم من الجهة التي تعطي لذرات الكربون المرتبطة بها أقلّ أرقام ممكنة.



ألاحظُ أن المُركّب يتكوّن من سلسلةٍ مكوّنةٍ من 3 ذرات كربون فتُسمّى بروبان، أُرقّمها من الطرف الأقرب لذرة الكلور؛ فتأخذ ذرة الكربون الرقم 1، وتأخذ ذرة الكربون المرتبطة بذرتي البروم الرقم 2.

2 - أكتبُ اسم المُركّب مراعيًا أن يُكتب البرومُ قبل الكلور حسب الترتيب الأبجدي، وأفصِلُ بين الأرقام المتتالية بفاصلة، وبين الأرقام والكلّمات بشرطة (-)، ونظرًا لوجود ذرتي بروم تُستخدم البادئة (ثنائي) للدلالة على عددها فيكون الاسم:

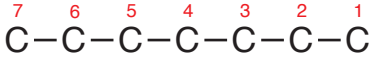
2 ، 2- ثنائي بروم - 1 - كلوروبروبان

المثال 4

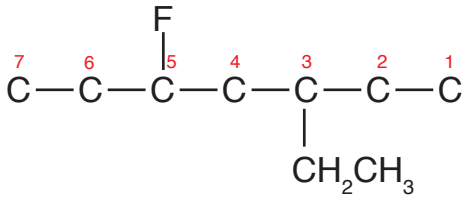
أكتبُ الصيغة البنائية للمُركّب: 3- إيثيل - 5 - فلورو هبتان

الحلُّ:

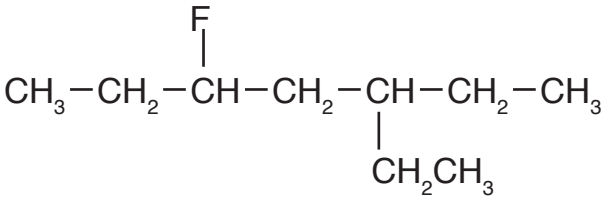
1 - أكتبُ عدد ذرات الكربون التي تُمثّل الألكان أو أطول سلسلةٍ كربونيّةٍ مُستمرّةٍ، وهو هبتان أي 7 ذرات كربون، وأُرقّمها من أي طرف:



2 - أربط كُلًّا من مجموعة الإيثيل وذرة الفلور بذرة الكربون التي تُمثّل موقعها على السلسلة الكربونية كما تظهر في اسم المُركّب:



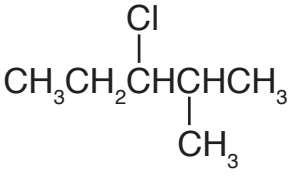
3 - أُكمل عدد روابط الكربون مع الهيدروجين؛ بحيث يصبح مجموع الروابط حول كلّ ذرة كربون 4 روابط كالآتي:



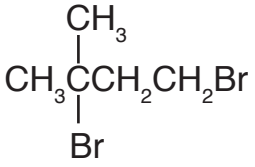
أُلاحظُ –في هذا المثال– أن مجموعة الإيثيل وذرة الفلور تأخذان الأرقام ذاتها عند الترقيم من طرفي سلسلة الكربون، لذا اعتُمد الترتيب الهجائي لبداية الترقيم.

✓ **أتحقَّقُ:** أُسمّي المُركّبات الآتية وفقَ نظام الأيوباك:

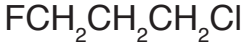
-1

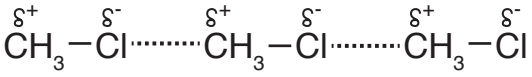


-2



-3





الشكلُ (3): قوى ثنائية القطب بين جزيئات كلورو ميثان.

الخصائص الفيزيائية لهاليدات الألكيل:

تُعدُّ الرابطة بين ذرة الهالوجين وذرة الكربون في هاليدات الألكيل رابطةً قُطبيةً، حيث إنَّ معظم الهالوجينات لها سالبيةٌ كهربائيةٌ أعلى من ذرة الكربون، لذلك فهاليداتُ الألكيل مُركّباتٌ قطبيةٌ تترابط بقوى تجاذُبٍ ثنائية القطب، ويوضح الشكل (3) قوى ثنائية القطب بين جزيئات كلوروميثان.

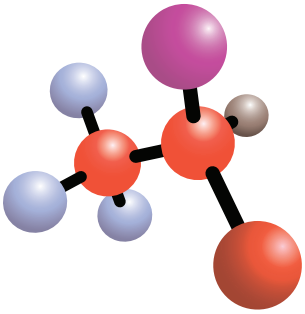
تتأثّر الخصائصُ الفيزيائية لهاليدات الألكيل بقوى التجاذب بين جزيئاتها، ويوضح الجدول (3) درجات غليان الإيثان وعددًا من هاليدات الألكيل، يلاحظُ أن درجة غليان الإيثان أقلّ منها لفلورو إيثان؛ فجزيئاتُه غيرُ قطبيّةٍ تترابط بقوى لندن الضعيفة، بينما فلورو إيثان جزئ قطبيٌّ تترابط جزيئاته بقوى ثنائية القطب، لذلك درجة غليانه أعلى. وعند مقارنة درجات غليان هاليدات الإيثيل الواردة في الجدول يُلاحظ ازدياد درجة الغليان بالانتقال من فلورو إيثان إلى بورمو إيثان، وتفسير ذلك؛ أنّه بزيادة الكتلة الذرية للهالوجين تزداد الكتلة المولية لهاليد الألكيل، فتزدادُ قوى التجاذب بين جزيئاته، وتزداد درجة غليانه.

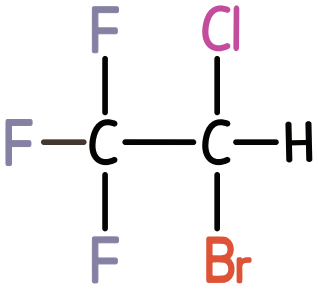
الجدول (3): درجات غليان بعض هاليدات الألكيل.

المُركّب	درجة الغليان (°C)
CH_3CH_3	- 89
CH_3CH_2F	- 37
CH_3CH_2Cl	12
CH_3CH_2Br	38

تتواجد غالبية هاليدات الألكيل بالحالة السائلة أو الصلبة عند درجة الحرارة العادية (25 °C). وغالبًا لا تذوب هاليدات الألكيل في الماء رغم قُطبيّتها؛ وذلك لأن قوى التجاذب ثنائية القطب التي تنشأ بين جزيئات هاليد الألكيل وجزيئات الماء ضعيفةٌ لا تتغلب على قوة الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء، بالإضافة إلى الترابط بين جزيئات هاليد الألكيل نفسه.

Halothane





الشكلُ (4): الصيغة البنائية للهالوثان.

ولهاليدات الألكيل أهميّةٌ في الصناعة فقد تستخدم مباشرة أو تُحضّرُ منها مركباتٌ مهمّةٌ، فمثلًا؛ استُخدِم الكلوروفورم $CHCl_3$ قديمًا كمادة مخدّرة في العمليات الجراحية، وبسبب آثاره الجانبية حل محلَّهُ هاليدُ ألكيلٍ آخر سمي الهالوثان، أنظرُ الشكل (4). وتستخدم هاليدات الألكيل أيضًا كمذيباتٍ عُضويّةٍ، مثل ثلاثي كلورو إيثين C_2HCl_3 الذي يُستخدم في الصناعات الالكترونية، واستخدم ثلاثي كلورو فلورو ميثان CCl_3F كمادة نفخ في صناعة البلاستيك الرغوي (الفوم)، أنظر الشكل (5)، ويستخدم كلورو إيثين في صناعة أكثر أنواع البلاستيك استخدامًا، حيثُ يُستخدم في تمديدات شبكات المياه والصرف الصحي، أنظر الشكل (6)، كما تستخدم بعض المُركّبات الهيدروفلوروكربونية كغازاتٍ مُبرّدةٍ في الثلاجات وأجهزة التبريد.

الشكلُ (5): البلاستيك الرغوي (الفوم).

أُفكِّر: **أُفسر**: درجة غليان

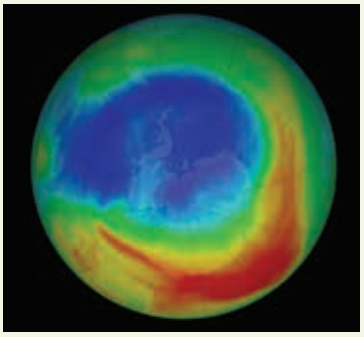
1- برومو بروبان أعلى من درجة غليان برومو إيثان.

✓ **أتحقَّقُ:** **أتوقع**: أي المُركّبين له أعلى درجة غليان:

2- كلورو بيوتان أم 2- أيودو بيوتان

الشكلُ (6): البلاستيك المستخدم في التمديدات الصحية.

الربطُ مع البيئة



أدّى الاستخدام الواسعُ للمُركّبات الكلوروفلوروكربونية CFCs مثل CCl_2F_2 إلى الإضرار بطبقة الأوزون، لأنها تتحلّل بفعل الأشعة فوق البنفسجية مُحرّرةً ذرة كلور منفردة تتفاعلُ مع الأوزون وتُفكّكه، ويمكن لذرة كلور واحدة أن تتسبب في تفكُّك مئات الآلاف من جزيئات الأوزون. وقد حلّت المُركّبات الهيدروفلوروكربونية HFCs، ومنها CF_3CH_2F محلّها. تُظهِر الصور الملتقطة تحسُّنًا واضحًا على طبقة الأوزون وعلى صغر حجم ثقب الأوزون حسب وكالة ناسا الفضائية.

الكُحولاتُ Alcohols

أصبحَ استخدامُ مُعقّمات الأيدي شائعًا في الأمّاكن العامة مثل المستشفيات، والمطاعم، والأسواق التجارية، وغيرها؛ إذْ تحتوي هذه المُعقِّمات على مواد تؤدي للقضاء على الميكروبات للحدّ من انتقال الأمراض، ورغم اختلاف المُعقّمات في بعض مكوّناتها؛ إلا أنّ معظمها يشترك في المادة الفعالة فيها وهي الكحول، أنظر الشكل(7).

فما هي الكحولات؟ وكيف تجري تسميتها؟

تُعرّفُ **الكحولات Alcohols** بأنها مُركّباتٌ عضوية صيغتها العامة R-OH، حيث تُمثّل مجموعة الهيدروكسيل (-OH) المجموعة الوظيفية المميزة لها وتُمثّل R مجموعة ألكيل.

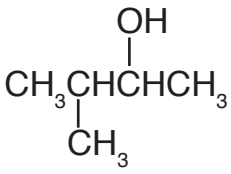
الشكلُ (7): مواد مختلفة تحتوي على الكحولات.

تسميةُ الكحولات

تُسمّى الكحولات وفقَ نظام الأيوباك بإضافة المقطع (ول) إلى اسم الألكانِ المقابل فيصبح الاسم العام له (ألكانول)، والأمثلة الآتية تُوضّح الخطوات المُتبعة في التسمية.

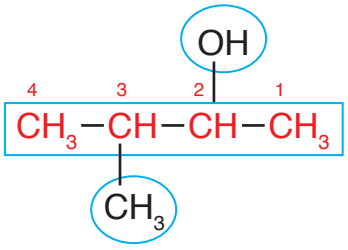
المثال 5

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ تظام الأيوباك:



الحلُّ:

أُحدّدُ أطول سلسلةٍ كربونيّةٍ مستمرةٍ تتضمّن المجموعة الوظيفية (OH-) وأُسمّيها، ثم أُرقّمها من الجهة الأقرب للمجموعة الوظيفية، ثم أُحدّدُ موقع ارتباط مجموعة الهيدروكسيل ،وأحدد موقع مجموعة الألكيل وأُسمّيها.

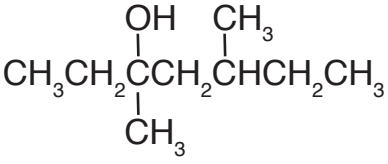


ألاحظُ أن أطول سلسلةٍ كربونيةٍ مكوّنةٍ من 4 ذرات كربون، وأن مجموعة الهيدروكسيل مرتبطةٌ بذرة الكربون رقم 2، وأن مجموعة ميثيل مرتبطةٌ بذرة الكربون رقم 3 فيكون اسم المُركّب:

3- ميثيل -2- بيوتانول

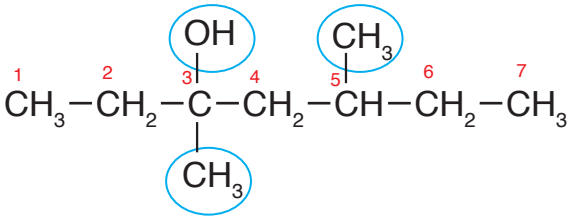
المثال 6

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ تظام الأيوباك:



الحلُّ:

أُحدّدُ أطول سلسلةٍ كربونيّةٍ مستمرةٍ تتضمن مجموعة الهيدروكسيل وأُسمّيها، ثم أُرقّمها من الجهة الأقرب للمجموعة الوظيفية، ثم أُحدّدُ موضع ارتباط مجموعة الهيدروكسيل، وأحدد موقع مجموعات الألكيل وأُسمّيها.



ألاحظُ أن أطول سلسلةٍ كربونيّةٍ مكوّنةٍ من 7 ذرات كربون، وأُرقّم السلسلة من جهة اليسار الأقرب لمجموعة OH؛ فيكونُ رقم ذرة الكربون المرتبطة بها 3، وترتبط مجموعتا ميثيل بذرّتي الكربون رقم 3 و 5؛ فيكون اسم المُركّب: 3 ، 5- ثنائي ميثيل -3- هبتانول.

الجدول (4): بعض أنواع الكحولات وفقَ عدد مجموعات الهيدروكسيل.

نوع الكحول	مثال	الاسم الشائع	الاسم النظامي
أحادي الهيدروكسيل	CH_3CH_2OH	كحول الإيثيل	إيثانول
ثنائي الهيدروكسيل	$CH_2(OH)-CH_2(OH)$	جلايكول الإيثلين	1،2- إيثان دايول
ثلاثي الهيدروكسيل	$CH_2(OH)-CH(OH)-CH_2(OH)$	الجليسرول	1،2،3- بروبان ترايول

إحدى طرائق تصنيف الكحولات تعتمد على عدد مجموعات الهيدروكسيل (-OH) المرتبطة بسلسلة الكربون، والجدول (4) يُوضّح بعض أنواع الكحولات وأمثلة عليها.

أتحقّقُ:

1- أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ تظام الأيوباك: $CH_3CH_2C(CH_3)(CH_2OH)CH_2CH_3$

2- أكتبُ الصيغة البنائية للمُركّب الآتي:

3- إيثيل -2- هكسانول

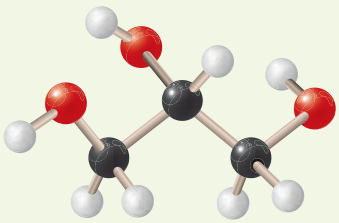
الربطُ مع الحياة

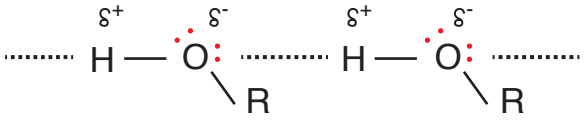
يُستخدم جلايكول الإيثلين كمضاد للتجمُّد؛ حيث ترشُّ به الطائرات قبل إقلاعها، وتبلغ درجة غليانه 197°C، وعندما يخلط بالماء بنسبة 50% فإنّ درجة تجمُّده تنخفض إلى 36 °C-. ويوضَعُ في مشعِّ (راديتر) السيارة لمنع تجمُّد الماءِ فيهِ في فصلِ الشتاء.

الربطُ مع الحياة

كحول الجليسرول

يتميز كحول الجليسرول بذائبيته الشديدة في الماء، وله القدرة على امتصاص الماء من الوسط المحيط، لذلك يستخدم في صناعة الموادّ المرطبة للجلد والبشرة وغيرها من مواد التجميل.





الشكلُ (8): الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الكحول.

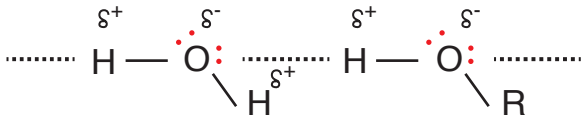
الخصائصُ الفيزيائية للكحولات:

تحتوي الكحولات على مجموعة الهيدروكسيل (OH-)؛ وهي مجموعة شديدة القطبية نظرًا للسالبية الكهربائية العالية لذرة الأكسجين، لذلك؛ فإنّ الرابطة C-O رابطةٌ قطبية، وكذلك الرابطة O-H، ونظرًا لارتباط ذرة الهيدروجين مباشرةً بذرة الأكسجين فإنّ جزيئات الكحول تترابط في ما بينها بروابط هيدروجينية كما يوضح الشكل (8).

تتأثر الخصائص الفيزيائية للكحولات بقوى التجاذب بينها، ويُبيّن الجدول (5) درجات غليان بعض الكحولات والألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية، حيث يلاحظُ ارتفاعُ درجة غليان الكحولات مقارنةً بالألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية، إذْ تبلغ درجة غليان الميثانول 65 °C، أمّا الإيثان فدرجة غليانه -89 °C؛ وذلك بسبب قوة الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الكحول مقارنةً بقوى لندن بين جزيئات الإيثان. ويتبيّنُ من الجدول -أيضًا- زيادة درجة غليان الكحولات بزيادة عدد ذرات الكربون (أي بزيادة كتلتها المولية) وتفسير ذلك أنه يكون لجزيء الكحول طرفان أحدهما قطبيٌّ (OH-) يرتبط مع الجزيئات الأخرى بروابط هيدروجينية والآخر غير قطبيٍّ (R)، يرتبط مع الجزيئات الأخرى بقوى لندن التي تزداد قوتُها بزيادة الكتلة المولية.

الجدول (5): درجات غليان بعض الكحولات والألكانات المقاربة لها.

المُركّب	الصيغة البنائية	الكتلة المولية g\mol	درجة الغليان (°C)
ميثانول	CH_3OH	32	65
إيثان	CH_3CH_3	30	-89
إيثانول	CH_3CH_2OH	46	78
بروبان	$CH_3CH_2CH_3$	44	-42
1- بربانول	$CH_3CH_2CH_2OH$	60	97
بيوتان	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	58	-0.5



الشكلُ (9): الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الكحول الماء.

أمّا في ما يتعلق بذائبية الكحولات في الماء؛ فإنّ قدرة جزيئات الكحولات على صنع روابط هيدروجينيّةٍ مع الماء تُفسّر ذائبيتها فيه، كما يُوضّح الشكل (9).

وتقلُّ ذائبيّةُ الكحولات في الماء بزيادة عدد ذرات الكربون فيها أنظر الجدول (6)، وتفسيرُ ذلك أن زيادة عدد ذرات الكربون يزيد من طول السلسلة الكربونية R في المُركّب، وهي طرفٌ غيرُ قطبي لا يذوب في الماء؛ لذلك تقلُّ ذائبية الكحولات.

أفكّر: أتوقّعُ المركب الذي له أعلى درجة غليان، وأبرّرُ إجابتي:

1- بروبانول ، 2- بروبانول

الجدول (6): ذائبية بعض الكحولات في الماء.

الاسم	الصيغة البنائية	الذائبية ($g/100g\ H_2O$)
إيثانول	CH_3CH_2OH	يذوب بأي نسبة
1- بروبانول	$CH_3CH_2CH_2OH$	يذوب بأي نسبة
1- بيوتانول	$CH_3(CH_2)_2CH_2OH$	7.9
1- بنتانول	$CH_3(CH_2)_3CH_2OH$	2.7

أتحقّقُ:

1- أتوقّعُ المركب الذي له أعلى درجة غليان:
2- بيوتانول أم 2- هكسانول

1- أي الكحولين الآتيين له أقلُّ ذائبيّةٍ في الماء:
1- بيوتانول أم 1- هبتانول. أُفسّر إجابتي

الإيثرات Ethers

الإيثرات Ethers هي مُركّباتٌ عضويةٌ صيغتها العامة R–O–R̀ ترتبط فيها ذرة الأكسجين التي تُمثّل المجموعة الوظيفية بمجموعتي ألكيل متشابهتين أو مختلفتين.

تسمية الإيثرات:

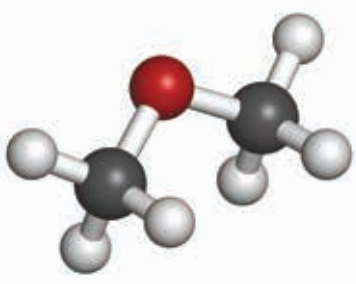
تُسمّى الإيثرات بتسمية مجموعتي الألكيل تتبعها كلمة إيثر، وتُرتب مجموعات الألكيل أبجديًّا، فإذا كانت مجموعتا الألكيل متماثلتين؛ تستخدم البادئـة (ثنائي). والأمثلة الآتيةُ توضح الصيغ البنائية لبعض الإيثرات وأسماءَها:

CH_3-O-CH_3 ، CH_3CH_2-O-$CH_2CH_2CH_3$

ثنائي ميثيل إيثر — إيثيل بروبيل إيثر

درست في الوحدة السابقة مفهوم التصاوُغ وبعض أنواعه، فهل هناك أنواع أخرى له؟

تتشابه الإيثرات والكحولات في الصيغة الجُزيئيّة؛ ولكنها تختلف في الصيغة البنائية، ويوضح الشكل (10) نموذجين لجزيئين مختلفين لأحـد الكحـولات والإيثـرات، يلاحظُ من الشكـل أن كلا المُركّبين يتكون من ذرتي كربون و 6 ذرات هيدروجين وذرة أكسجين واحدة، فالصيغة الجُزيئيّة لهما C_2H_6O، ويمكن كتابة الصيغة البنائية لكلٍّ منهما كالآتي: المُركّبُ الأول صيغته CH_3CH_2OH؛ فهو كحول الإيثانول، أمّا الثاني فصيغته CH_3OCH_3، ويُسمى ثنائي ميثيل إيثر، وبالتالي فالمُركّبان متشابهان بالصيغة الجُزيئيّة ويختلفان في المجموعة الوظيفيـة أي أنهمـا متصاوغان، ويُسمى التصـاوغ من هذا النوع **التصاوغ الوظيفي Functional Isomerism**، أمّا الصيغة الجُزيئيّة العامة للكحولات والإيثرات فهي: $C_nH_{2n+2}O$



الشكلُ (10): مقارنة الصيغة البنائية لكحول وإيثر.

✓ **أتحقَّقُ:** أسمِّي المركّبَ الآتي:

CH_3CH_2-O-CH_2CH_3

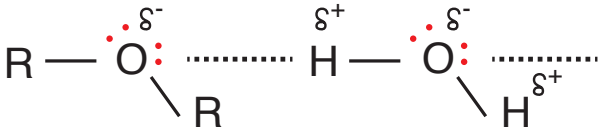
الجدول (7): مقارنة درجة غليان بعض الإيثرات والألكانات المقاربة لها الكتلة المولية.

الاسم	الصيغة	الكتلة المولية g\mol	درجة الغليان (°C)
بيوتان	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	58	- 0.5
إيثيل ميثيل إيثر	$CH_3CH_2OCH_3$	60	7.4
بنتان	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	72	36.1
ثنائي إيثيل إيثر	$CH_3CH_2OCH_2CH_3$	74	34.6

الخصائص الفيزيائية للإيثرات:

تتميز الإيثرات بأن روابط المجموعة الوظيفية فيها قطبيّةٌ، والرابطتان C-O-C تُشكّلان مُنحَني زاوِي؛ لذلك فإنّ جزيئات الإيثر قطبيةٌ تترابط في ما بينها بقوى ثنائية القطب. ويوضح الجدول (7) درجة غليان بعض الإيثرات والألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية، فعند مقارنة درجة غليان إيثيل ميثيل إيثر والبيوتان، نجد تقارب درجة غليانهما وكذلك بالنسبة للبنتان وثنائي إيثيل إيثر ما يدل على القطبية الضعيفة لجزيئات الإيثر.

أمّا في ما يتعلق بذائبية الإيثرات في الماء؛ فإنّ امتلاك ذرة الأكسجين في الإيثر لزوجين من الإلكترونات غير الرابطة يَسمح لجزيئات الماء بعمل روابط هيدروجينية معها، وهو ما يفسر ذائبية الإيثرات في الماء والشكل (11) يُوضّح ذلك.



الشكلُ (11): الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الماء والإيثر.

الجدول (8): مقارنة ذائبية بعض الإيثرات بالكحولات في الماء.

الاسم	الصيغة	الذائبية ($g/100g\ H_2O$)
ثنائي ميثيل إيثر	CH_3OCH_3	70
إيثانول	CH_3CH_2OH	يذوب بأي نسبة
ثنائي إيثيل إيثر	$CH_3CH_2OCH_2CH_3$	6.7
1- بيوتانول	$CH_3(CH_2)_2CH_2OH$	7.9

ويُوضّح الجدول (8) مقارنة ذائبية بعض الإيثرات بالكحولات وكيفية تغيُّرها بزيادة عدد ذرات الكربون، حيث يلاحظ التقارب بين ذائبية الإيثرات والكحولات، وذلك بسبب ترابط كل منهما بروابط هيدروجينية مع الماء، ولكن لأن ذرة الأكسجين في الإيثر تُحاطُ بمجموعتي ألكيل غير قطبيتين فإنهما تقللان من ذائبيته قليلًا. وكذلك يلاحظ نقصان ذائبية الإيثرات بزيادة عدد ذرات الكربون فيها؛ وذلك لزيادة طول السلسلة الكربونية R وهي طرفٌ غيرُ قطبيٍّ لا يذوب في الماء فتقل الذائبية. وتستخدم الإيثرات كمذيباتٍ عضويّةٍ.

أفكّر: أيُّ المُركّبين الآتيين له أقلّ درجة غليان؟ أبرّرُ إجابتي.

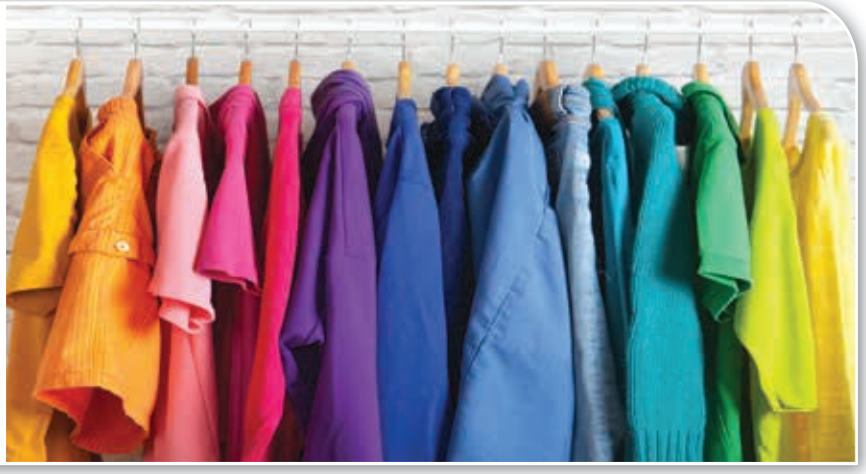
1- بنتانول أم إيثيل بروبيل إيثر.

✓ **أتحقَّقُ: أقارن** بين المُركّبين الآتيين من حيث درجة الغليان والذائبية في الماء:

ثنائي ميثيل إيثر، ميثيل بروبيل إيثر.

الربطُ بالطبِّ

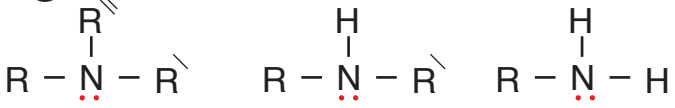
يُعدُّ ثنائي إيثل إيثر من أوائل المُركّبات التي استُخدمت في التخدير العامّ في الطب، وقد استمرّ استخدامه لفترة تزيد عن قرنٍ، ولكن بسبب بعض الآثار الجانبية له وقابليته للاشتعال؛ فقد حلّت محلّهُ مواد تخديرٍ أخرى، مثل ميثيل بروبيل إيثر.



الشكلُ (12): يستخدم الأنيلين $C_6H_5NH_2$ في صناعة أصباغ الملابس.

الأمينـاتُ Amines

تشتقُّ الأمينات Amines من الأمونيا NH_3؛ حيث تحلُّ مجموعة ألكيل أو أكثر محل ذرة هيدروجين أو أكثر. وتُصنّف إلى أمينـاتٍ أولية وثانوية وثالثية وفقَ عدد مجموعات الألكيل المرتبطة بذرة النيتروجين كما يوضح الشكل:

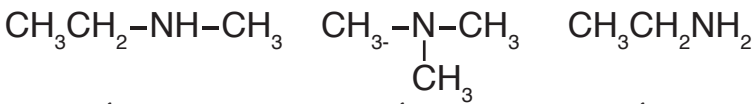


أمين ثالثي 3° أمين ثانوي 2° أمين أولي 1°

تنتشرُ الأمينات في الطبيعة، ولها رائحة تشبه السمك الفاسد، وتُستَخدم الأمينات في مجالاتٍ متنوّعةٍ مثل صناعة البلاستيك، والأدوية، والمبيدات الحشرية، وأصباغ الملابس، كما يظهر في الشكل (12).

تسميةُ الأمينات

تُسمّى الأمينات بتسمية مجموعة أو مجموعات الألكيلِ المُتّصلة بذرة النيتروجين تتبعها كلمة أمين، وتُرتّب مجموعات الألكيل أبجديًّا؛ وإذا احتوى الأمين على مجموعات ألكيل متماثلة تُستخدم البادئة (ثنائي أو ثلاثي). الأمثلة الآتية تُوضّحُ الصيغ البنائية لبعض الأمينات وأسماءها:



إيثيل ميثيل أمين ثلاثي ميثيل أمين إيثيل أمين

أمّا الطريقة المُتبعة لتسمية الأمينات الأولية وفقَ نظام الأيوباك؛ فتُعامل فيها مجموعة الأمين كتفرّعٍ مُتّصل بإحدى ذرات الكربون في سلسلة الكربون، والأمثلة الآتية توضح طريقة التسمية:

المثال 7

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ تظام الأيوباك: $CH_3CH_2CH_2CH_2NH_2$

الحلُّ:

- أُحدّدُ أطول سلسلةٍ كربونيّةٍ تتضمّنُ مجموعة الأمين، ثم أُرقّم السلسلة من الجهة الأقرب لها.

$$\overset{4}{CH_3}\overset{3}{CH_2}\overset{2}{CH_2}\overset{1}{CH_2}NH_2$$

- أكتبُ رقم ذرة الكربون التي تتصل بها مجموعة الأمين تتبعها كلمة أمينو، ثم أُسمّي الألكان الذي يُمثّل سلسلة الكربون.

فيكون الاسم: 1- أمينو بيوتان

المثال 8

أُسمّي المُركّب الآتي وفقَ تظام الأيوباك: $CH_3\underset{NH_2}{C}HCH_2\underset{CH_3}{C}HCH_3$

الحلُّ:

- أُحدّدُ أطول سلسلة كربونية تتضمن مجموعة الأمين، وأُرقّم السلسلة من الجهة الأقرب لها، ثم أُحدّدُ موضع ارتباط مجموعة الأمين وكذلك مجموعات الألكيل وأُسمّيها، ثم أُسمّي الألكان الذي يُمثّل سلسلة الكربون.

$$\overset{1}{CH_3}\overset{2}{\underset{NH_2}{C}}H\overset{3}{CH_2}\overset{4}{\underset{CH_3}{C}}H\overset{5}{CH_3}$$

فيكون الاسم: 4 - ميثيل - 2 - أمينو بنتان

أتحقَّقُ:

1- أُسمّي المركب الآتي وفق تظام الأيوباك :

$$CH_3\underset{NH_2}{C}H\underset{CH_3}{C}HCH_2CH_2CH_3$$

2- أكتب الصيغة البنائية للمركب: 2- أمينو بيوتان

الربطُ مع الحياة

تتكون الشوكولاتة من مزيج من الموادّ الكيميائية المعقدة أحدها ينتمي إلى الأمينات وهو 2- فينيل -1- أمينو إيثان؛ ويُعتقد أنّه المسؤول عن الرغبة المتكررة في تناولها.

أبحثُ: تصنف الأمينات إلى أولية وثانوية وثالثية اعتمادًا على عدد ذرات الكربون المرتبطة بذرة النيتروجين، أرجع إلى مواقع إلكترونيةٍ مناسبةٍ عبر شبكة الإنترنت، وأبحث في كيفية تسمية الأمينات الثانوية والثالثية وفق نظام الأيوباك، وأكتب تقريرًا بذلك أو أصمم عرضًا تقديميًّا عن الموضوع وأناقشه مع زملائي ومعلمي.

الجدول (9): درجة غليان بعض الأمينات والألكانات والكحولات.

الاسم	الصيغة	الكتلة المولية g\mol	درجة الغليان (°C)
إيثان	CH_3CH_3	30	-89
ميثيل أمين	CH_3NH_2	31	-6
إيثيل أمين	$CH_3CH_2NH_2$	45	16
إيثانول	CH_3CH_2OH	46	78

الخصائص الفيزيائية للأمينات:

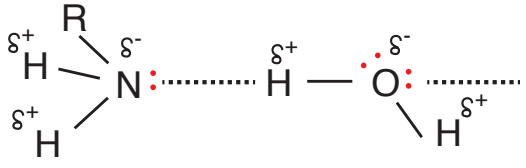
تُعدُّ الأمينات مُركّباتٍ قطبيّةً نظرًا لاحتوائها على مجموعة الأمين القطبية، وترتبط جزيئات الأمينات الأولية بروابطَ هيدروجينيّةٍ، حيث تحتوي على ذرة هيدروجين مرتبطة مباشرة بذرة نيتروجين ذات سالبيّةٍ كهربائيّةٍ عالية، وهو ما يُفسّرُ ارتفاع درجات غليانها مقارنة بالألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية كما يوضح الجدول (9)، فمثلًا درجة غليان ميثيل أمين أعلى بكثير منها للإيثان الذي تترابط جزيئاته بقوى لندن الضعيفة مقارنة بالروابط الهيدروجينية بين جزيئات ميثيل أمين. وعند مقارنة درجات غليان الأمينات معاً تتّضح زيادة درجة غليان الأمين بزيادة عدد ذرات الكربون فيه، أمّا عند مقارنة درجة غليان الأمين مع الكحول المُقارب له في الكتلة المولية، كما في إيثيل أمين والإيثانول؛ فيلاحظُ ارتفاعُ درجة غليان الكحول مقارنة بالأمين، وذلك لأن قطبيّةَ الرابطة (O-H) أكبر من قطبيّةِ الرابطة (N-H)، وبالتالي فإنّ الرابطة الهيدروجينية في الكحولات أقوى منها في الأمينات الأولية والطاقة اللازمة للتغلب عليها أكبر، وبالتالي درجة غليان الكحولات أعلى.

ونظرًا لقدرة الأمينات الأولية على الترابط مع الماء بروابط هيدروجينيةٍ؛ فإنّها تذوب في الماء كما يوضّح الشكل (13)، وتقلُّ الذائبية بزيادة عدد ذرات الكربون بسبب زيادة تأثير مجموعة الألكيل غير القطبية التي لا تذوب في الماء.

✓ **أتحقّقُ**: أيُّ المُركّبين الآتيين له أعلى درجة غليان:

2- بيوتانول أم

2- أمينو بيوتان



الشكلُ (13): الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الأمينات الأولية والماء.

مراجعةُ الدرس

1 - **الفكرةُ الرئيسة:** ما الأساس المعتمد في تصنيف مشتقات المركبات الهيدروكربونية؟

2 - **أصنّفُ** المُركّبات العضوية الآتية، وأُحدّدُ المجموعة الوظيفية في كلّ مُركّب:

$CH_3CH_2OCH_3$ ، $CH_3-\underset{\displaystyle CH_2CH_2CH_3}{\overset{\displaystyle |}{N}}-CH_3$ ، $CH_3CH_2CH_2F$ ، $CH_3\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle |}{C}}HCH_2CH_3$

3 - أوضّحُ المقصودُ بالمجموعة الوظيفية؟

4 - **أُفسّر:** درجة غليان ثنائي ميثيل أمين أعلى منها لثنائي ميثيل إيثر.

5 - **أطبق:** أُسمّي المُركّبات الآتية:

أ . $CH_3-\underset{\displaystyle Cl}{\overset{\displaystyle CH_2CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-CH_2CH_2Cl$

ب. $CH_3CH_2CH_2OCH_3$

جـ. $CH_3CH_2CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-CH_2CH_2OH$

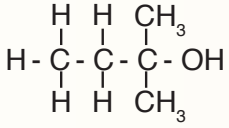
6 - **أطبق:** أكتبُ الصيغ البنائية للمُركّبات العضوية الآتية:

أ . 1- برومو -1- كلورو -2،2- ثنائي فلورو بروبان

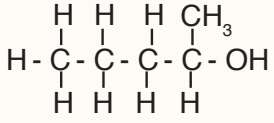
ب. 2- أيودو -3- بنتانول

7 - للصيغة الجُزيئيّة $C_5H_{12}O$ متصاوغاتٌ عدّةٌ من الكحولات أُعطِيَتْ أربعًا منها، وأُعطيت الرموز (A، B، C، D)، والأشكال الآتية توضح الصيغة البنائية المُفصّلة لها:

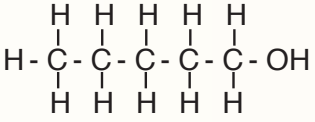
A



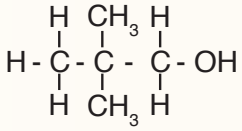
B



C



D



1 . **أُطبّق:** أكتبُ صيغًا بنائيةً مختصرة للكحولين B و D؟

2 . **أُطبّق:** أُسمّي المُركّب A.

3 . **أتوقّعُ:** أي هذه الكحولات له أعلى درجة غليان؟ أُفسّر إجابتي.

4 **أتوقّعُ:** هل تتساوى الكحولات الأربعة في ذائبيتها في الماء؟ أُفسّر إجابتي.

8 - **أقيم:** أحدد الخطأ في أسماء المركبات الآتية وأعيد تسميتها:

أ . 3- برومو -4 ، 6- ثنائي ميثيل هبتان

ب. 4- إيثيل -4- ميثيل -2- بنتانول

جـ. إيثيل بيوتيل إيثر

د. 3- بروبيل -2- أمينو بنتان

الفكرةُ الرئيسة:

تتكوّن مجموعة الكربونيل من ذرة كربون مرتبطة برابطة ثنائية مع ذرة أكسجين، وتعدُّ مجموعةً وظيفية رئيسة في بعض المُركّبات، وجزءًا من مجموعاتٍ وظيفيّةٍ في مُركّباتٍ أخرى.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أُميّزُ الألديهايدات والكيتونات والحموض الكربوكسيلية والإسترات بناء على المجموعة الوظيفية لكلّ منها.
- أُسمّي مُركّباتٍ كيميائيةً تنتمي للألديهايدات والكيتونات والحموض الكربوكسيلية والإسترات وأكتبُ صيغاً بنائية لها.
- أُفسّر بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات الكربونيل والكربوكسيل ومشتقاتها بناءً على تركيبها البنائي.
- أتوصل إلى أهميّة مركبات المشتقات الهيدروكربونية في الحياة اليومية.

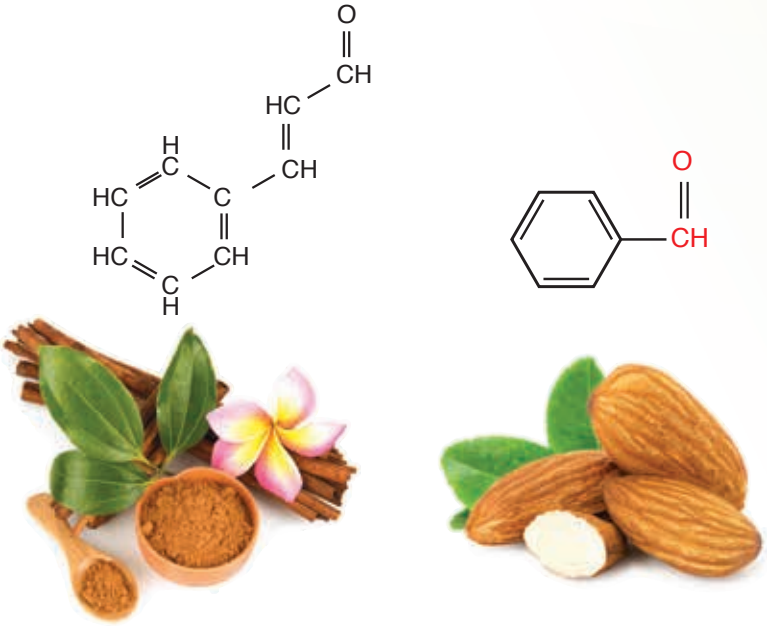
المفاهيمُ والمصطلحات:

الألديهايدات	Aldehydes
الكيتونات	Ketones
الحموض الكربوكسيلية	Carboxylic Acids
الإسترات	Esters

تعود الروائح المميزة لبعض الفواكه والورود، والطعم الخاص بمنكّهاتِ الطعام المتنوعة إلى وجود مُركّبات عضوية في تركيبها مسؤولةٌ عن ذلك، تنتمي هذه المُركّبات إلى الألديهايدات، والكيتونات، والحموض الكربوكسيلية، والإسترات التي سيتم التعرف إليها في هذا الدرس.

الألديهايدات Aldehydes

تعرّفُ **الألديهايدات Aldehydes** بأنها مُركّباتٌ عضويّةٌ صيغتها العامة $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$، ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بذرة هيدروجين واحدة على الأقلّ؛ تُمثّل أحد طرفي السلسلة الكربونية للمُركّب، وتُمثّل R مجموعة ألكيلٍ أو ذرة هيدروجين. ويحتوي الشكل (14) بعض الموادّ ذات النكهة المميزة والألديهايد المسؤولِ عن كُلٍّ منها.



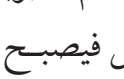
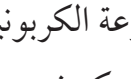
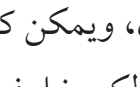
الشكلُ (14): النكهاتُ المميزة للقرفة، واللَّوزِ، لاحتوائها على مُركّبات تنتمي للألديهايدات.

تسمية الألديهايدات:

اشتهرت بعض الألـديهايـدات بأسماءٍ شائعـةٍ ما زالت مستخدمـة حتى الآن منها:

أمّا الطريقة المُتّبعةُ لتسمية الألديهايدات وفقَ نظام الأيوباك؛ فتجري بإضافـة المقطـع (ال) إلى اسـم الألكان المقابـل فيصبـح (ألكانال)، والجدول (10) يتضمن أسماء المُركّبات الثلاثة الأولى من الألديهايدات:

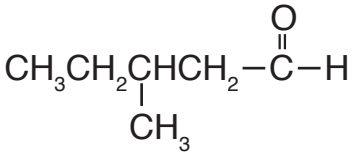
الجدول (10): أسماء بعض الألديهايدات وصيغها البنائية.

الاسم	الصيغ البنائية
ميثانال	
إيثانال	
بروبانال	

ألاحظُ من الجدول أن ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل جزءٌ من سلسلة الكربون، لذلك فإنّ أصغر الألديهايدات مكون من ذرة كربون واحدة مرتبطة بذرتي هيدروجين وهو الميثانال، ويمكن كتابة صيغته البنائية أيضًا HCHO، حيث تكتب صيغة مجموعة الكربونيل في الألديهايد بصورة مختصرة (-CHO).

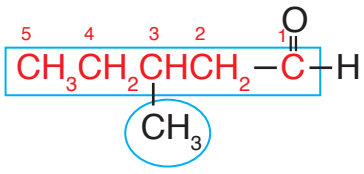
والأمثلة الآتية توضح الخطوات المُتّبعة عند تسمية الألديهايدات وفق نظام الأيوباك:

المثال 9

أُسمّي المُركّب الآتي: 

الحلُّ:

أُحدّدُ أطولَ سلسلةٍ كربونيّةٍ تتضمّن مجموعة الكربونيل الوظيفية O=C - H ، وأُرقّمها بدءًا من مجموعة الكربونيل؛ أي أنها تأخذ الرقم 1 دائما، لذلك لا يُشار إلى الرقم عند كتابة الاسم، وأُحدّدُ المجموعات الفرعية أيضًا.



ألاحظُ أن أطولَ سلسلةٍ كربونيّةٍ مُتضمّنةً مجموعة الكربونيل مكونة من 5 ذرات كربون، أي مشتقّةً من البنتان فتُسمّى بنتانال، وأن مجموعة الميثيل مُرتبطة بذرةِ الكربون رقم 3.

فيكون اسم المُركّب: 3-ميثيل بنتانال

المثال 10

أكتبُ الصيغة البنائية للمُركّب: 4 - إيثيل هكسانال

الحلُّ:

1 - أكتبُ ذرات الكربون التي؛ تُمثّل أطولَ سلسلةٍ كربونيّةٍ في المُركّب، وهي مُكوّنةٌ من 6 ذرات كربون وأُرقّمها من أي طرف:

$$\overset{6}{C}-\overset{5}{C}-\overset{4}{C}-\overset{3}{C}-\overset{2}{C}-\overset{1}{C}$$

2 - بما أن المُركّب ألديهايد فإنّ مجموعة الكربونيل الوظيفية تُمثّل ذرة الكربون رقم 1، ثم أكتبُ مجموعة الإيثيل متّصلةً بذرة الكربون رقم 4 كما يظهر في اسم المُركّب.

$$\overset{6}{C}-\overset{5}{C}-\overset{4}{\underset{|}{C}}(CH_2CH_3)-\overset{3}{C}-\overset{2}{C}-\overset{1}{\underset{\|}{C}}(O)-H$$

3 - أُكمل عدد روابط الكربون مع الهيدروجين؛ بحيث يصبح مجموع الروابط حول كلّ ذرة كربون 4 روابط كالآتي:

$$CH_3CH_2\underset{|}{C}(CH_2CH_3)CH_2CH_2-\underset{\|}{C}(O)-H$$

أتحقَّقُ:

1) أُسمّي المُركّب الآتي: $CH_3CH(CH_3)CHCHO$

2) أكتبُ الصيغةَ البنائيّةَ للمُركّب الآتي:

4.3.3 - ثلاثي ميثيل بنتانال

أفكّر: أُحدّدُ الخطأ في اسم المُركّب الآتي وأعيد تسميته:
6 - إيثيل هبتانال.

الكيتونات Ketones

تُعرّف **الكيتونات Ketones** بأنها مُركّباتٌ عضوية صيغتها العامة $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-R'$ ترتبطُ فيها مجموعة الكربونيل بمجموعتي ألكيل، ويمكن كتابة صيغة مجموعة الكربونيل بطريقة مختصرة كالآتي: (- CO -).

ألاحظُ أن مجموعة الكربونيل $(-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-)$ مُميّزة للالديهايدات والكيتونات، لذلك؛ فإنّها تشترك في الصيغة الجُزيئيّة العامة $C_nH_{2n}O$، ولكنها تختلف في الصيغة البنائية.

تسميةُ الكيتونات

يتكون أصغر الكيتونات من 3 ذرات كربون، وقد اشتهر باسم الأسيتون وهو نفسه المستخدم لازالة طلاء الأظافر، والأمثلة الآتية تُمثّل بعض الكيتونات وأسمائها الشائعة:

$CH_3CH_2COCH_2CH_3$ ، $CH_3COCH_2CH_3$ ، CH_3COCH_3

ثنائي إيثيل كيتون — إيثيل ميثيل كيتون — ثنائي ميثيل كيتون (الأسيتون)

أمّا الطريقة المُتّبعةُ لتسمية الكيتونات وفقَ نظام الأيوباك؛ فتجري بإضافة المقطع (ون) إلى اسم الألكان المقابل فيصبح (ألكانون)، والأمثلة الآتية توضح الخطوات المُتّبعة عند التسمية:

المثال 11

أُسمّي المُركّب الآتي وفق نظام الأيوباك : $CH_3CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$

الحلُّ:

أُحدّدُ أطولَ سلسلةٍ كربونيّةٍ مستمرةٍ في المُركّب وأُرقّمها من الجهة الأقرب لمجموعة الكربونيل.

$$\overset{4}{CH_3}\overset{3}{CH_2}-\overset{2}{\overset{O}{\overset{\|}{C}}}-\overset{1}{CH_3}$$

ألاحظُ أن السلسلة غير مُتفرّعة وأنها مكونة من 4 ذرات كربون؛ أي مشتقّةً من البيوتان، وأنّ مجموعة الكربونيل تُمثّل ذرة الكربون رقم 2؛ فيكون اسم المركب 2- بيوتانون، ولأن مجموعة الكربونيل ليس لها إلا موقع واحد هو ذرة كربون رقم 2؛ فيكتب اسم المُركّب: بيوتانون.

أمّا في الكيتونات التي تحتوي السلسلة الكربونية فيها على أكثر من 4 ذرات كربون؛ فإنه يُكتبُ رقم ذرة كربون مجموعة الكربونيل كما في المثال الآتي:

المثال 12

أُسمّي المُركّب الآتي وفق نظام الأيوباك: $CH_3COCH_2CH_2CH_3$

الحلُّ:

أُحدّدُ أطولَ سلسلةٍ كربونيّةٍ مستمرةٍ في المُركّب وأُرقّمها من الجهة الأقرب لمجموعة الكربونيل.

$$\underset{1}{CH_3}\underset{2}{C}\underset{3}{O}\underset{4}{CH_2}\underset{5}{CH_2}CH_3$$

ألاحظُ أن السلسلة غيرُ متفرّعةٍ وأنها مُكوّنةٌ من 5 ذرات كربون؛ أي مشتقّةٌ من البنتان، وأن مجموعة الكربونيل تُمثّل ذرة الكربون رقم 2؛ فأُسمّي المُركّب: 2- بنتانون

المثال 13

أُسمّي المُركّب الآتي وفق نظام الأيوباك:

$$CH_3CH_2CH_2\underset{|}{\overset{CH_3}{CH}}-\overset{O}{\overset{||}{C}}-CH_2CH_3$$

الحلُّ:

أُحدّدُ أطول سلسلة كربونية مستمرة في المُركّب، وأُرقّمها من الجهة الأقرب لمجموعة الكربونيل، وأُحدّدُ المجموعات الفرعيّة وموقعها على السلسلة.

$$CH_3CH_2CH_2\underset{|}{\overset{CH_3}{CH}}-\overset{O}{\overset{||}{C}}-CH_2CH_3$$
$$\quad 7 \quad 6 \quad 5 \quad 4 \quad 3 \quad 2 \quad 1$$

ألاحظُ أن عدد ذرات الكربون في السلسلة الكربونية 7، وأن ذرة الكربون رقم 3 تُمثّل مجموعة الكربونيل، وأن مجموعة الميثيل ترتبط بذرة الكربون رقم 4 فيكون اسم المُركّب: 4 - ميثيل -3- هبتانون.

أتحقّقُ:

أكتبُ الصيغة البنائية للمُركّب الآتي:

4،3 - ثنائيُّ ميثيل -2- هكسانون

أُفكّرُ: أكتبُ الصيغ البنائية لمتصاوغات الصيغة الجُزيئيّة C_3H_6O وأُسمّيها.

الجدول (11): درجة غليان بعض الألديهايدات والكيتونات مقارنة بالألكانات والكحولات.

الاسم	الصيغة	درجة الغليان (°C)
بنتان	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	36
بيوتانال	$CH_3(CH_2)_2CHO$	76
بيوتانون	$CH_3CH_2COCH_3$	80
1- بيوتانول	$CH_3(CH_2)_2CH_2OH$	118

أفكّر: أرسم مُخطّطًا يفسر ذوبان الإيثانال في الماء.

الخصائص الفيزيائية للألديهايدات والكيتونات:

تعدُّ الألديهايدات والكيتونات مركباتٍ قطبيّةً بسبب احتوائها على مجموعة الكربونيل $\overset{\delta+}{C}=\overset{\delta-}{O}$ ، وتترابط جزيئاتها في ما بينها بقوىً ثنائيّةِ القطب، وبالتالي فإنّها تمتلك درجات غليانٍ أعلى من درجات غليان الألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية، وأقلّ من درجات غليان الكحولات المقاربة لها في الكتلة المولية، كما يوضح الجدول (11). وتذوبُ الألديهايدات والكيتونات في الماء بسبب الروابط الهيدروجينية التي يُكوّنُها الماء مع جزيئاتها، وتقلُّ ذائبيّتُها في الماء بزيادة عدد ذرات الكربون في كلٍّ منها، كما تذوب الألديهايدات والكيتونات في المذيبات العُضوية؛ وتستخدم مذيباتٍ عضويّةً بصفتها مذيبات عضوية أيضًا، والجدول (12) يُوضّح بعض استخدامات الألديهايدات والكيتونات:

أتحقّقُ:

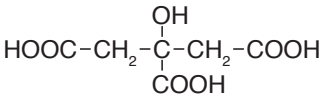
1- أُحدّدُ المُركّب الذي له أعلى درجة غليان: 2- بنتانون أم 2- بنتانول

2- أتوقّعُ المُركّب الأكثر ذائبية في الماء: CH_3CH_2CHO أم $CH_3(CH_2)_4CHO$

الجدول (12): بعضُ استخدامات الألديهايدات والكيتونات.

يستخدم البروبانون بصفته مذيبًا في صناعة المواد اللاصقة.		يُستخدمُ محلول الفورمالديهايد المائي لحفظ أجسامِ بعضِ الكائناتِ الحيّةِ أو أجزاءٍ منها.	
يستخدم الميثانال في تحضير نوعٍ من البلاستيك الصلب الذي يستخدم في صناعة أجزاء من السيارة كالمقود والجير.		يستخدم البروبانون كمادّةٍ خام لتصنيع نوعٍ من البلاستيك له استخداماتٌ متنوعةٌ مثل صناعة أضوية السيارات.	

الشكلُ (15): تحتوي الحمضيات على حمض الستريك وصيغته البنائية.



الحموض الكربوكسيلية Carboxylic Acids

تحتوي المواد الغذائية المختلفة على الحموض الكربوكسيلية؛ فمثلًا يوجد حمض الستريك في البرتقال والليمون. أنظر الشكل (15)، وفي الحليب واللبن يوجد حمض اللّاكتيك، وفي الخلّ حمض الأستيك وغيرها. فما الحموض الكربوكسيلية؟ وكيف تجري تسميتُها؟

الحموض الكربوكسيلية Carboxylic Acids: حموضٌ عضوية، صيغتها العامة R-COOH حيث R هي مجموعة ألكيل، وقد تكون H، و (–C(=O) - OH)؛ هي مجموعة الكربوكسيل الوظيفية.

تسميةُ الحموض الكربوكسيلية

تُسمّى الحموض الكربوكسيلية وفقَ نظام الأيوباك بإضافة المقطع (ويك) إلى اسم الألكان المقابل، وكلمة حمض في بداية الاسم فيصبح الاسم العام لها حمض ألكانويك، والجدول (13) يتضمّن بعض الحموض الكربوكسيلية وأسمائِها.

يلاحظُ من الجدول أن أصغر الحموض الكربوكسيلية يتكون من ذرة كربون واحدة فقط هي ذرة كربون مجموعة الكربوكسيل، ويلاحظُ أيضًا أن مجموعة الكربوكسيل هي مجموعة طرفية، لذلك؛ يبدأ منها ترقيم السلسلة الكربونية دائمًا في أي حمض كربوكسيلي أي أن رقمها (1)، وبالتالي لا يُشارُ إليه في الاسم.

الجدول (13): أسماء وصيغ بعض الحموض الكربوكسيلية.

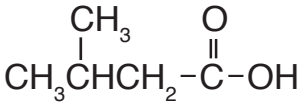
اسم الحمض	الصيغة البنائية
حمض الميثانويك	$HCOOH$
حمض الإيثانويك	CH_3COOH
حمض البروبانويك	CH_3CH_2COOH

الربطُ مع الأحياء

قد تُسبب لسعةُ النملةِ إحساسًا بالألمِ ناتج عن إفرازها لحمض الميثانويك الذي يسبب هذا الألم، لذلك يُطلَقُ عليه اسم حمض النمليك، ومن أسمائِه الشائعة أيضًا حمض الفورميك. ويمكن معالجة هذا الألم باستخدام محلولٍ قاعديٍ من كربونات الصوديوم الهيدروجينية.

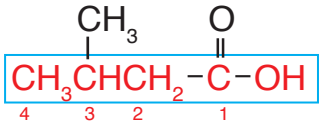
والأمثلة الآتية توضّحُ الخطوات المتّبعةَ لتسمية الحموض الكربوكسيلية وفق نظام الأيوباك:

المثال 14

أُسمّي المُركّب الآتي : 

الحلُّ:

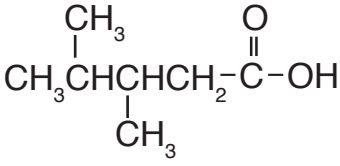
أُحدّدُ أطول سلسلةٍ كربونيةٍ مستمرة في المُركّب وأُرقّمها بدءًا من ذرة كربون مجموعة الكربوكسيل، وأُحدّدُ المجموعات الفرعية ومواقعها على السلسلة.



ألاحظُ أن أطول سلسلةٍ كربونيةٍ متضمّنةٍ ذرة كربون مجموعة الكربوكسيل مكوّنةٌ من 4 ذرات كربون أيْ مُشتقة من البيوتان، وأن مجموعة الميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 3 فيكون اسم المُركّب:

حمض 3 - ميثيل بيوتانويك

المثال 15

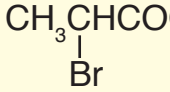
أُسمّي المُركّب الآتي: 

الحلُّ:

أُسمّي المُركّب بالطريقة السابقة نفسِها؛ فألاحظُ أن أطول سلسلةٍ كربونيةٍ متضمّنةٍ ذرة كربون مجموعة الكربوكسيل مكوّنةٌ من 5 ذرات كربون؛ أي مشتقّةٌ من البنتان، وأن ذرة الكربون رقم 3 مرتبطةٌ بمجموعة ميثيل وذرة كربون رقم 4 أيضا، فيكون الاسم :

حمض 3، 4 - ثنائي ميثيل بنتانويك.

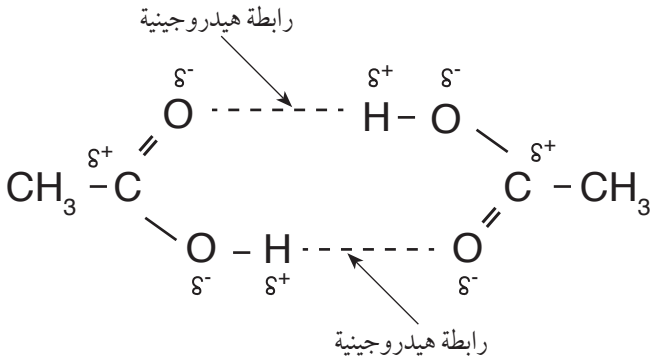
أفكّر: أُسمّي المُركّب :



أتحقّقُ: ✓

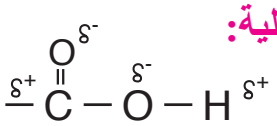
أكتبُ الصيغة البنائية للمُركّب الآتي:

حمض 4 - إيثيل هكسانويك



الشكلُ (16): الرابطة الهيدروجينية بين جزيئين من الحموض الكربوكسيلية.

الخصائصُ الفيزيائيّةُ للحموض الكربوكسيلية:

الصيغة العامة لمجموعة الكربوكسيل 

تحتوي مجموعة الكربوكسيل على مجموعة كربونيل قطبيةٍ ومجموعة هيدروكسيل قطبيةٍ أيضًا، وهي قادرةٌ على عمل روابط هيدروجينية ويوضح الشكل (16) ترابط جزيئين من حمض الإيثانويك، يُلاحظُ أن ذرة الهيدروجين في مجموعة الهيدروكسيل من أحد الجزيئين ترتبطُ برابطة هيدروجينية مع ذرة أكسجين مجموعة الكربونيل من الجزيء الآخر والعكس في الترابط الثاني، أي أن كلّ جزيئين يرتبطان برابطتين هيدروجينيّتين ويُشكّلان ثُنائيًّا (dimer)، تترابط هذه الثنائيات بقوى لندن.

ولكن ما تأثير ذلك على الخصائص الفيزيائية للحموض الكربوكسيلية؟ لمعرفة ذلك؛ يُوضّح الجدولُ (13) درجة غليان حمض البربانويك ودرجة غليان 1- بيوتانول، يُلاحظُ ارتفاع درجة غليان حمض البروبانويك مقارنةً بكحول 1- بيوتانول مع أن قوى التجاذب بين جزيئات كلّ منهما هي الروابط الهيدروجينية؛ والسبب في ذلك هو أن عدد الروابط الهيدروجينية التي يكوّنُها الحمض ضعفَ عددها في الكحول.

الجدول (13): مقارنة درجة غليان حمض كربوكسيلي وكحول .

المركب	الكتلة المولية g\mol	درجة الغليان (°C)
حمض البروبانويك	74	141
1- بيوتانول	74	118

تذوب الحموض الكربوكسيلية في الماء؛ حيث ترتبط جزيئاتها بروابطَ هيدروجينيّةٍ مع جزيئات الماء، وكلّما زاد عدد ذرات الكربون في مجموعة الألكيل R في الحمض قلّت الذائبية.

تتأيّن الحموض الكربوكسيلية عند ذوبانها في الماء حسب المعادلة:

$$RCOOH + H_2O \rightleftharpoons RCOO^- + H_3O^+$$

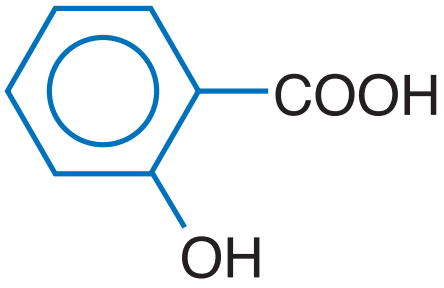
وتدخل الحموض الكربوكسيلية في صناعة العصائر، وتستعمل أملاحُها في مجالات عدّة، منها ملح بنزوات الصوديوم الذي يستعمل كمادة حافظة تُضاف إلى بعض الموادّ الغذائية المُصنّعة، كذلك يُستخدم حمض الساليسليك في صناعة الأسبرين. أنظرُ الشكل (17).

أُفكّر: بالرجوع إلى الجدول (13) **أُفسّر**: لماذا جرت مقارنة درجة غليان حمض البروبانويك بكحول 1- بيوتانول وليس 1- بروبانول.

✓ أتحقّقُ:

أي المُركّبين له أعلى درجةُ غليان:

حمض البروبانويك، أم حمض البيوتانويك؟ أُفسّر إجابتي.



الشكلُ (17): الصيغة البنائية لحمض الساليسليك.

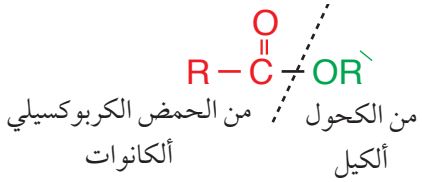
الإسترات: Esters

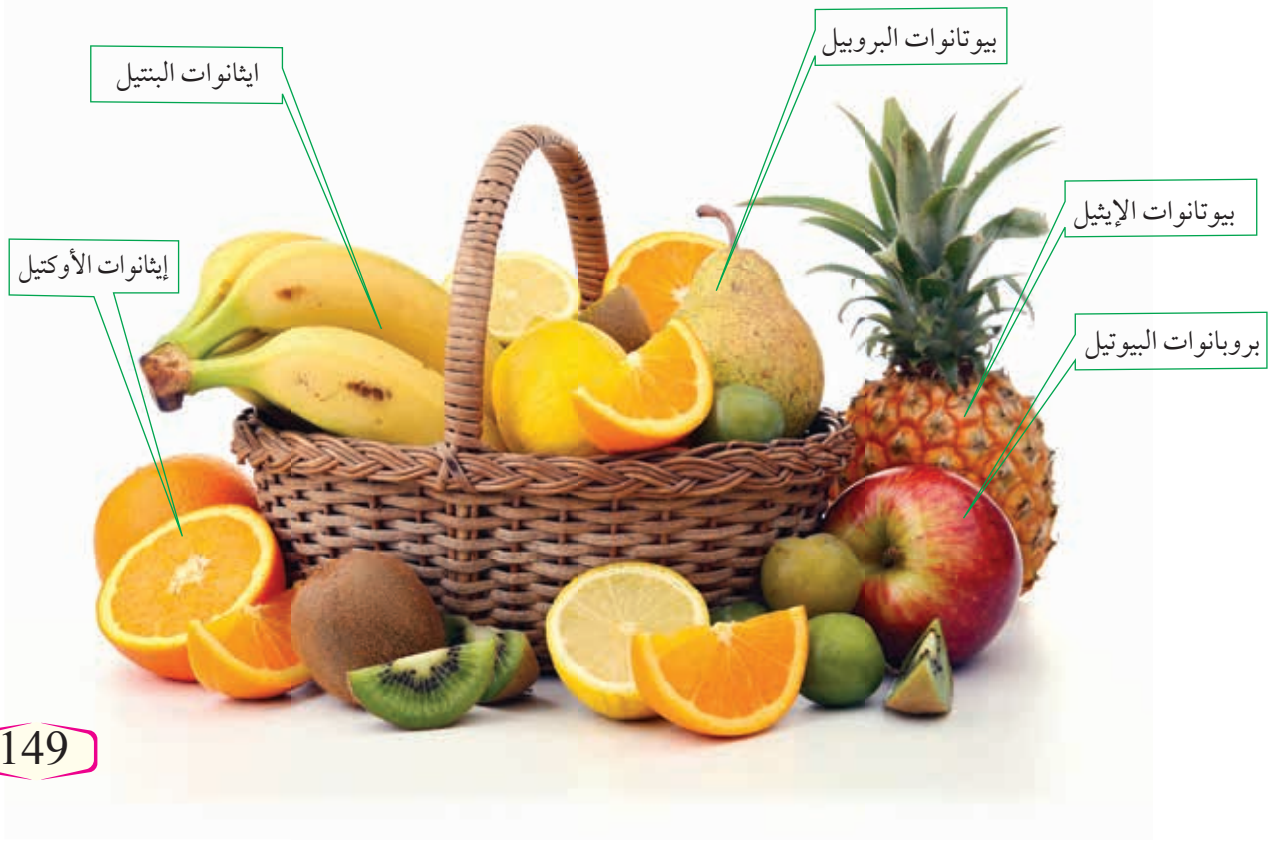
تُعرف **الإسترات Esters** بأنها مُركّباتٌ عضويةٌ صيغتها العامة: $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR'$، وهي من مُشتقات الحموض الكربوكسيلية.

والإسترات هي رائحة الكيمياء الجميلة ونكهتُها، فمعظم روائح الأزهار ونكهات الفواكه وروائحها هي إسترات طبيعية، أنظر الشكل (18). ويمكن تحضيرُ الإسترات صناعيًّا من تفاعُلِ الحمض الكربوكسيلي مع الكحول؛ إذ تدخل في صناعة العطور الحلويات ومستحضرات التجميل والشموع العطرية وغيرها.

تسمية الإسترات:

يسمى الإستر حسب نظام الأيوباك اعتمادًا على الحمض الكربوكسيلي والكحول المكونان له، حيث يتكون الاسم من كلمتين؛ الأولى مشتقّةً من اسم الحمض باستخدام المقطع (وات) بدل المقطع (ويك)، والثانية تُمثّل مجموعة الألكيل المأخوذة من الكحول، فيكون اسم الإستر العام ألكانوات الألكيل، والشكل الآتي يوضح ذلك:





الشكلُ (18): بعض أنواع الفواكه والإسترات المسؤولة عن الرائحة المميزة لها.

المثال 16

أُسمّي المُركّب الآتي : $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_3$

الحلُّ:

أُحدّدُ الشقَّ الذي مصدره الحمض الكربوكسيلي، وهو الجزء الذي يحتوي على مجموعة الكربونيل، يُلاحظُ أنه مُكوّنٌ من ذرتي كربون؛ أي مشتق من حمض الإيثانويك فأُسمّيه إيثانوات، أمّا الشقُّ المأخوذ من الكحول فهو مجموعة الألكيل المرتبطة بذرة الأكسجين وهو مكوّنٌ من ذرة كربون واحدة أي مجموعة ميثيل.

$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_3$

إيثانوات — ميثيل

فيكونُ اسم المُركّب: إيثانوات الميثيل

المثال 17

أُسمّي المُركّب الآتي: $H-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_2CH_2CH_3$

الحلُّ:

أُكرّر الخطوات السابقة للتوصل إلى اسم المُركّب:

$H-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_2CH_2CH_3$

ميثانوات — بروبيل

فيكون اسم المُركّب: ميثانوات البروبيل

أُفكّر: هل تشكل الحموض الكربوكسيلية والإسترات المتساوية في عدد ذرات الكربون متصاوغاتٍ؟ أبرّر إجابتي؛ مستعينًا بمثال أطبقه على كلٍّ منهما.

✓ **أتحقّقُ:** أكتبُ الصيغة البنائية للمادة المسؤولة عن رائحة الأناناس: بيوتانواتِ الإيثيلِ.

الشكلُ (19): بعض استخدامات الإسترات.

الخصائصُ الفيزيائية للإسترات

المجموعةُ الوظيفيّةُ المميزة للإسترات هي مجموعة الإستر - COO -؛

وهي مجموعةٌ قطبية $-\overset{\delta^{-}}{O}-\overset{\overset{O^{\delta^{-}}}{\|}}{C}\,{}^{\delta^{+}}-$ لذلك فالإسترات مُركّباتٌ قطبيّةٌ، ولكنها لا تمتلك ذرة هيدروجين مرتبطة مباشرة مع ذرة الأكسجين، لذلك فهي غير قادرة على عمل روابط هيدروجينية في ما بينها، وهو ما يُفسّر انخفاض درجة غليانها مقارنة مع الحموض الكربوكسيلية المساوية لها في الكتلة المولية، وكذلك انخفاض ذائبيتّها في الماء، فالإسترات التي يزيد عدد ذرات الكربون فيها عن (5) لا تذوب في الماء.

وتُعدُّ الإسترات مذيباتٍ جيدةً للمُركّبات العضوية، منها ما يستخدم لإذابة الدهانات. وتدخل الإسترات أيضا في صناعة الموادّ اللاصقة وتستخدم في تصنيع أكياس النايلون والبلاستيك المستخدم للتغليف كما في الشكل (19).

✓ أتحقّقُ:

أُحدّدُ المُركّب الذي له أعلى درجة غليان

1) $CH_3COOCH_2CH_2CH_3$ أم $CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$

2) $HCOOCH_3$ أم CH_3COOCH_3

التجربةُ 1

اختبار ذوبان بعض المُركّبات العضوية في الماء.

الموادّ والأدوات:

المُركّبات العضوية الآتية: كحول الإيثانول، ثنائي إيثيل إيثر، 1 – هكسانول، إيثانال، أسيتون، حمض الإيثانويك، بروميد الإيثيل، ماء مقطر.

أنبوب اختبار عدد (7) وأُرقّمها بحيث تشير الأرقام إلى المُركّبات العضوية المستخدمة بالترتيب، قطارة مُدرّجة، حامل أنابيب اختبار.

إرشاداتُ السلامة:

- أتبّعُ إرشاداتِ السلامة العامّة في المختبر.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقفازاتِ والكمامة.
- أُبعد المُركّبات العضوية عن مصدر اللهب.
- أحذرُ منَ استنشاق الموادّ العضويّة على نحوٍ مباشر.

خطواتُ العمل:

1- **أقيسُ** (1 mL) منَ الماء المقطر باستخدام القطّارةِ وأضعُها في أنبوب الاختبار رقم (1).

2- **أقيسُ** (1 mL) من كحول الإيثانول باستخدام القطارة وأضيفها إلى أنبوب الاختبار رقم (1) قطرةً بعد قطرة، وأطرقُ بطرف السبابة على الجزء السفلي من الأنبوب بهدف التحريك.

3- **ألاحظُ** هل يمتزج كحول الإيثانول مع الماء أم تتكون طبقتان منفصلتان، وإذا تكوّنت طبقتان منفصلتان؛ فهل هما متساويتان في الحجم أم لا.

4- أُسجّل بياناتي كالآتي: يمتزجُ كلّيًّا، يمتزجُ جزئيًّا، لا يمتزج.

5- أُكرّر الخطوات السابقة باستخدام المُركّبات العضوية المتبقية وأسجّلُ ملاحظاتي.

6- **أُنظّم البيانات:** أُسجّلُ ملاحظاتي حول ذوبان كلّ مُركّب في الجدول الآتي:

التحليلُ والاستنتاج:

1- **أصنّفُ** المُركّبات العضوية حسب ذوبانها في الماء.

2- أُحدّدُ نوعَ قوى التجاذب بين جُزيئات كلّ مُركّب.

3- **أستنتجُ** العلاقةَ بين نوع قوى التجاذب بين جُزيئات السائل وذوبانه في الماء.

4- **أستنتجُ** العلاقةَ بين عدد ذرات الكربون في المُركّب وذوبانه في الماء.

5- **أُفسّر:** يذوب الإيثانول تمامًا في الماء، في حين لا يذوب 1- هكسانول تمامًا فيه.

المُركّب العضوي	الحالة يمتزج كلّيًّا، يمتزج جزئيًّا، لا يمتزج	صفة الذوبان في الماء ذائبٌ، ذائبٌ جزئيًّا، لا يذوب

مراجعةُ الدرس

1 - **الفكرةُ الرئيسةُ: أُفسّر**: على الرغم من تشابه الألديهايدات والكيتونات في المجموعة الوظيفية؛ إلا أنهما صُنّفا بصفتهما نوعين مختلفين من المُركّبات العضوية.

2 - **أوضّحُ** المقصود بكلّ من: • الحموض الكربوكسيلية • الإسترات

3 - **أُفسّرُ** استخدامَ عددٍ من مُركّباتِ المُشتقّاتِ الهيدروكربونيّةِ، مثلِ الإيثرات والكيتونات كمذيباتٍ عضويّةٍ.

4 - **أصنّفُ** المُركّبات العضوية الآتية، وأُحدّدُ المجموعة الوظيفية في كلّ مُركّب:

أ. $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$ ب. $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}OCH_3$ جـ. $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_2CH_3$

5 - **أطبّقُ**: أُسمّي المُركّبات الآتية وفقَ نظام الأيوباك:

أ. $H-\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_2-\underset{\underset{CH_2CH_3}{|}}{\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}}H-\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}-CH_2CH_2CH_3$

ب. $CH_3(CH_2)_3COOH$

جـ. $CH_3O\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_2CH_2CH_2CH_3$

د. $CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_2\underset{\underset{Br}{|}}{CH}\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}HCH_3$

6 - **أطبق**: أكتبُ الصيغ البنائية للمُركّبات العضوية الآتية:

أ. الإستر المكون من الميثانول وحمض الميثانويك

ب. 3،3- ثنائي كلورو بيوتانال

7 - **أصف**: البروبانون و 2- هكسانون: سائلان عديما اللون عند درجة حرارة 20 °C، أصفُ المشاهدة المتوقعة وأُفسّرها عند كلّ مما يأتي:

أ. إضافة 2 mL من البروبانون إلى 10 mL من الماء في أنبوب اختبار ورجّه بلطف.

ب. إضافة 2 mL من 2- هكسانون إلى 10 mL من الماء في أنبوب اختبار ورجّه بلطف.

8 - **أقارن**: أُحدّدُ المُركّب الذي له أعلى درجة غليان في كلّ زوجٍ من المُركّبات الآتية:

الرقم	الصيغ البنائية للمركبات	
1	$CH_3CH_2CH_2COOH$	HCOOH
2	$CH_3CH_2CH_2OH$	CH_3COCH_3
3	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	$CH_3CH_2CH_2Cl$
4	$CH_3CH_2NH_2$	CH_3CH_2OH

الدرسُ 3

المُبلمَرات
Polymers

الفكرةُ الرئيسة:
المُبلمَرات مُركّباتٌ ضخمةٌ طبيعيّةٌ أو صناعية، لكلٍّ منها أهميته واستخدامّاته المرتبطة بتركيبه وخصائصه.

نتاجاتُ التعلُّم:
- أتعرّفُ العلاقة بين المونومرات والمبلمرات.
- أُفسّر أثر الاختلاف في التركيب البنائي للمُبلمرات على خصائصها واستخداماتها
- أكتبُ معادلاتٍ كيميائيةً توضح كيفية تكوّن بعض المُبلمرات من مكوناتها الأساسية.
- أتوصل إلى أهميّة المبلمرات في أجسام الكائنات الحية وفي الحياة اليومية.

المفاهيمُ والمصطلحات:

مبلمرات	Polymers
مونومرات	Monomers
البلمرة	Polymerization
المبلمرات الصناعية	Industrial Polymers
المبلمرات الطبيعية	Natural Polymers
البروتينات	Proteins
الحموض الأمينية	Amino Acids
تكنولوجيا المبلمرات	Polymer's Technology

تعدُّ المبلمرات من المركبات المهمة التي تؤدي وظائف حيوية في أجسام الكائنات الحية، ومنها ما يدخل في غذائها، وتدخل في الكثير من الصناعات في مجالات مختلفة، ومنها ما هو طبيعي وآخر صناعي.

فما هي المبلمرات؟ وكيف تتكون؟ ولماذا تختلف في خصائصها؟ هذا ما سيجري التعرف إليه في هذا الدرس.

المبلمرات Polymers

تعرَّف **المبلمرات** **Polymers** بأنها؛ جزيئاتٌ ضخمة ذات كتلةٍ جزيئيةٍ كبيرة جدًّا، وتتكون من اتحاد عددٍ كبيرٍ من جزيئاتٍ صغيرةٍ تُشكل وحدة البناء الأساسية للمُبلمر وتُسمّى **مونومرات** **Monomers**. وتنتجُ المبلمرات عن تفاعُلٍ كيميائيٍّ يُسمى تفاعُلَ **البلمرة** **Polymerization** تتّحدُ فيه وحدات البناء الأساسية المكوّنة للمُبلمر ضمن ظروفٍ مناسبةٍ من: الضغط، ودرجة الحرارة، ووجود عوامل مساعدة، وللمُبلمَر خصائصُ فيزيائيةٌ وكيميائيةٌ تختلف عن خصائصُ المونومر المكوّنِ لهُ. وتُصنّف المبلمرات إلى نوعين هما: مُبلمراتٌ صناعية ومبلمراتٌ طبيعية، وقد يتكوّن المبلمر من وحدة بناءٍ أساسيةٍ واحدةٍ أو وحدتين أساسيتين أو أكثر.

المُبلمرات الصناعية Industrial Polymers

جزيئاتٌ ضخمة تُحضر صناعيًّا مثل مبلمر مُتعدد الإيثين ومُتعدد البروبين، وتُستخدم في صناعـة البلاستيك، والألياف الصناعية، وغيرها. أنظر الشكل (20).

الشكلُ (20): أمثلة على مواد بلاستيكية.

مبلمر مُتعدّد الإيثين (بولي إيثيلين) Polyethene

من أشهرِ المُبلمرات التي تتكون من الكربون والهيدروجين فقط ،مبلمَرُ مُتعدّد الإيثين، أو ما يُعرف باسم (بولي إيثلين)، حيث إنَّ كلمة بولي هي كلمة لاتينية تعني متعدّد. يتكوّنُ مبلمر متعدّد الإيثين عند تسخين غاز الإيثين تحت ضغوطٍ كبيرةٍ، وبوجود عاملٍ مُساعدٍ؛ فترتبط جزيئات الإيثين نتيجةً لكسر الرابطة الثنائية (π) مُكوِّنةً سلسلةً طويلةً من مبلمر متعدّدِ الإيثين حسب المعادلة الآتية:

$$n CH_2=CH_2 \xrightarrow[\text{عامل مساعد}]{\text{حرارة وضغط}} +(CH_2-CH_2)+_n$$

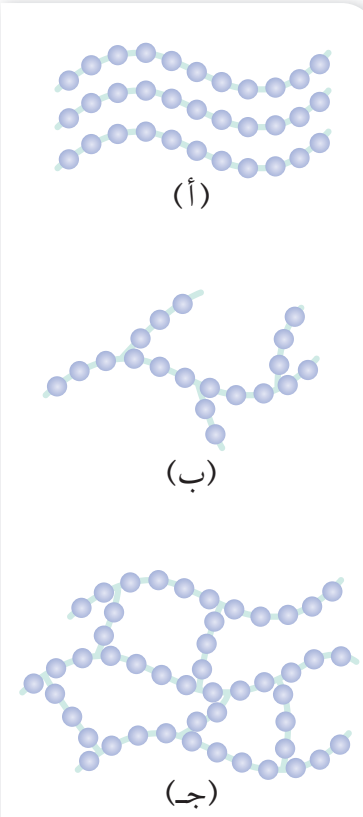
الإيثين — متعدد الإيثين (بولي إيثين)

حيث تُمثّل (n) عددًا كبيرًا من جزيئات الإيثين. وبذلك ينتج عن بلمرة غاز الإيثين مبلمرُ متعدّد الإيثين؛ وهو مادةٌ صلبةٌ يمكن تشكيلها بأشكالٍ متعدّدةٍ يُطلَقُ عليها اسم البلاستيك.

ويمكنُ التحكم بالخصائص الفيزيائية لمبلمر متعدّد الإيثين بالتحكم بطول سلسلة المبلمر؛ فالمُبلمر الذي يتكون من 100 مونومر أقلّ صلابةً وقساوة من المبلمر الذي يحتوي 1000 مونومر. وكذلك التحكُّم في مدى تفرُّع سلسلة المبلمر وتشابكها؛ ففي الشكل (21/ أ) يُلاحظُ أنَّ المُبلمر يتكون من سلاسل غير متفرّعةٍ ممّا يتيحُ لها التقارب والتراصّ فيكتسب قوةً وصلابة، ويسمى هذا النوع مُبلمر متعدد الإيثين عالي الكثافة (HDPE)، ويستخدم في صناعة خراطيم المياه والحاويات البلاستيكية والأدوات المنزلية وفي تغليف الاسلاك الكهربائية لأنه مادة عازلة. وفي الشكل (21/ ب)، عندما تكون سلاسل المبلمر متفرّعةً، فهذا يعيق تقارُبها وتراصّها؛ فينتج مبلمرٌ أقلّ صلابةً وقوّةً، ويسمى مبلمر متعدّد الإيثين منخفض الكثافة (LDPE)، ويستخدم في صناعة الأكياس البلاستيكية.

وفي الشكل (21/ جـ)؛ فإنّ سلاسل المبلمر متشابكةٌ (PEX)، لذلك يكونُ أكثر صلابةً وقوّة من مبلمر متعدّد الإيثين عالي الكثافة، فيستخدم في المجالات التي تحتاج منتجاتٍ بلاستيكيّةٍ شديدة الصلابة.

✓ **أتحقَّقُ:** أقارنُ بين مبلمر متعدِّدُ الإيثين عالي الكثافة ومنخفض الكثافة، من حيث تفرّعُ سلاسلِهِ، وقوة البلاستيك الناتج وصلابته.



الشكلُ (21): التركيب البنائي لمبلمر متعدد الإيثين.

التجربة 2

بناءُ نموذج لمبلمر متعدِّد الإيثين

الموادّ والادوات:

مجموعة نماذج الجزيئات (الكرات والوصلات).

إرشادات السلامة:

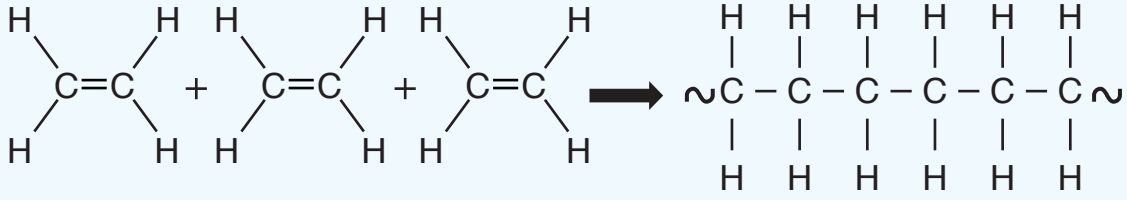
- أتبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أرتدي المعطف والنظارات الواقية والقُفّازات.

خطوات العمل:

1- **أجرّبُ:** أصمم 3 نماذج لجزيء الإيثين C_2H_4 مستخدمًا الكرات والوصلات كما في الشكل.

2- **أجرّبُ:** أفكُّ الرابطة الثنائية في كلّ نموذج، وأربط إحدى ذرتي كربون من كل نموذج مع ذرة كربون من نموذج آخر.

3- **ألاحظُ:** تكونت لدي سلسلةٌ من 6 ذرات كربون تمثل جزءًا من مبلمر متعدد الايثين كما في الشكل الآتي.



التحليل والاستنتاج:

1- **ألاحظ:** هل اكتمل عدد الروابط حول ذرتي الكربون في طرفي السلسلة؟

2- **أستنتج:** هل يمكن إضافة جزيئات إيثين جديدة إلى هذه السلسلة؟ أفسر إجابتي.

مبلمر متعدّد البروبين (بولي بروبلين) Polypropene

مُبلمر متعدّد البروبين (أو ما يعرف بولي بروبلين) ينتجُ من اتحاد عدد كبير من جزيئات البروبين $CH_2=CHCH_3$ الذي يُمثّل وحدة البناء الأساسية في هذا المبلمر، والرابطة الثنائية تُمكّن جزيئات البروبين من الارتباط معًا بأعداد كبيرة. تجري عمليةُ البلمرة عند تسخين غاز البروبين تحت ضغوطٍ كبيرةٍ وبوجودِ عاملٍ مُساعد؛ فترتبط جزيئاته نتيجة لكسر الرابطة الثّنائيّة (π) مُكوّنةً سلسلةً طويلةً من مُبلمر متعدّد البروبين. يشبه مُبلمرُ متعدد البروبين في خصائصه مبلمرَ متعدد الإيثين؛ ولكنه أكثر صلابةً وسلاسلُهُ أطولُ؛ لذلك يستخدم في صناعة الأكواب والصحون والعبوات البلاستيكية وفي صناعة السيارات؛ إذْ يدخل في صناعة المصدات (مُخفّفات التصادم) في مقدمة السيارات، والمعادلة الآتية تُمثّل بلمرة البروبين للحصول على مبلمر متعدّد البروبين:

$$n\ CH_2=\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{CH}} \xrightarrow[\text{عامل مساعد}]{\text{حرارة وضغط}} \left[CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{CH}}\right]_n$$

حيث تُمثّل n عددًا كبيرًا من جزيئات البروبين.

مبلمرُ متعدّد رباعي فلورو إيثين (التفلون) Teflon

ينتجُ مبلمر التفلون من اتّحاد عددٍ كبيرٍ من جزيئات رباعي فلورو إيثين $CF_2=CF_2$ الذي يُمثّل وحدة البناء الأساسية في هذا المبلمر حسب المعادلة:

$$nCF_2=CF_2 \xrightarrow[\text{عامل مساعد}]{\text{حرارة وضغط}} \left(CF_2-CF_2\right)_n$$

ويتميز التفلون بأنه لا يحترق، ولا يتآكل، ولا يتفاعُل مع الموادّ الكيميائية، لذلك يستخدم في فرش ملاعب التزلُّج، وصنع الأواني المنزلية التي لا يَلصق بها الطعام، وصنع الصمامات التي لا يلزمها التشحيم وعزل الأسلاك والكوابل.

الربط مع الصناعة

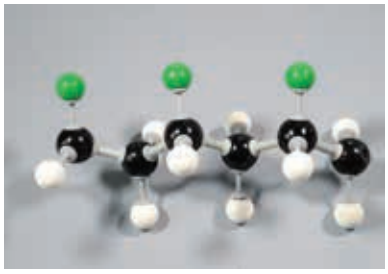
يتميزُ مبلمر متعدد البروبين بأنّه حبيباتٌ بيضاءُ اللون؛ يجري تشكيلها بالضغط والحرارة وبوجود عوامل مساعدةٍ للحصول على المنتجات البلاستيكية المختلفة.

الجدول (14): بعض المبلمرات ومعلومات عنها.

الصيغة البنائية للمونومر	اسم المونومر	اسم المبلمر	الاستخدام
$CH_2=CH-Cl$	كلوريد الفينيل (كلورو إيثين)	متعدّد كلوريد الفينيل PVC	الأنابيب البلاستيكية
$CH_2=CH-CN$	بروبين نيتريل	الإكريلان	الأقمشة
$CH_2=CH-C_6H_5$	الستايرين	متعدّد الستايرين	العزل الحراري

ويوضّح الجدول (14) بعض المبلمرات، ووحدات البناء الأساسية المكوّنة لها، واستخداماتها.

✓ أتحقَّقُ:



الشكل المجاور يُمثّل جزءًا من مبلمر متعدّد كلوريد الفينيل، حيث تُمثّل الكرات البيضاء ذرات الهيدروجين، والكرات الخضراء ذرات الكلور والكرات السوداء ذرات الكربون.

1- أكتبُ الصيغة البنائية لهذا الجزء من المبلمر.

2- أكتبُ الصيغة البنائية للمونومر المُكوّن له.

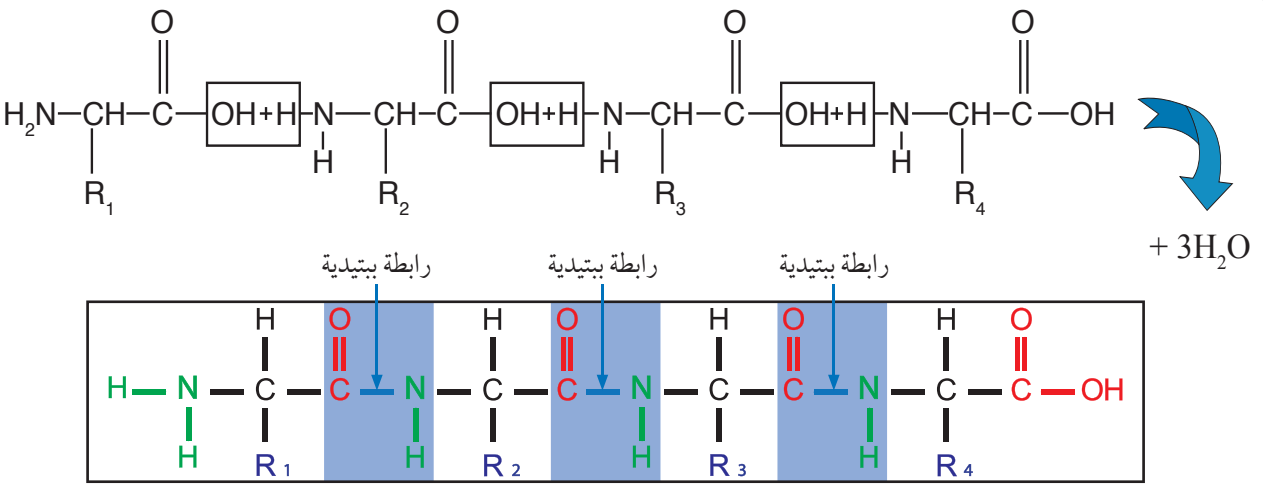
المبلمرات الطبيعية Natural Polymers

تُعرّف **المبلمرات الطبيعية Natural Polymers** بأنها؛ جزيئاتٌ ضخمة تتكون من وحدات بناء أساسية تختلف باختلاف المبلمر، مثل البروتين، والنشا، والحرير، والصوف، وغيرها.

البروتينات Protiens

تُعدُّ البروتينات من المُركّبات الحيوية المهمّة في أجسام الكائنات الحيّة، إذْ تدخل في تركيب الخلايا الحيّة جميعِها، وتؤدّي وظائفَ حيويةً متنوّعةً في الجسم؛ فبوصفها أنزيماتٍ وهرموناتٍ تحفِّز التفاعُلات التي تحدث في الجسم وتنظمها، ولها دور في نقل الأكسجين بين الخلايا وغيرها من الوظائف الحيوية. ويجري الحصول عليها عن طريق الغذاء. فما البروتينات؟ وما تركيبها الكيميائيُّ؟

أبحثُ: أرجع إلى مواقع إلكترونيةٍ مناسبةٍ عبر شبكة الإنترنت، وأبحث عن (المشكلات البيئية التي يسببها الاستخدام الكثيف للبلاستيك)، وأكتب تقريرًا بذلك، أو أُعدُّ عرضًا تقديميًّا حول الموضوع وأناقشه مع زملائي ومعلمي.

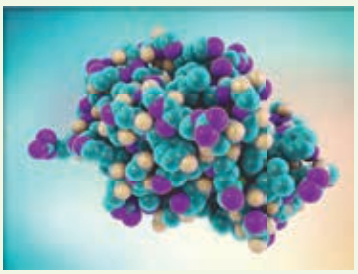


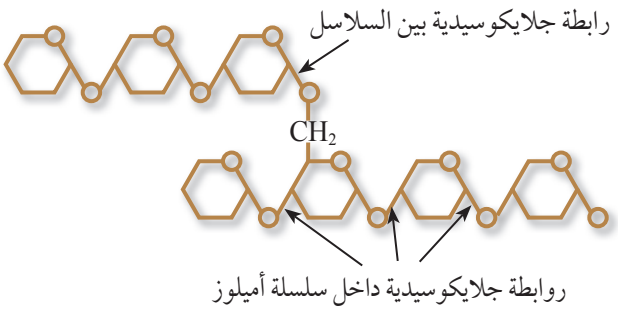
الشكلُ (22): الرابطة الببتيدية بين عدد من الحموض الأمينية.

تُعرّف **البروتينات Protiens** بأنها مبلمراتٌ طبيعية تتكون من اتّحاد عددٍ كبيرٍ من وحدات بناء أساسيّةٍ تُسمّى الحموض الأمينية.

تُعرّف **الحموض الأمينية Amino Acids** بأنها مُركّبات عضوية صيغتها العامة $R\text{-}\underset{NH_2}{CH}\text{-}COOH$، تحتوي على مجموعة كربوكسيل (-COOH)، ومجموعة أمين ($-NH_2$)، وطرفٌ هيدرو كربوني R يختلف باختلاف الحمض الأميني، ويحتوي البروتين على حموض أمينية عدّةٍ تشكل وحدات البناء المكونة له، وتترابطُ في ما بينها بروابطَ ببتيديّةٍ (أميدية)، كما يوضح الشكل (22)، حيث تتفاعُل مجموعة الكربوكسيل من حمضٍ اميني ومجموعة الأمين من حمض أميني آخر بحذف جزيءِ ماء، وتنشأ الرابطة الببتيدية بين ذرة كربون مجموعة الكربونيل وذرة نيتروجين مجموعة الأمين $(-\overset{O}{\overset{\|}{C}}\text{-}\underset{H}{N}-)$.

الربطُ مع العلوم الحياتية يعدُّ أنزيم الليزوزيم بروتينًا صغيرًا نسبيًّا، إذ تبلغ الكتلة المولية له 14600 g/mol، ويتواجد في الدّيّات في الدموع، والعرق، والخلايا البيضاء، كمضادٍّ حيويٍّ يعملُ على تحليل خلايا البكتيريا، ويتواجد في بعض أنواع الفواكه مثل البابايا. ويوضح الشكل المجاور أُنموذجًا لهذا البروتين.

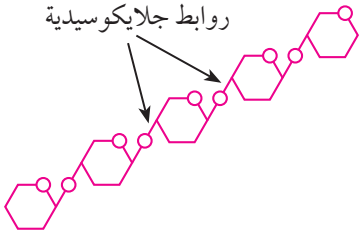




الشكلُ (23): الأميلوبكتين.

النشا Starch

يوجد النشا في الكثير من الموادّ الغذائية، مثل البطاطا، والأرز، والقمح، والذرة، ويتكوّنُ من 3 عناصرَ رئيسةٍ هي الكربون، والهيدروجين، والأكسجين، ويعدُّ النشا Starch مبلمرًا طبيعيًّا يتكون من اتِّحادِ عددٍ كبيرٍ من وحدات بناءٍ أساسيّةٍ هي سكر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$، وترتبط في ما بينها بروابطَ إيثريّةٍ (C-O-C) تُسمّى روابط جلايكوسيدية. ويتكون النشا من جزأين، الأميلوز الذي ترتبط جزيئات السكر فيه بصورة سلاسل مستمرّةٍ تشكل 20% - 10 من كتلة النشا، والأميلوبكتين الذي يتكون من اتحاد سلاسل الأميلوز معا بروابط جلايكوسيدية مكوّنًا سلاسل مُتفرّعة تشكّل ما يقارب 90% - 80 من كتلة النشا. ويُبيّن الشكل (23) اتّحاد جزء من سلاسل الأميلوز مُكوّنةً الأميلوبكتين.



الشكلُ (24): مبلمر السليلوز.

السيليلوز Cellulose

يدخلُ السليلوز في تركيب جدران الخلايا النباتية، ويستخدم في الكثير من الصناعات، مثل الورق، والحرير الصناعي، والألبسة القطنية. ويُعدُّ السليلوز Cellulose مبلمرًا طبيعيًّا وحدةُ بنائه الأساسية سكر الجلوكوز، وتترابط جزيئات الجلوكوز فيه بروابطَ جلايكوسيديّةٍ على صورةِ سلاسلَ غيرِ مُتفرّعةٍ، أنظر الشكل (24).

✓ أتحقَّقُ:

1- أوضح المقصود بالرابطة الببتيدية (الأميدية).

2- أقارنُ بين الأميلوز والأميلوبكتين من حيث :

- وحدةُ البناء الأساسية.
- تفرُّعُ السلاسل.

مواد أولية لصناعة المبلمرات القابلة للتحلُّل.

تكنولوجيا المبلمرات
Polymer's Technology

يعدُّ علم المُبلمرات وتقنياته Polymer's Technology أحدَ مجالاتِ الكيمياءِ المهمّة التي يجري تطويرُها من قبل المراكز البحثيَّةِ ومُختبرات الجامعات، ويهتمُّ بدراسة خصائص المُبلمَراتِ وتركيبِها وتطبيقاتِها في المجالات المختلفة، مثل تطوير مُبلمَراتٍ ذاتِ خصائص توصيلٍ كهربائيٍّ للاستخدام في التطبيقات الإلكترونيّة، وكذلك في صناعة الدهانات وتطويرها؛ وذلك بإضافة موانعِ التآكُلِ وموادَّ تمنعُ نموَّ البكتيريا والفطريات. وفي مجال الطب تُستخدَمُ المُبلمراتُ القابلةُ للتحلُّل الحيوي لإيصالِ الدواء إلى المكان المُستهدف والسيطرةِ على إفرازه فيه؛ وذلك بتحميل الدواء على موادَّ لاصقةٍ فيمتصُّه الجلدُ، أو وضعُ الدواء داخلَ كبسولةٍ مصنوعةٍ من مُبلمَراتٍ خاصّةٍ تُغرَسُ في المكان المستهدف من الجسم؛ حيث تتحلّلُ ببطءٍ وتُفرِزُ الدواء خلال فترةٍ معلومة. وتدخل المُبلمَرات في صناعة الخيوطِ الجراحيّة وأجهزةِ تقويم العظامِ، مثل البراغي؛ إذ تتحلّلُ بعض أنواعها بعد فترةٍ زمنيّة.

ويُشترَطُ في هذه المُبلمَرات؛ أن لا يرفضها الجسمُ وأن لا تسبّبَ التهابًا، وأن تكونَ الموادُّ الناتجة عن تحلُّلها غيرَ ضارّةٍ، وأن يتمكّن الجسم من التخلُّص منها بسهولةٍ.

✓ **أتحقَّقُ:** أذكرُ أمثلةً على استخداماتِ المُبلمَراتِ في مجال الصناعة.

مراجعةُ الدرس

1 - **الفكرةُ الرئيسةُ: أوضّحُ** المقصود بالمبلمرات.

2 - **أُفسّر:**

أ . استخدامُ البروبين في صناعة مبلمر متعدّد البروبين، في حين لا يمكن استخدام البروبان في ذلك.

ب. استخدام مبلمر متعدّد الإيثين منخفض الكثافة في صناعة الأكياس البلاستيكية.

جـ. أهمية أبحاث تكنولوجيا المبلمرات في المجال الطبي.

3 - **أطبق:**

يُستخدم مبلمر الإكريلان في صناعة الأقمشة، وينتج عن بلمرة بروبين نيتريل وصيغته البنائية: $CH_2=CH-CN$، أجيب عن الأسئلة الآتية:

أ . ما نوع التفاعُل بين جزيئات بروبين نيتريل لتكوين المبلمر؟

ب. أرسم جزءًا من الصيغة البنائية لمُبلمر الإكريلان مستخدمًا جزيئين من بروبين نيتريل.

4 - **أقارنُ** بين السليلوز والبروتين من حيث:

أ . وحدةُ البناء الأساسية.

ب. نوعُ الرابطة بين وحدات البناء.

جـ. وظيفةٌ حيويةٌ واحدةٌ لكلّ منها.

5 - اعتمادًا على الجدولِ الآتي الذي يتضمّنُ قيمَ طاقةِ الرابطةِ لبعضِ الروابط:

أُفسّرُ: ثباتَ مُبلمرِ التِّفْلون مُقارنةً بغيرِهِ من المُبلمراتِ سواءً الطبيعية أو الصناعية.

الرابطةُ	طاقةُ الرابطة kJ/mol
C-H	413
C-C	348
C-F	485
C-O	385
C-Cl	327

البلاستيك القابل للتحلُّل
Biodegradable plastic

تُمثّل المخلفات البلاستيكية التقليدية مُشكلةً بيئيةً معقدة؛ نظرًا لثباتها ومقاومتها للتحلُّل بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الطبيعة. ممّا يؤدي إلى تراكُم كمياتٍ هائلة منها، سواء على اليابسة أو في مياه البحار والمحيطات وهو ما يُشكّل خطرًا على الكائنات الحية والبيئة. فكيف يمكن حل هذه المشكلة؟

تتعرض الكائنات البحرية للاختناق بسبب تناولها للمخلفات البلاستيكية

نشِطت الجامعات ومراكز الأبحاث في مختلف دول العالم في البحث عن حل لهذه المشكلة، وقد طور الكيميائيون أنواعًا مختلفة من البلاستيك القابل للتحلُّل ومنها:

1 - **البلاستيك المليء بالنشا Starch-filled Plastic**: طور العُلماء نوعًا من البلاستيك يحتوي على كمياتٍ صغيرةٍ من حبيبات النشا، وعند دفنه تقوم البكتيريا والفطريات الموجودة في التربة الرطبة بالتغذي على النشا ممّا يعمل على تفتيت البلاستيك إلى أجزاء صغيرة؛ فتزيد مساحة سطح البلاستيك المُعرّض للتحلُّل وبمساعدة العوامل المُؤكسدة المضافة للبلاستيك يمكنُ أن تزداد سرعة التحلُّل.

مراحل تحلُّل البلاستيك المليء بالنشا.

2 - **البلاستيك الحراري البكتيري Bacterial Thermoplastic**: نجحت إحدى الشركات في تطوير نوعٍ من البلاستيك يُصنع بواسطة البكتيريا يُسمّى بولي هيدروكسي بيوترات PHB، حيث يُصنع من موادَّ تُنتجها البكتيريا عندما تتغذّى على السكريات أو الكحول؛ فتنتج حبيباتٍ من PHB يصنع منها البلاستيك. يتميزُ هذا النوع من البلاستيك بقابليته للتحلُّل بفعل البكتيريا أو الفطريات الموجودة في التربة أو البحار والمحيطات في غضون تسعة أشهر. وقد تمكن فريقٌ آخر من الباحثين من إنتاج هذا النوع نفسه من البلاستيك (PHB) من الذرة وقصب السكر باستخدام أنزيماتٍ خاصة.

3 - **البلاستيكُ القابل للتحلُّل الضوئي Photodegradable Plastic**: يمكنُ لسلاسل المُبلمرات أن تُصمّم بحيث تحتوي على مجموعات الكربونيل C=O التي تمتص الطاقة ضمن نطاق الأشعة فوق البنفسجية من الطيف الكهرومغناطيسي، وتعمل الطاقة الممتصة على تكسير الروابط المحيطة بمجموعة الكربونيل، وعندما يتفكّكُ المُبلمر إلى أجزاءٍ صغيرةٍ فإنّها تتحلُّل حيويًّا بشكلٍ أسرع.

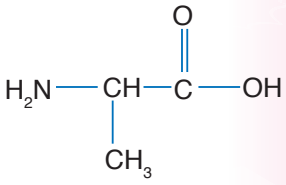
عملية دفن للمخلفات البلاستيكية القابلة للتحلُّل يؤدّيها طفل في حديقة منزله.

4 - **البلاستيكُ القابل للذوبان في الماء Water Poluble Plastic**: طُوّر نوعٌ من البلاستيك يُسمى بولي إيثينول، بحيث يمكن التحكم بدرجة ذائبيته في الماء وهو ما أدى إلى تنوع استخداماته. فيمكن للبولي إيثينول الذائب في الماء أن يُستخدم في صناعة أكياسٍ بلاستيكيّةٍ تستخدم في المستشفيات لتجميع الغسيل المتسخ، وعندما تغسل تذوب الأكياس البلاستيكية ويخرج الغسيل. مما يقلل من مخاطر انتشار الأمراض المُعدية بسبب عمليات حمل غسيل المستشفيات ونقله.

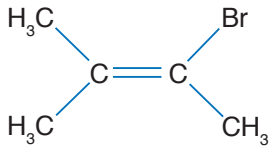
الفكرةُ الرئيسةُ:

1 . ما أثر اختلاف المجموعات الوظيفية للمركبات العضوية في خصائصها الفيزيائية؟

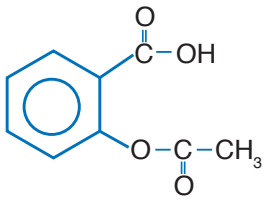
2 . **أصنّفُ**: أُحدّدُ المجموعات الوظيفية في المُركّبات الآتية:



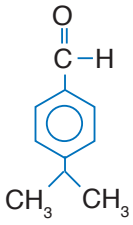
(أ)



(ب)



(جـ)



(د)

3 . أوضّحُ المقصود بكلّ من:

أ – التصاوغ الوظيفي ب – تفاعل البلمرة جـ – المونومر

4 . **أفسّرُ**:

أ – يذوب الإيثانال في الماء بينما لا يذوب كلورو إيثان.

ب – مبلمر متعدّد البروبين أكثر صلابةً وقوّةً من مُبلمر متعدّد الإيثين.

5 . **أُطبّق**: أُسمّي المُركّبات الآتية وفقَ نظام الأيوباك:

أ – $CH_3(CH_2)_2\overset{\overset{COOH}{|}}{C}HCH_2CH_3$

ب – $H\text{-}\overset{\overset{O}{||}}{C}\text{-}OCH_2CH_2CH_3$

جـ – $CH_3CH_2\overset{\overset{OH}{|}}{C}H\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}H\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCH_3$

د – $CH_3CH_2CH_2\overset{\overset{Cl}{|}}{\underset{\underset{Cl}{|}}{C}}CH_2Cl$

هـ – $CH_3CH_2CH_2\underset{\underset{CHO}{|}}{C}HCH_2CH_3$

و – $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{||}}{C}\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}HCH_2CH_3$

ز – $CH_3(CH_2)_2CH_2\text{-}O\text{-}CH_2CH_2CH_3$

6 . **أطبق**: أكتبُ الصيغ البنائية للمُركّبات الآتية:

أ . 3،5- ثنائي ميثيل -2- هكسانون.

ب . 2،2- ثنائي ميثيل-1-أمينو هكسان.

جـ . 4- كلورو -2- بنتانول.

د . حمض 4،5- ثنائي ميثيل هبتانويك.

هـ . الإستر الناتج عن تفاعُل حمض البيوتانويك والإيثانول.

و . 2- إيثيل -4- ميثيل بنتانال.

7 . **أصنّفُ**: المُركّبان الآتيان يتميزان برائحة السمك الفاسد وهما:

1،5- ثنائي أمينو بنتان　　1،4- ثنائي أمينو بيوتان

أ – أكتبُ الصيغة البنائية لكُلٍّ منهما.

ب – ما نوع المُركّب العضوي الذي يُمثّلانه؟

8 . أدرسُ الجدولَ المجاورَ الذي يتضمّنُ ثلاثة كُحولات؛ اعتمادًا عليه أجيب عن الآتي:

صيغة الكحول
CH_3CH_2OH
$CH_3CH_2CH_2OH$
$CH_3(CH_2)_3CH_2OH$

أ – **أُرتّب** الكحولات حسب تزايد درجة غليانها، أُفسّر ذلك.

ب – **أتوقّعُ**: هل تذوب المُركّبات الثلاثة تمامًا في الماء؟ أُفسّر إجابتي.

9 . **أقارن**: يشترك المُركّبان بيوتانال و 2- ميثيل بروبانال في الصيغة الجُزيئيّة C_4H_8O.

أ – أكتبُ الصيغة البنائية لكلّ منهما.

ب – هل يُمثّل المُركّبان متصاوغين؟ ما نوع التصاوغ بينهما؟

جـ – هل يتشابه المُركّبان في درجة غليانهما؟ أُفسّر إجابتي.

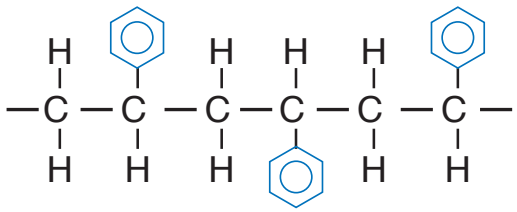
10. الجدول الآتي يُوضّح درجات الغليان لبعض المُركّبات العضوية المتقاربة في الكتلة المولية، أدرسُ الجدولَ، ثمَّ أجيبُ عن الأسئلة التي تليه:

المُركّب العضوي	درجة الغليان °C
$CH_3CH_2CH_2CH_3$	-0.5
CH_3CH_2CHO	50
$CH_3CH_2CH_2OH$	97
CH_3COOH	118

أ – **أُفسّرُ** ارتفاع درجة الغليان بالانتقال من البيوتان إلى حمض الإيثانويك.

ب – **أفسر**: ذائبية 1- بروبانول مقاربة لذائبية البروبانال في الماء.

11. أدرس الشكل الآتي الذي يُمثّل جزءًا من الصيغةِ البنائيّة لمبلمرِ أحد أنواعِ البلاستيك؛ ثم أجيبُ عن الأسئلة التي تليه:



أ – ماذا يُسمّى هذا النوع من البلاستيك؟

ب – أكتبُ الصيغة البنائية للمونومر المُكوّن له.

جـ – ما نوع التفاعُل الذي يؤدي لتكوينه؟

د – ما نوع قوى التجاذب التي تربط سلاسل هذا المبلمر بعضها ببعضٍ؟

هـ – هل يُؤثّر موقع حلقة البنزين (جميع الحلقات باتجاه واحد أو كما يظهر في الشكل) على كثافة البلاستيك الناتج وصلابته؟ أُفسّر إجابتي.

12. **أُقَيّم**: أحدد الخطأ في أسماء المركبات الآتية وأعيد تسميتها:

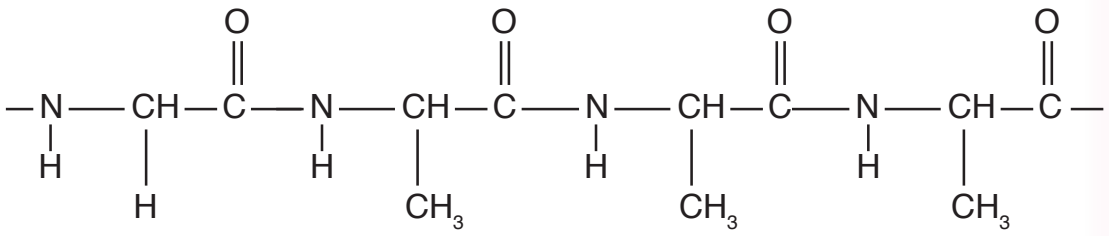
أ – 4- ميثيل -3- أمينو بنتان

ب – 4- بروبيل -3- هكسانول

جـ – حمض 4- ايثيل -1- بنتانويك

د – 3، 3- كلورو -4- ميثيل هكسان

13. أدرس الشكل الآتي الذي يُمثّل جزءًا من سلسلة بروتين وأجيب عن الأسئلة الآتية:



أ – **أستنتج** عدد الحموض الأمينية المكونة لهذا الجزء من سلسلة البروتين.

ب – أكتب الصيغة البنائية للوحدات الأساسية المكونة له.

جـ – **أستنتج** عدد الروابط الببتيدية بين الوحدات الأساسية المكونة له.

14. أختار الإجابة الصحيحة لكلّ فقرةٍ من الفقرات الآتية:

1) عدد متصاوغات الصيغة الجُزيئيّة $C_3H_6Cl_2$ يساوي:

أ – 3 ب – 4 جـ – 5 د – 6

2) أحد بروميدات الألكيل الآتية يسمى 2- برومو بيوتان:

أ – $CH_3\underset{\underset{CH_2Br}{|}}{C}HCH_3$ ب – $CH_3\overset{\overset{CH_2Br}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_3$ جـ – $CH_3\underset{\underset{CH_2CH_2Br}{|}}{C}HCH_3$ د – $CH_3CH_2\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}HBr$

3) المُركّبُ الآتي CH_3-O- CH_2CH_3 ينتمي إلى:

أ – الإيثرات ب – الألديهايدات جـ – الكيتونات د – الإسترات

4) يُتوقَّعُ أن تكون ذائبية ميثيل أمين مُقارنةً بثنائي ميثيل أمين في الماء:

أ – أقلّ ب – أكثر جـ – مساوية د – لا يمكن معرفة ذلك

5) تتواجد مجموعة الكربونيل - $\overset{\overset{O}{\|}}{C}$ - في المُركّبات الآتية ما عدا:

أ – الألديهايدات ب – الكيتونات

جـ – الحموض الكربوكسيلية د – هاليدات الألكيل

6) درجة غليان ميثانوات الإيثيل مقارنة مع درجة غليان إيثانوات الميثيل تكون:

أ – أكبر ب – أقلّ جـ – مقاربة د – لا يمكن معرفة ذلك

7) نوع المُركّب الذي يُمثّله الجزيء : $CH_3CH_2\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}H\text{-}NH_2$

أ – أمين أولي ب – ثنائي أمين جـ – أمين ثانوي د – أمين ثالثي

8) أحد المُركّبات الآتية يُمكن استخدامه كوحدةٍ أساسية لتكوين مُبلمرٍ صناعيٍّ:

أ – CH_3CH_3 ب – $CHCl=CHCl$ جـ – CH_3CH_2OH د – CH_2ClCH_2Cl

مسرد المصطلحات

- **الحساباتُ الكيميائية Stoichiometry:** دراسة العلاقات الكمية بين الموادّ المُتفاعلة والناتجة في التفاعُلِ الكيميائي.
- **الأيونات المُتفرّجة Spectator Ions:** الأيوناتُ التي لم تتغير في عدد ذراتها، وشحنتها، ولم تشترك في التفاعُلِ، ولم يحدث لها تغيُّر كيميائي.
- **المعادلة الأيونية الكاملة Complete Ionic Equation:** المعادلةُ التي تظهر فيها الجُسيمات التي في المحلول جميعها.
- **المعادلة الأيونية النهائية Net- Ionic Equation:** المعادلة التي تظهر فيها الأيونات المُتفاعلة فقط.
- **المادة المُحدّدةُ للتفاعُل Limiting Reactant:** المادة التي تستهلك كلّيًّا في التفاعُلِ وتحدد كمية الناتج المُتكوّن.
- **المادة الفائضة Excess Reactant:** المادةُ التي لم تستهلك كاملةً في أثناء التفاعُلِ.
- **الإحلال المزدوج Double Displacement:** إحلال الأيون الموجب (أو السالب) من مُركّبٍ محلّ الأيون الموجب(أو السالب) من مُركّبٍ آخر.
- **تفاعُل التعادل Neutraliztion Reaction:** تفاعُل حمضٍ مع قاعدةٍ لإنتاج الملح والماء.
- **تفاعُل الترسيب Precipitation Reaction:** تفاعُلٌ تظهر فيه مادّةٌ راسبةٌ نتيجة خلط محلولين لملحينِ ذائبين.
- **التفاعُلات غير المنعكسة Irreversible Reactions:** تفاعُلاتٌ تسري باتجاه واحد نحو تكوين الموادّ الناتجة.
- **التفاعُل الأماميّ Forward reaction:** التفاعُل الذي يحدُثُ باتّجاه تكوين الموادّ الناتجة في التفاعُل المنعكس.
- **التفاعُل العكسي Reverse Reaction:** التفاعُل الذي يحدثُ باتّجاه تكوين الموادّ المتفاعلة في التفاعُل المنعكس.
- **التفاعُلات المنعكسة Reversible Reaction:** تفاعُلات تحدث بالاتجاهين الأماميّ والعكسي في الوقت نفسه.
- **الاتّزان الديناميكي Dynamic Equilibirium:** حالة يصل إليها التفاعُل ويستمر عندها حدوث التفاعُل بالاتجاهين الأماميّ والعكسي بالسرعة نفسها.
- **سرعة التفاعُل الأماميّ Forward reaction Rate:** السرعة التي تتحول فيها الموادّ المُتفاعلة إلى موادّ ناتجةٍ في التفاعُلِ المنعكس.
- **سرعة التفاعُل العكسي Reverse Reaction Rate:** السرعةُ التي تتحول فيها الموادّ الناتجة إلى مواد مُتفاعلة في التفاعُلِ المنعكس.
- **موضع الاتّزان Equilibrium Position:** حالة الاتّزان التي تكون عندها نسبة المواد الناتجة أكبر من المواد المتفاعلة، ويَكونُ الاتزان مُزاحًا جهة المواد الناتجة، أو تكونُ نسبة المواد المتفاعلة أكبر من المواد المتفاعلة، ويكونُ الاتّزانُ مُزاحًا نحو المواد المتفاعلة.

- **مبدأ لوتشاتيلييه Le Chatelier`s Principle:** مبدأٌ ينصُّ على أن " أي تغيير في أحد العوامل المؤثرة في الاتّزان لتفاعُلٍ كيميائيٍّ مُتّزنٍ يدفع التفاعُل إلى تعديل موضع الاتّزان للتقليل من أثر ذلك التغيير".

- **قانون فعل الكتلة Mass Action Law:** قانون ينص على أنه "عند درجة حرارةٍ معينةٍ يصل التفاعُل إلى حالة تكون عندها نسبة تراكيز الموادّ المُتفاعلة إلى تراكيز الموادّ الناتجة قيمة ثابتة".

- **ثابت الاتّزان Equilibrium Constant:** تعبيرٌ يُمثّل نسبة تراكيز الموادّ الناتجة إلى تراكيز الموادّ المُتفاعلة مرفوعًا كلٌّ منها إلى قوة تساوي معاملاتها في المعادلة الموزونة.

- **الاتّزانُ بالمتجانس Homogeneous Equilibrium:** حالة الاتّزان التي تكون فيها الموادّ المُتفاعلة والناتجة جميعها في حالاتٍ الفيزيائية نفسِها سواء أكانت غازات أم محاليل.

- **اتّزان غير المتجانس Heterogeneous Equilibrium:** حالة الاتّزان التي تكون فيها الموادّ المُتفاعلة والناتجة في حالة فيزيائية متنوعة (صلبة، أو سائلة، أو غازية).

- **الحمض الضعيف Weak Acid:** مادة تتأيّنُ في الماء منتجةً ايونَ الهيدروجين (H^+)، وأيونًا سالبًا آخر، تكون تراكيزها في حالة اتّزان مع تركيز جزيئات الحمض غير المتأيّنة.

- **أيون الهيدرونيوم Hydronium Ion (H_3O^+):** أيونٌ ينتج عن ارتباط أيون الهيدروجين في المحلول بجزيئات الماء.

- **ثابت تأيُّن الحمض Acid Dissociation Constant (K_a):** ثابت الاتّزان لتأيُّن الحمض الضعيف في الماء.

- **القاعدة الضعيفة Weak Base:** مادة تتأيُّن في الماء مُنتجةً أيونَ الهيدروكسيد (OH^-) وأيونًا موجبًا آخر، وتكون تراكيزها في حالة اتّزان مع تركيز جزيئات القاعدة غير المتأيّنة.

- **ثابت تأيُّن القاعدة Base Dissociation Constant (K_b):** ثابت الاتّزان لتأيُّن القاعدة الضعيفة في الماء.

- **مُركّبات عضوية Organic compounds:** المُركّباتُ التي تتكوّن بشكل رئيس من الكربون ما عدا أكاسيد الكربون والكربيدات الكربونات.

- **المُركّبات الهيدروكربونية المشبعة Saturated Hydrocarbons:** هي مُركّباتٌ ترتبط ذرات الكربون فيها بروابط تساهمية أحادية فقط.

- **ألكانات Alkanes:** مُركّباتٌ هيدروكربونية تحتوي على روابطَ تساهميّةٍ أُحاديّةٍ فقط.

- **الألكانات ذات السلاسل المستمرة Straight chain alkanes:** هي الألكانات التي تترتّبُ فيها ذرات الكربون بخطٍّ واحدٍ.

- **الألكانات المتفرعة Branched chain alkanes:** هي الألكانات التي تحتوي على مجموعات ألكيلٍ متفرّعةٍ من السلسلة الأطولِ.

- **مجموعاتُ الألكيل Alkyl groups:** هي تفرُّعاتٌ مشتقة من الألكانات الأصلية بحذف ذرة هيدروجينٍ واحدةٍ؛ فتكون الصيغة العامة لها (CnH_{2n+1}) وتُسمّى باستبدال المقطع (يل) بالمقطع (ان) في اسم الألكان ويرمز لها بالرمز R.

- **التصاوغ Isomerism:** وجود صيغٍ بنائيةٍ مختلفةٍ للصيغة الجُزيئيّة نفسها.

- **المتصاوغات البنائية Structural isomers:** اختلاف ترتيب ذرات الكربون في الألكان عن السلسلة المستمرة.

- **ألكينات Alkenes:** مُركّباتٌ هيدروكربونية تحتوي على رابطة مشتركة ثنائية واحدة على الأقلّ بين ذرتي كربون متجاورتين إحداهما رابطة σ والأُخرى π.

- **ألكاينات Alkynes:** أحد أنواع مركّباتٌ هيدروكربونيّةٌ يحتوي كلٌّ منها على رابطةٍ ثلاثيةٍ واحدةٍ على الأقلّ بين ذرتي كربون متجاورتين ولها الصيغة العامة C_nH_{2n-2}، وينتهي اسمها بالمقطع (اين).

- **المُركّبات الأروماتية Aromatic Compounds:** المُركّبات الهيدروكربونية ذات الرائحة العطرية المميزة، ويُعدُّ البنزينُ أشهرَها، حيث تتكون هذه المُركّبات من حلقة بنزين أو أكثر.

- **مشتقات المُركّبات الهيدروكربونية Derivatives Of Hydrocarbons:** مُركّباتٌ عضوية تحتوي بالإضافة للكربون والهيدروجين على ذرّةٍ أو أكثر من عناصرَ أخرى؛ مثل الأكسجين، أو الهالوجين، أو النيتروجين، أو الكبريت، أو الفسفور.

- **مجموعة وظيفية Functional Group:** ذرةٌ أو مجموعة الذرات أو الروابط المسؤولة عن الخصائص المميزة للمُركّب العضوي، وتُعدُّ مركزَ النشاط الكيميائي فيه.

- **هاليدات الألكيل Alkyl Halides:** مُركّباتٌ هيدروكربونيّةٌ حلّت فيها ذرة هالوجين أو أكثر محلّ ذرة أو ذرات هيدروجين، أبسط المشتقات الهيدروكربونية، الصيغة العامة لها R-X.

- **الكحولات Alcohols:** مُركّباتٌ عضوية صيغتها العامة R-OH حيث تُمثّل مجموعة الهيدروكسيل (-OH) المجموعة الوظيفية المميزة لها وتُمثّل R مجموعة ألكيل.

- **الإيثرات Ethers:** مُركّباتٌ عضويّةٌ صيغتُها العامة R – O – R، ترتبط فيها ذرة الأكسجين التي تُمثّل المجموعة الوظيفية بمجموعتي ألكيل متشابهتين أو مختلفتين.

- **الأمينات Amines:** تُشتق من الأمونيا NH_3 ؛ بأن تحل مجموعة ألكيل أو أكثر محل ذرة هيدروجين أو أكثر.

- **الألديهايدات Aldehydes:** مُركّباتٌ عُضويّةٌ الصيغة العامة لها $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$، ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بذرة هيدروجين واحدة على الأقلّ.

- **الكيتونات Ketones:** مُركّبات عُضويّةٌ الصيغة العامة لها $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-R$ ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بمجموعتي ألكيل، أي أنها ليست طرفية.

- **الحموض الكربوكسيلية Carboxylic Acids:** حموضٌ عضويةٌ، الصيغة العامة لها R-COOH؛ حيث R هي مجموعة ألكيل وقد تكون H، و(-COOH) هي مجموعة الكربوكسيل الوظيفية التي تتكون من مجموعة كربونيل مرتبطةٍ بمجموعة هيدروكسيل.

- **الإسترات Esters:** مُركّباتٌ عضويّةٌ صيغتها العامة: $R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR$ ، وهي من مشتقات الحموض الكربوكسيلية؛ إذْ تُنتج صناعيًّا من تفاعُل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول.

- **مبلمرات Polymers:** جزيئاتٌ ضخمةٌ ذاتُ كتلةٍ جزيئيّةٍ كبيرةٍ جدًّا تتكون من اتحاد عددٍ كبيرٍ من جزيئات صغيرة .

- **مونومرات Monomers:** وحدة البناء الأساسية المكونة للمُبلمر.

- **عملية البلمرة Polymerization:** تفاعُلٌ كيميائي تتحدُ فيه وحدات البناء الأساسية المُكوّنة للمُبلمر ضمن ظروفٍ مناسبةٍ من: الضغط، ودرجة الحرارة، ووجود عوامل مساعدة.

- **المبلمرات الصناعية Industrial Polymers:** جزيئاتٌ ضخمةٌ تتكون صناعيًّا من اتحاد عددٍ كبيرٍ من وحدات بناءٍ أساسيّةٍ، مثل البلاستيك والألياف الصناعية.

- **المبلمراتُ الطبيعية Natural Polymers:** جزيئاتٌ ضخمةٌ تتكوّن في أجسام الكائنات الحية، نباتيّة أو حيوانية، وتتكوّن من وحدات بناءٍ أساسيّةٍ تختلف باختلاف المُبلمر، مثل: البروتين، والنشا، والسليلوز، والحرير، والصوف.

- **البروتينات Proteins:** مبلمراتٌ طبيعيّةٌ تتكون من اتّحاد عدد كبير من وحدات بناء أساسيّةٍ (مونومرات) تُسمّى الحموض الأمينية؛ وقد يتكون البروتين من حمضين أمينيين أو أكثر.

- **الحموض الأمينية Amino Acids:** مُركّباتٌ عضويّةٌ الصيغة العامة لها $R-\overset{NH_2}{\overset{|}{C}}H-COOH$، تحتوي على مجموعتي كربوكسيل (-COOH)، وأمين ($-NH_2$)، وهي وحدات البناء الأساسية المُكوّنة للبروتين.

- **النشا Starch:** مبلمرٌ طبيعيٌّ يتكون من اتّحادِ عددٍ كبيرٍ من وحدات بناءٍ أساسية، هي سكر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$، وترتبط في ما بينها بروابط تُسمّى روابط جلايكوسيدية، تتكون من نوعين من المبلمرات الأميلوز والأميلوبكتين.

- **السليلوز Cellulose:** مبلمرٌ طبيعيٌّ وحدة البناء الأساسية له سكر الجلوكوز، ترتبط جزيئات الجلوكوز فيه بروابط جلايكوسيدية مُشكّلة سلاسل متوازية غير متفرعة.

- **تكنولوجيا المبلمرات Polymer's Technology:** أحد مجالات الكيمياء التي تهتم بدراسة حصائص المبلمرات وتركيبها وتطبيقاتها المختلفة.

قائمةُ المراجع

أولًا- المراجعُ العربية:

- خليل حسام، **موسوعة الكيمياء الشاملة**، دار أسامة للنشر، ج 2، 2009 م
- صالح محمد، صابر محمد، عثمأن عثمأن، **أسس ومبادئ الكيمياء**، ج 2، الدار العربية للنشر، 2000 م
- إبراهيم صادق الخطيب، مصطفى تركي عبيد، **الكيمياء العامة**، دار المسيرة للنشر والتوزيع،عمّأن، 2004 م.
- جيمس برادي، جيرارد هيوم ستون، **الكيمياء العامة والمبادئ والبنية**، ج 1، ترجمة سليمان سعسع ومأمون الحلبي، نيويورك، جون ويلي للنشر، 1992 م.
- محمد اسماعيل الدرملي، **الدليل في الكيمياء: الكيمياء العامة؛ ماهيتها، عناصرها**، دار العلم والإيمان ودار الجديد للنشر والتوزيع، 2018 م.

ثانيًا- المراجعُ الأجنبية:

- Sunley, Chris and Goodman, Sam, Collins International Cambridge IGCSE **Chemistry**, Collins, 2014.
- Ebbing ,Gammon, **General Chemistry**, 11th Ed, Houghton Mifflin Company, 2011.
- Winter, Mark J, **Chemical Bonding** , Oxford 2004 .
- Stevens Zumdal,**Chemistry**,7th Ed, Boston, NewYork, 2007
- Raymond Change, **Chemistry**, 10th Edition, Singapore,2010.
- Myers, Thomas, Oldham, **Chemistry**, Online Ed, Holt, Rinehart Winston, 2006.
- Brady, Russell, Holum, **Chemistry Matter and its Change**, 3rd Ed, Wiley,2000.
- McQuarrie, Donald, et al. **Colligative Properties of Solutions**" General Chemistry, Mill Valley: Library of Congress, 2011.
- Brown, Leman, Burten, **Chemistry**,9th Ed, Pearson Education , Inc 2003.
- Wilbraham, Staley, Mtta,Waterman,2nd Ed, Pearson Education , Inc 2012
- Lawrie Rayan, **Advanced Chemistry** for You, Nelson Thornes, 2012
- Mc Murry John، Fundementals of Organic Chemistry ، 5th Ed Thomson Learning Inc.2003