

# الكيمياء

الصف الحادي عشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

11





# الكيمياء

الصف الحادي عشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

11

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

بلال فارس محمود      تيسير أحمد الصبيحات

جميلة محمود عطية      سمير سالم عيد

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسرُّ 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



قرّرت وزارة التربية والتعليم تدرّيس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2021/5)، تاريخ 2021/12/7 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2021/173)، تاريخ 2021/12/21 م، بدءاً من العام الدراسي 2021 / 2022 م.

© HarperCollins 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 - 292 - 3**

المملكة الأردنية الهاشمية  
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:  
(2022/4/1884)

375,001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

الكيمياء: الصف الحادي عشر: الفصل الثاني (كتاب الطالب)/ المركز الوطني لتطوير المناهج. - ط2؛ مزيدة ومتقحة. -

عمان: المركز، 2022

(172) ص.

ر.إ.: 2022/4/1884

الوصفات: / تطوير المناهج // المقررات الدراسية // مستويات التعليم // المناهج /

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر 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.

1442 هـ / 2021 م

1443 هـ / 2022 م

الطبعة الأولى (التجريبية)

أعيدت طباعته



## قائمة المحتويات

الموضوع	الصفحة
المقدمة	5
<b>الوحدة الرابعة: التفاعلات والحسابات الكيميائية</b>	<b>7</b>
التجربة الاستهلاكية: التفاعل الكيميائي	9
الدرس الأول: التفاعلات الكيميائية	10
الدرس الثاني: الحسابات الكيميائية	27
مراجعة الوحدة	38
<b>الوحدة الخامسة: الاتزان الكيميائي</b>	<b>41</b>
التجربة الاستهلاكية: تسامي اليود	43
الدرس الأول: الاتزان الكيميائي والعوامل المؤثرة فيه	44
الدرس الثاني: تعبيرات ثابت الاتزان والحسابات المتعلقة به	58
مراجعة الوحدة	75
<b>الوحدة السادسة: المركبات الهيدروكربونية</b>	<b>79</b>
التجربة الاستهلاكية: بناء المركبات الهيدروكربونية	81



82 ..... الدرسُ الأول: المُركَّبَاتُ الهيدروكربونيَّةُ المُشَبَّعةُ

98 ..... الدرسُ الثاني: المُركَّبَاتُ الهيدروكربونيَّةُ غير المُشَبَّعة والمركبات الأروماتية

113 ..... مراجعةُ الوَحدة

## **115 ..... الوَحدةُ السابعة: مشتقات المُركَّبَاتِ الهيدروكربونيَّة**

117 ..... التجربةُ الاستهلاكيَّة: التصاوُّغُ الوظيفي

118 ..... الدرسُ الأول: هاليداتُ الألكيل، الكحولات، الإيثرات والأمينات

139 ..... الدرسُ الثاني: مُركَّبَاتُ الكربونيل والحموض الكربوكسيلية ومشتقاتها

154 ..... الدرسُ الثالث: المُبلمرات

164 ..... مراجعةُ الوَحدة

168 ..... مسرِّدُ المصطلحات

172 ..... قائمةُ المراجع



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## المقدمة

انطلاقاً 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 معيّنًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجازاة أقرانهم في الدول المتقدمة.

ويُعَدُّ هذا الكتاب واحداً من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحلّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المتّبعة عالمياً؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها حاجات أبنائنا الطلبة والمعلمين والمعلّمات.

وقد جاء هذا الكتاب مُحققاً لمضامين الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومؤشّرات أدائها المتمثلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الواحد والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعترّ - في الوقت نفسه - بانتمائه الوطني. وتأسيساً على ذلك، فقد اعتُمدت دورة التعلّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطالب الدور الأكبر في العملية التعلّمية التعليمية، وتوفّر له فرصاً عديدة للاستقصاء، وحلّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلاً عن اعتماد منحنى STEAM في التعليم الذي يُستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

يتألّف الفصل الدراسي الثاني من الكتاب من أربع وحدات دراسية، هي: التفاعلات والحسابات الكيميائية، الاتزان الكيميائي، المركّبات الهيدروكربونية، مشتقات المركّبات الهيدروكربونية.

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

وانتهاءً بأسئلة التحليل والاستنتاج. وتضمن الكتاب أيضاً أسئلة تفكير متنوعة؛ بُغية تعزيز فهم الطالب لموضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديه.

ونحن إذ نُقدِّم هذه الطبعة من الكتاب، فإننا نأمل أن يُسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية المتعلم، وتنمية اتجاهات حُبِّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمر، فضلاً عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملاحظات المعلمين والمعلمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

# التفاعلات والحسابات الكيميائية

## Reactions and Stoichiometry

### الوحدة

# 4



### أَتأمَلُ الصورة

تتنوع التفاعلات الكيميائية، وينتج عنها عدد هائل من المركبات المختلفة. ويُعبّر عن التفاعلات بمعادلات كيميائية موزونة تُعدُّ ركائز أساسية في الحسابات الكيميائية لحساب كميات المواد المتفاعلة والنتيجة. فما أنواع التفاعلات الكيميائية؟ وكيف تؤثر زيادة كمية مادة متفاعلة أو نقصها في كمية المادة الناتجة؟



## الفكرة العامة:

تُصنّف التفاعلات الكيميائية إلى أنواع مختلفة؛ يُعبّر عنها بمعادلات كيميائية موزونة تعدُّ الأساس في استنتاج المادة المُحدّدة للتفاعل، و حساب كمية مادّة فائضة أو ناتجة بالاعتماد على المادّة المُحدّدة.

### الدرس الأول: التفاعلات الكيميائية.

**الفكرة الرئيسة:** تعتمد أنواع التفاعلات الكيميائية على التغيرات التي تحدث على المواد المتفاعلة والنتيجة، ويُعبّر عنها بمعادلات كيميائية، ويمكن وصف التفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية بمعادلات أيونية.

### الدرس الثاني: الحسابات الكيميائية.

**الفكرة الرئيسة:** تستند الحسابات الكيميائية المبنية على المادة المُحدّدة للتفاعل إلى المقارنة بين عدد المولات اللازمة للتفاعل والمولات المتوافرة، وتحدّد كمية المادة الناتجة بناءً على المادة المُحدّدة للتفاعل.



## تجربة استهلاكية

### التفاعل الكيميائي

**المواد والأدوات:** محلول كلوريد الحديد (III)  $\text{FeCl}_3$  تركيزه 0.1 M، محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH تركيزه 0.1 M، كأس زجاجية سعتها 100 mL، مخبراً مُدرّج ( عدد 2).

#### إرشادات السلامة:

- اتّبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أحذر عند التعامل مع المواد الكيميائية.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.

#### خطوات العمل:

- 1 أقيس:** استخدم المخبر المُدرّج الأول في قياس 5 mL من محلول  $\text{FeCl}_3$ ، والمخبر المُدرّج الثاني في قياس 5 mL من محلول NaOH.
- 2 ألاحظ:** أسكب محتويات المخبرين تدريجياً في الكأس الزجاجية، وألاحظ ما يحدث. ثم أسجل ملاحظاتي.

#### التحليل والاستنتاج:

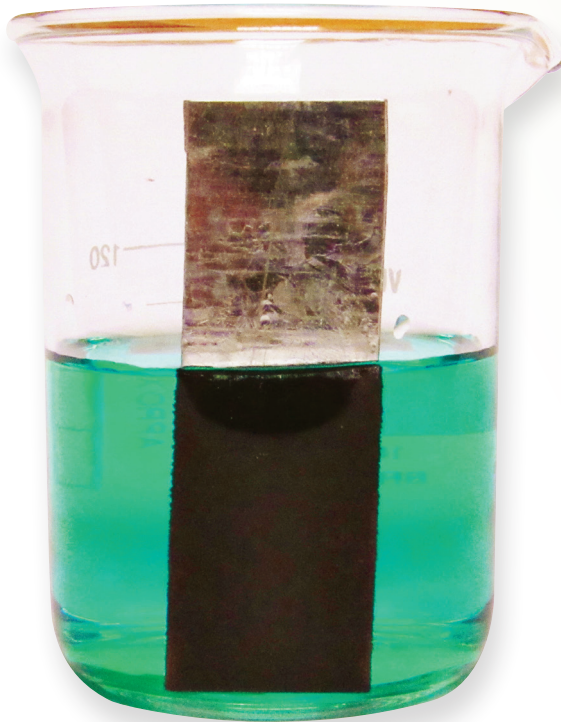
- 1- **أصف** التغير الذي يطرأ على الخليط في الكأس الزجاجية.
- 2- أكتب معادلة كيميائية موزونة تصف التفاعل الحاصل.
- 3- **استنتج** نوع التفاعل الذي حدث.

## أنواع التفاعلات الكيميائية

### Types of Chemical Reactions

تكتسب التفاعلات الكيميائية أهمية كبيرة في حياتنا اليومية، سواء تلك التي تحدث في أجسام الكائنات الحية أم في المصانع والمختبرات. وتتنوع تلك التفاعلات منتجة مواد جديدة تختلف في خصائصها عن خصائص مكوناتها. ولتسهيل دراسة التفاعلات الكيميائية وما يحدث فيها من تغيرات على المواد المتفاعلة؛ صنفها الكيميائيون إلى أنواع رئيسة يُعبر عنها بمعادلات كيميائية موزونة تصف المواد المتفاعلة والنتيجة. أنظر الشكل (1).

فما أنواع التفاعلات الكيميائية؟ وما الخصائص التي صُنفت بناءً عليها؟ وكيف تُكتب المعادلة الأيونية؟



الشكل (1): تفاعل كيميائي .

### الفكرة الرئيسة:

تعتمد أنواع التفاعلات الكيميائية على التغيرات التي تحدث للمواد المتفاعلة والنتيجة، ويمكن وصف التفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية بمعادلات أيونية.

### نتائج التعلم:

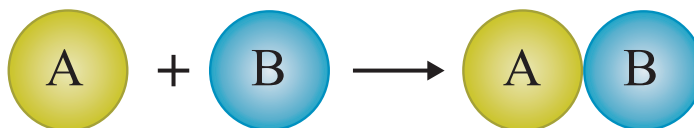
- أصف التفاعلات الكيميائية وأعطي أمثلة عليها.
- أكتب معادلات أيونية موزونة لتفاعلات التعادل والترسيب.

### المفاهيم والمصطلحات:

- تفاعل الإحلال المزدوج  
Double Displacement Reaction
- تفاعل الترسيب  
Precipitation Reaction
- تفاعل التعادل  
Neutrallization Reaction
- المعادلة الأيونية  
Ionic Equation
- الأيونات المتفرجة  
Spectator Ions
- المعادلة الأيونية النهائية  
Net Ionic Equation

## تفاعلات الاتحاد Combination Reactions

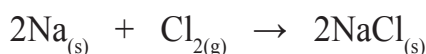
تفاعل كيميائي تتحد فيه مادتان أو أكثر (عناصر أو مركّبات)؛ لإنتاج مادة واحدة جديدة تختلف في خصائصها عن خصائص مُكوّناتها. ويسمى هذا التفاعل أيضًا تفاعل التكوين أو التحضير Synthesis Reaction؛ لأنه يؤدي إلى إنتاج مادة جديدة. ويمكن التعبير عنه بالمعادلة العامة الآتية:



تُصنّف تفاعلات الاتحاد بناءً على أنواع المواد المتفاعلة إلى ثلاثة أنواع كما يأتي:

### اتحاد عنصر مع عنصر Combination Element with Element

يشتعل فلز الصوديوم بضوءٍ ساطعٍ أصفر اللون عند إمرار غاز الكلور عليه، الشكل (أ/2)، وينتج عن التفاعل مركّب كلوريد الصوديوم المعروف بملح الطعام، الشكل (ب/2)، ويُعبّر عن التفاعل كما في المعادلة الآتية:



وكذلك يتحد فلز الحديد عند تسخينه مع الكبريت مُكوّنًا مركّب كبريتيد الحديد FeS، كما في المعادلة الآتية:



(ب)



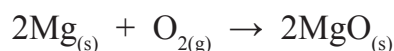
(أ)

الشكل (2):

أ . اشتعال الصوديوم مع الكلور.

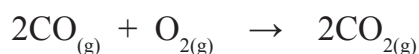
ب . ملح كلوريد الصوديوم.

ومن الأمثلة أيضاً على هذا النوع من التفاعلات؛ اتّحاد العناصر مع غاز الأوكسجين لتكوين أكاسيد العناصر؛ كما في تفاعل المغنيسيوم مع غاز الأوكسجين لتكوين أكسيد المغنيسيوم MgO. الشكل (3)، ويُعبّر عن ذلك بالمعادلة الآتية:

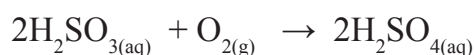


### اتّحاد عنصرٍ مع مُركّب Combination Element with Compound

يتفاعل غاز أول أكسيد الكربون مع غاز الأوكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وفق المعادلة الآتية:



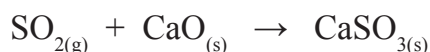
وكذلك يتحد حمض الكبريت (IV)  $\text{H}_2\text{SO}_3$  مع الأوكسجين لإنتاج حمض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (حمض الكبريت VI)، كما في المعادلة الآتية:



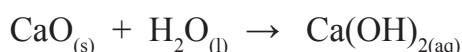
### اتّحاد مُركّب مع مُركّب

#### Combination Compound with a Compound

يتحد مُركّب ثاني أكسيد الكبريت  $\text{SO}_2$ ، مع مُركّب أكسيد الكالسيوم CaO؛ لإنتاج مُركّب كبريتيت الكالسيوم  $\text{CaSO}_3$  وفق المعادلة الآتية:



وكذلك يتفاعل مُركّب أكسيد الكالسيوم (الجير الحيّ) مع الماء لإنتاج هيدروكسيد الكالسيوم (الجير المُطفأ)  $\text{Ca(OH)}_2$ ، المُستخدم في موادّ البناء، وطلاء سيقان الأشجار ودباغة الجلود. ويمكن التعبير عن التفاعل بالمعادلة الآتية:

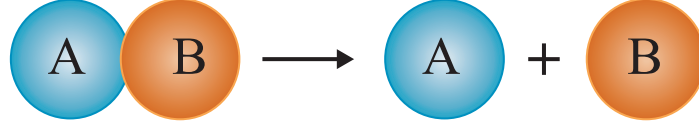
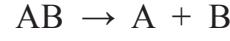


الشكل (3): تفاعل فلز المغنيسيوم مع الأوكسجين. ما لون الضوء الصادر عن احتراق فلز المغنيسيوم؟



## تفاعلات التحلل (التفكك) Decomposition Reactions

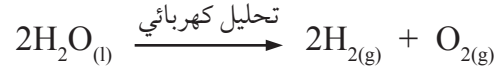
تفاعلٌ يتحلَّل فيه مُركَّبٌ واحدٌ بوجود طاقة حراريَّة أو ضوئيَّة أو كهربائيَّة لإنتاج مادَّتين أو أكثر. وقد تكونُ الموادُّ الناتجة عناصرَ أو مُركَّباتٍ. ويُعدُّ تفاعلُ التحلل عكسَ تفاعلِ الاتِّحاد. ويمكنُ التعبيرُ عن تفاعلاتِ التحلل بالمعادلةِ العامَّةِ الآتية:



تُصنَّفُ تفاعلاتُ التحلل إلى ثلاثة أنواعٍ كما يأتي:  
تحللُ مُركَّبٍ لإنتاج عنصرين

### Decomposition of A compound to produce two Elements

ينتجُ عنصرا الهيدروجينِ والأكسجينِ بالتحليل الكهربائي للماء. أنظرُ الشكل (4)، ويُعبَّر عن التفاعل بالمعادلة الآتية:

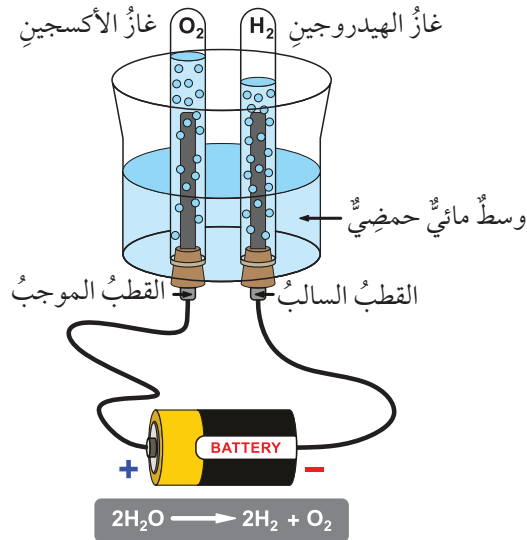


كما يتحلَّل بروميدُ الفضة (المستخدم في طلاء الأفلام الفوتوغرافيَّة) بوجود الضوء، وينتجُ عنصري الفضة والبروم، وفق المعادلة الآتية:



الشكل (4): التحليل الكهربائي للماء.

ما النسبة بين غازي الهيدروجين والأكسجين المتكوَّنين؟



ويتحلل أكسيد الزئبق بالحرارة؛ مُنتجًا عنصري الأكسجين والزنك،  
وفق المعادلة الآتية:



تحلل مُركَّب لإنتاج مُركَّبين (أو أكثر):

**Decomposition of A compound to produce two Compounds or more**

تتحلل كربونات الفلزّات الهيدروجينية مُنتجةً كربونات الفلزّ، وبخار الماء، وغاز ثاني أكسيد الكربون، فمثلاً؛ تتحلل كربونات الصوديوم الهيدروجينية ويؤدي ذلك إلى إنتاج كربونات الصوديوم، وبخار الماء، وغاز ثاني أكسيد الكربون كما يأتي:



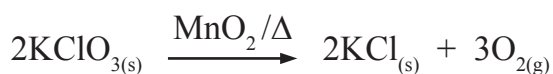
أمّا هيدروكسيدات الفلزّات فتتحلل بالحرارة مُنتجةً أكسيد الفلزّ وبخار الماء. فمثلاً؛ يتحلل هيدروكسيد الكالسيوم مُنتجًا أكسيد الكالسيوم وبخار الماء كما في المعادلة الآتية:



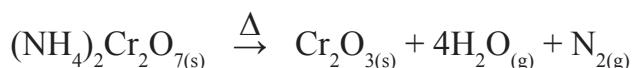
تحلل مُركَّب لإنتاج عناصر ومُركَّبات

**Decomposition of A compound to produce Elements and Compounds**

تتحلل كلورات الفلزّات بالحرارة مُنتجةً كلوريد الفلزّ وغاز الأكسجين، فمثلاً؛ تتحلل كلورات البوتاسيوم بوجود العامل المساعد ثاني أكسيد المنغنيز، وينتج كلوريد البوتاسيوم وغاز الأكسجين، ويُستخدم هذا التفاعل في إنتاج غاز الأكسجين في المختبر، ويُمكن التعبير عن التفاعل وفق المعادلة الآتية:



ومن الأمثلة أيضًا على هذا النوع من التفاعلات؛ تحلل دايكرومات الأمونيوم بالحرارة -الشكل (5)- فينتج أكسيد الكروم وبخار الماء وغاز النيتروجين، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



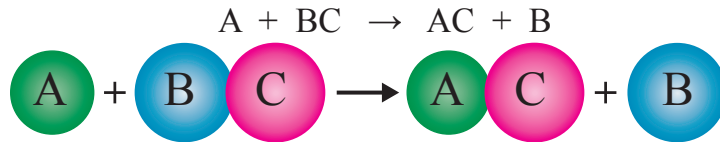
الشكل (5): تحلل دايكرومات الأمونيوم بالحرارة.

## تفاعلات الإحلال Displacement Reactions

تفاعل يحلّ فيه عنصرٌ محلّ عنصرٍ آخر في أحد مركّباته أو أحد أملاحه. ويُسمّى هذا التفاعل أيضًا الاستبدال Replacement، وغالبًا ما تحدث هذه التفاعلات في المحاليل المائية، ولها نوعان هما؛ الإحلال الأحاديّ والإحلال المزدوج.

### الإحلال الأحاديّ Single Displacement

يحلّ العنصر الأكثر نشاطًا كيميائيًا محلّ العنصر الأقل نشاطًا منه؛ وذلك لاختلاف العناصر في نشاطها الكيميائيّ. ويُسمّى هذا التفاعل أيضًا الإحلال البسيط. ويمكن التعبير عن تفاعلات الإحلال الأحاديّ بالمعادلة العامة الآتية:



حيث تشير الرموز (A, B) إلى فلزين أو لافلزين. وتُصنّف تفاعلات الإحلال الأحاديّ إلى ثلاثة أنواع كما يأتي:

### إحلال فلز محلّ فلز آخر

#### Displacement of a Metal in a Compound by another Metal

يحلّ النحاس محلّ الفضة في محلول نترات الفضة، أنظر الشكل (6)؛ فينتج محلول نترات النحاس وترسب ذرات الفضة وفق المعادلة الآتية:



وكذلك يحلّ الألمنيوم محلّ الرصاص في محلول نترات الرصاص، فينتج محلول نترات الألمنيوم وترسب ذرات الرصاص وفق المعادلة الآتية:



### الربط بالحياة

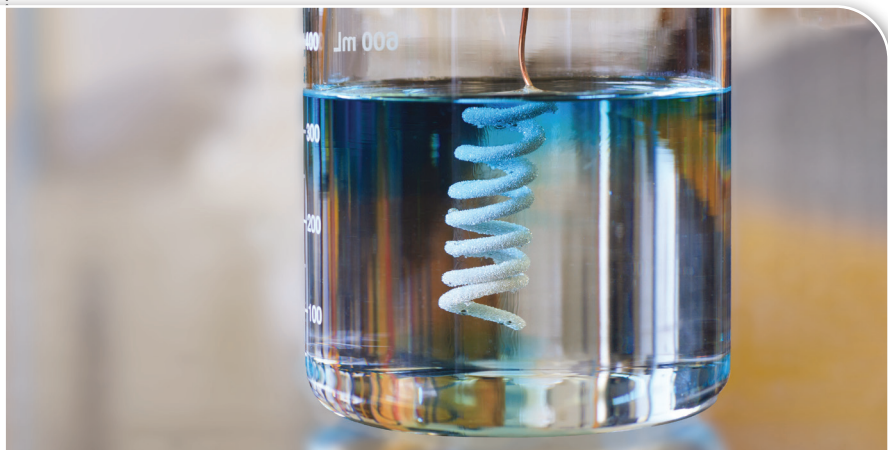


من التطبيقات على تفاعل الإحلال الأحادي؛ تفاعل الثيرمايت الذي ينتج كمية كبيرة من الحرارة عند تفاعل فلزّ الألمنيوم مع أكسيد الحديد وفق المعادلة الآتية:

$$2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$$

وبسبب حرارة عالية تنتج عن التفاعل؛ فيستخدم في لحام قضبان السكك الحديدية.

الشكل (6): إحلال النحاس محلّ الفضة.



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

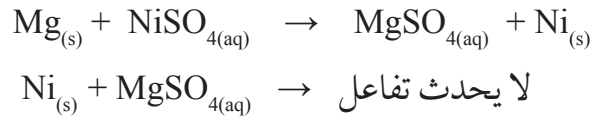
الأقل  
نشاطاً

الأكثر  
نشاطاً

الشكل (7): سلسلة النشاط الكيميائي لبعض العناصر

وبناءً على سلسلة النشاط الكيميائي لبعض العناصر كما في الشكل (7)؛ فإنَّ العنصر الأكثر نشاطاً يحل محلَّ العنصر الأقل نشاطاً منه، ولكنَّهُ لا يحل محلَّ العنصر الأكثر نشاطاً منه.

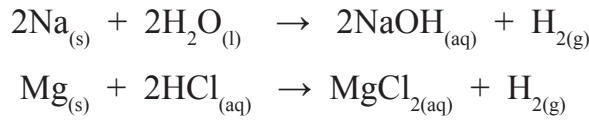
فمثلاً؛ يحلُّ المغنيسيوم محلَّ النيكل في محلول كبريتات النيكل، في حين لا يحلُّ النيكل محلَّ المغنيسيوم، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



إحلال فلز محل الهيدروجين في الماء أو محلول الحمض

#### Displacement of Hydrogene in Water or Acid by a Metal

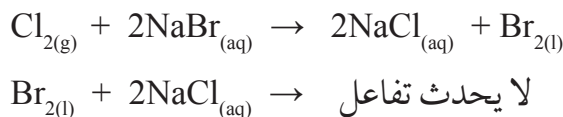
تحلُّ معظم الفلزات محلَّ الهيدروجين عند تفاعلها مع الماء أو محلول الحمض، ويتصاعدُ غاز الهيدروجين كما في المعادلتين الآتيتين:



إحلال لافلز محل لافلز

#### Displacement of a Non- Metal in a Compound by another Non-Metal

تعدُّ تفاعلات الهالوجينات من أبرز الأمثلة على هذا النوع من التفاعلات؛ إذ يحلُّ الهالوجين الأكثر نشاطاً محلَّ الهالوجين الأقل نشاطاً، فعنصرُ الفلور هو الأكثر نشاطاً في مجموعته وأقلها اليود، فمثلاً؛ يحلُّ الكلور محلَّ البروم في محلول بروميد الصوديوم، ولكن لا يحدث العكس كما هو موضح في المعادلة الآتية:



**أفكر:** هل يُمكن استخلاص عنصر الخارصين من محلول أملاحه باستخدام الفضة؟

الأكثر نشاطاً

F<sub>2</sub> الفلور

Cl<sub>2</sub> الكلور

Br<sub>2</sub> البروم

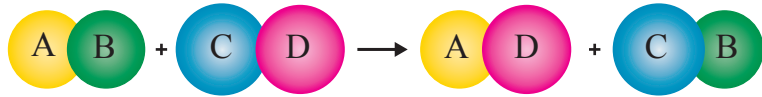
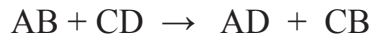
I<sub>2</sub> اليود

الأقل نشاطاً



## تفاعلات الإحلال المزدوج Double Displacement Reactions

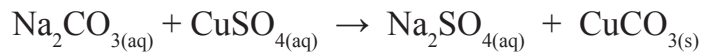
**الإحلال المزدوج Double Displacement**: تفاعل كيميائي فيه عنصران يحل كل منهما محل الآخر في مركباتهما أو المحلول المائي لأملاجهما. ويمكن النظر إلى هذا التفاعل بحدوث تبادل فيه بين موقعي الأيونين الموجبين (أو السالبين) في مركباتهما أو أملاجهما، وعادةً يُمكن تمثيل تفاعلات الإحلال المزدوج بالصورة العامة المُبسطة الآتية:



تُصنّف تفاعلات الإحلال المزدوج إلى ثلاثة أنواع كما يأتي:

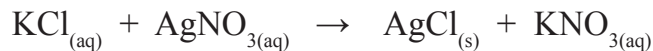
### تفاعل الترسيب Precipitation Reaction

**تفاعل الترسيب Precipitation Reaction**: تفاعل تظهر فيه مادة راسبة نتيجة خلط محلولين لمليحين ذائبين، مثلاً؛ ترسب كربونات النحاس عند خلط محلول من كربونات الصوديوم مع محلول من كبريتات النحاس وفق المعادلة الآتية:



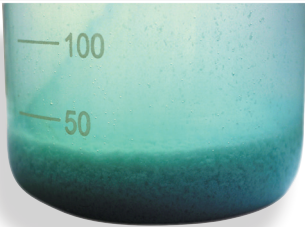
ويلاحظ من معادلة التفاعل استبدال موقع Na و Cu؛ حيث يحل كل منهما محل الآخر، فينتج محلول كبريتات الصوديوم وترسب مركب كربونات النحاس. أنظر الشكل (8).

ومن أمثلة هذا التفاعل أيضاً؛ تفاعل محلول نترات الفضة مع محلول كلوريد البوتاسيوم؛ فينتج محلول نترات البوتاسيوم وترسب مركب كلوريد الفضة وفق المعادلة الآتية:



أصمّم باستخدام

برنامج السكراتش (Scratch) عرضاً يوضّح أنواع التفاعلات الكيميائية بأنواعها المختلفة: الاتحاد، التحلل، الإحلال الأحادي، الإحلال المزدوج، ثمّ أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (8): راسب كربونات النحاس.

# التجربة 1

## تفاعل الترسيب

### المواد والأدوات:

كأس زجاجية سعة 200 mL (عدد 3)، محلول كبريتات النحاس (II)  $\text{CuSO}_4$  تركيزه 1 M، محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH تركيزه 1 M، مخبراً مدرج سعة 100 mL عدد (2).

### إرشادات السلامة:

- اتبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أحذر عند التعامل مع المواد الكيميائية.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.

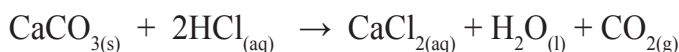
### خطوات العمل:

#### التحليل والاستنتاج:

- 1- أقيس 10 mL من محلول كبريتات النحاس  $\text{CuSO}_4$  (II) باستخدام المخبر المدرج، وأضعها في كأس زجاجية.
  - 2- أنظف المخبر بالماء المقطر، ثم أكرر الخطوة (1) باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH وأضعها في كأس زجاجية أخرى.
  - 3- **الاحظ:** أسكب محتويات الكأسين في الكأس الثالثة، وأحرّكه بشكل دائري بلطف، وأسجل ملاحظاتي.
- 1- **أصف** التغيّر الذي يطرأ على الخليط في الكأس الزجاجية.
  - 2- أكتب معادلة كيميائية موزونة للتفاعل الحاصل متضمنة الحالة الفيزيائية لكل مادة.

### تفاعلات يصاحبها انطلاق غاز Reactions Release a Gas

ينتج عن بعض تفاعلات الإحلال المزدوج انطلاق غاز، فمثلاً؛ تتفاعل كربونات الكالسيوم  $\text{CaCO}_3$ ، مع محلول حمض الهيدروكلوريك كما يظهر في المعادلة الآتية:



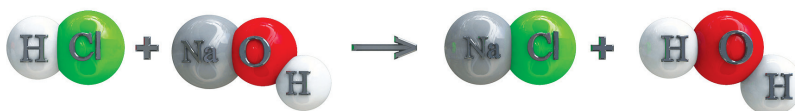
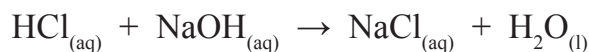
يتضح من المعادلة أن الكالسيوم والهيدروجين يحل كل منهما محل الآخر، ويتكون ملح كلوريد الكالسيوم  $\text{CaCl}_2$ ، وحمض الكربونيك  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ، حيث يتفكك مُنتجاً الماء، وينطلق غاز ثاني أكسيد الكربون.

كذلك يتفاعل كبريتيد الحديد (II) FeS مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl، فينتج محلول كلوريد الحديد (II) FeCl<sub>2</sub>، وينطلق غاز كبريتيد الهيدروجين H<sub>2</sub>S، وفق المعادلة الآتية:

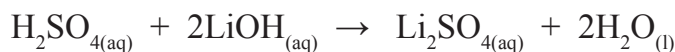


### تفاعل التعادل Neutrallization Reaction

**تفاعل التعادل Neutrallization Reaction** تفاعل يحدث بين محاليل الحموض والقواعد القويّة؛ وينتج عنه الملح والماء. وفي هذا التفاعل تتعادل أيونات الهيدروجين H<sup>+</sup>، الناتجة من تأين الحمض مع أيونات الهيدروكسيد OH<sup>-</sup>، الناتجة من تأين القاعدة لإنتاج الماء، فمثلاً؛ يتفاعل محلول من حمض الهيدروكلوريك HCl، مع محلول من هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ فينتج ملح كلوريد الصوديوم NaCl والماء وفق المعادلة الآتية:



ومن الأمثلة أيضاً؛ تفاعل حمض الكبريتيك H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>، مع هيدروكسيد الليثيوم LiOH، لإنتاج ملح كبريتات الليثيوم Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> والماء، كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقّق:** ما الفرق بين تفاعل التعادل وتفاعل الترسيب؟

الربط بالطب



تنتج المعدة حمض الهيدروكلوريك الذي يساعد في هضم الطعام، ولكن زيادته في المعدة تؤدي إلى شعور الفرد بالحرقة (حموضة المعدة)، لذلك ينصح الطبيب بتناول الأقراص المضادة للحموضة التي تحتوي على مركب قاعديّ مثل هيدروكسيد المغنيسيوم؛ إذ يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك في المعدة ويؤدي إلى التعادل، وتختفي حرقة المعدة ويشعر الفرد بالارتياح.

## الدَّجْرِيَّةُ 2

### تفاعل التعادل

#### الموادّ والأدوات:

محلول حمض النيتريك  $\text{HNO}_3$ ؛ تركيزه 0.01 M، محلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH؛ تركيزه 0.01 M، ماء مُقطَّر، كأس زجاجية (عدد 3)، ساق زجاجية، مخبر مدرّج، مقياس الرقم الهيدروجيني pH. (أو أوراق الكاشف العام).

#### إرشادات السلامة:

- اتَّبِعْ إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أحذرْ عند التعامل مع الموادّ الكيميائية.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفّازات.

#### خطوات العمل:

- 1- **أقيسْ:** 10 mL من محلول حمض النيتريك  $\text{HNO}_3$ ، باستخدام المِخْبَارِ المُدْرَجِ، وأضعُها في كأس زجاجية.
- 2- **أقيسْ:** أستخدمُ مقياس الرقم الهيدروجيني أو أوراق الكاشف العام لقياس قيمة pH للمحلول، وأسجّلها.
- 3- أكرّرُ الخطوتين (1) و (2) لمحلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.
- 4- أخلطُ المحلولين في كأس زجاجية ثالثة، ثم أحرّك بساق زجاجية مُدَّة 2 min.
- 5- **أقيسْ:** أستخدمُ مقياس الرقم الهيدروجيني أو أوراق الكاشف العام لقياس قيمة pH للخليط. وأسجّل ملاحظاتي.

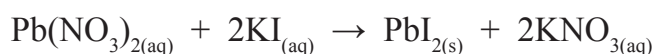
#### التحليل والاستنتاج:

- 1- **أقارنْ** بين قيم pH قبل خلط المحلولين وبعده.
- 2- أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونةً للتفاعل.

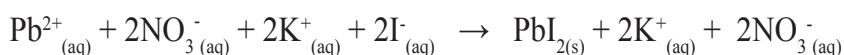


## المعادلة الأيونية Ionic Equation

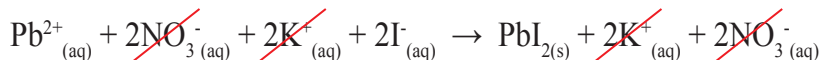
درست سابقاً التعبير عن التفاعل الكيميائي بمعادلة كيميائية موزونة تُبين المواد المتفاعلة والمواد الناتجة، وكمياتها، وحالتها الفيزيائية، وظروف التفاعل. فمثلاً؛ يتفاعل محلول نترات الرصاص  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  (II) مع محلول يوديد البوتاسيوم KI، وينتج عن تفاعلهما محلول نترات البوتاسيوم  $\text{KNO}_3$ ، وترسب يوديد الرصاص  $\text{PbI}_2$  (II)، وفق المعادلة الآتية:



تُبين المعادلة الصيغ الكيميائية للمواد المتفاعلة والناتجة، ولكنها لا تُوضح الأيونات الموجبة والسالبة في محاليل المركبات الأيونية، حيثُ تتفاعل هذه الأيونات في ما بينها لتكوين النواتج، وهذا لا يظهر في المعادلة الكيميائية العامة. ولتوضيح التفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية؛ استخدم الكيميائيون **المعادلة الأيونية Ionic Equation**؛ حيثُ تظهرُ فيها الجسيمات المتفاعلة والناتجة جميعها في المحلول، وبهذا يُمكن إعادة كتابة المعادلة السابقة كما يأتي:



يتضح من المعادلة أن أيونات البوتاسيوم  $\text{K}^+$ ، وأيونات النترات  $\text{NO}_3^-$ ، لم تتغير في طرفي المعادلة؛ أي أنها لم تشارك في التفاعل ولم يطرأ عليها أي تغيير كيميائي، ويُطلقُ عليها **الأيونات المُنفِرجة Spectator Ions**، وتُحذف من طرفي المعادلة كما يأتي:

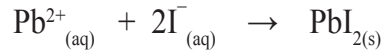


يتضح أنه بحذف الأيونات المُنفِرجة من المعادلة يتبقى أيونات الرصاص  $\text{Pb}^{2+}$  التي تتفاعل مع أيونات اليوديد  $\text{I}^-$ ، وينتج عن تفاعلها يوديد الرصاص  $\text{PbI}_2$  (II)، على شكل راسب أصفر اللون.



الشكل (9): راسب أصفر اللون  
يوريد الرصاص (II)  $PbI_2$ .

أنظر الشكل (9)، وبهذا تكون المعادلة الأيونية لهذا التفاعل على النحو الآتي:



يُطلَقُ على المعادلة التي تظهر فيها الأيونات المتفاعلة فقط **المعادلة الأيونية النهائية (الصافية) Net Ionic Equation**. وقد تنتج عن هذه الأيونات مادة صلبة أو سائلة أو غازية. تُحقّق المعادلة الأيونية النهائية الموزونة قانون حفظ الكتلة، حيث أنواع الذرات المتفاعلة والنتيجة وعدّها قبل التفاعل، وبعده تبقى ثابتة. كما تُحقّق قانون حفظ الشحنة أيضًا؛ فالمجموع الكلي للشحنات الموجبة والسالبة على المواد المتفاعلة يساوي مجموعهما على المواد الناتجة، أنظر الجدول (1).

الجدول (1): تحقيق قانوني حفظ الكتلة وحفظ الشحنة في المعادلة الأيونية.

المواد المتفاعلة	المواد الناتجة
المواد المتفاعلة والنتيجة	$Pb^{2+}_{(aq)} + 2I^{-}_{(aq)}$ $PbI_{2(s)}$
موازنة الصيغ الكيميائية	1Pb , 2I      1Pb , 2I
موازنة الشحنات	$(1 \times +2) + (2 \times -1) = 0$ 0

يتضح مما سبق؛ أنه يمكن التعبير عن تفاعلات المحاليل المائية بمعادلة أيونية نهائية، والأمثلة الآتية توضح ذلك:

### الربط بالحياة

يُستخدم يوريد الرصاص  $PbI_2$  بصفته مادة ملونة في صناعة الدهانات؛ حيث يكسبها اللون الأصفر، ومن أبرز طرائق تحضيره: تفاعل محلول يوريد البوتاسيوم KI مع محلول نترات الرصاص  $Pb(NO_3)_2$  فيترسب يوريد الرصاص  $PbI_2$ .

يتفاعل محلول كلوريد النحاس (II)  $\text{CuCl}_2$  مع محلول هيدروكسيد الصوديوم  $\text{NaOH}$ ؛ ليتكوّن محلول كلوريد الصوديوم  $\text{NaCl}$ ، ويترسّب هيدروكسيد النحاس (II)  $\text{Cu(OH)}_2$ ، كما في الشكل، أكتب المعادلة الأيونية النهائية.



تحليل السؤال (المعطيات):

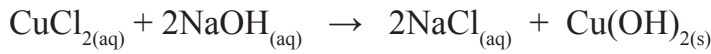
المواد المتفاعلة: محلول  $\text{CuCl}_2$  مع محلول  $\text{NaOH}$ .

المواد الناتجة: محلول  $\text{NaCl}$  وراسب  $\text{Cu(OH)}_2$ .

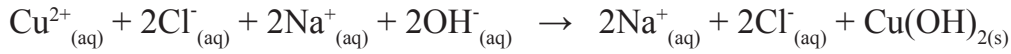
المطلوب: كتابة المعادلة الأيونية النهائية.

**الحل:**

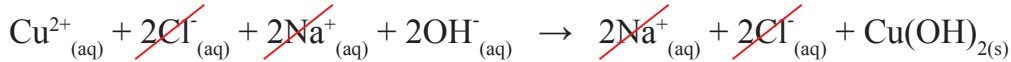
أكتب معادلة التفاعل الموزونة:



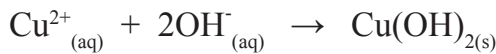
أكتب المعادلة الأيونية:



أحذف الأيونات المتفرّجة من طرفي المعادلة، وهي  $(2\text{Na}^{+} + 2\text{Cl}^{-})$  في هذا المثال:



أكتب المعادلة الأيونية النهائية:





## المثال 2

يتفاعل محلول نترات الفضة  $\text{AgNO}_3$  مع محلول بروميد الصوديوم  $\text{NaBr}$ ، ويتكوّن محلول نترات الصوديوم  $\text{NaNO}_3$ ، ويطرسب مُركّب بروميد الفضة  $\text{AgBr}$ .

1 - أكتب معادلة التفاعل الموزونة.

2 - أكتب المعادلة الأيونية.

3 - أكتب المعادلة الأيونية النهائية.

تحليلُ السؤال (المعطيات):

الموادُّ المُتفاعلة: محلول  $\text{AgNO}_3$  مع محلول  $\text{NaBr}$

الموادُّ الناتجة: محلول  $\text{NaNO}_3$  وراسب  $\text{AgBr}$

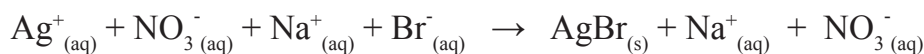
المطلوب: كتابةُ المعادلة الموزونة، والمعادلة الأيونية، والمعادلة النهائية.

**الحلُّ:**

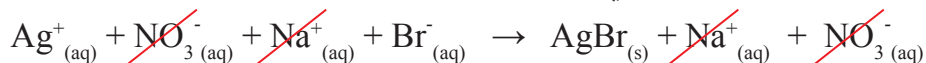
1 - معادلة التفاعل الموزونة:



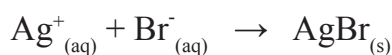
2 - المعادلة الأيونية:



أحذف الأيونات المُتفرّجة من طرفي المعادلة:

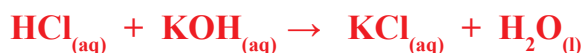


3 - المعادلة الأيونية النهائية:



## المثال 3

يتعادل محلولاً حمض الهيدروكلوريك  $\text{HCl}$ ، وهيدروكسيد البوتاسيوم  $\text{KOH}$ ، وفق المعادلة الموزونة الآتية:

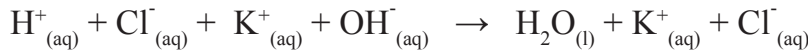


أكتبُ المعادلة الأيونية النهائية.

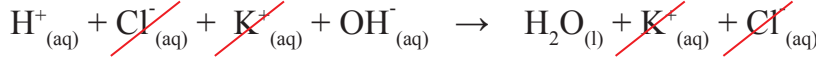
المطلوب: كتابةُ المعادلة الأيونية النهائية.

الحل:

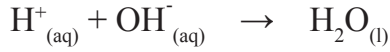
أكتبُ المعادلةَ الأيونيةَ:



أحذفُ الأيوناتِ المُتفرّجةَ:



أكتبُ المعادلةَ الأيونيةَ النهائيةَ:



## المثال 4

اعتمادًا على المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

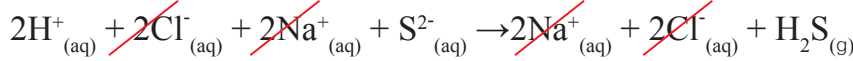


1 - أكتب المعادلة الأيونية.

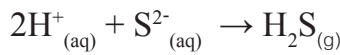
2 - أكتب المعادلة الأيونية النهائية.

الحل:

أكتبُ المعادلةَ الأيونيةَ وأحذفُ الأيوناتِ المُتفرّجةَ:



أكتبُ المعادلةَ الأيونيةَ النهائيةَ:



أعدُّ فيلمًا قصيرًا

باستخدام صانع الأفلام Movie Maker؛ موضحًا معادلةَ أيونيةَ لتفاعل ما، والأيوناتِ المُتفرّجةَ والمعادلةَ الأيونيةَ النهائيةَ، بحيث يحتوي الفيلم على مفهومٍ كلٍّ منها، وعلى أنموذجٍ تمثيليٍّ للتفاعل، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

✓ **أتحقَّق:** يتفاعلُ محلولُ كلوريد الألومنيوم  $\text{AlCl}_3$ ، مع محلول

هيدروكسيد الصوديوم  $\text{NaOH}$ ؛ فينتجُ محلول كلوريد الصوديوم

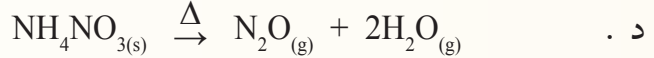
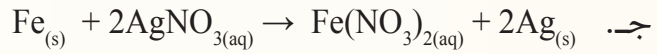
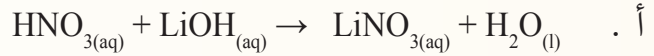
$\text{NaCl}$ ، ويطرسُّ هيدروكسيد الألمنيوم  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

1- أكتبُ المعادلةَ الأيونيةَ.

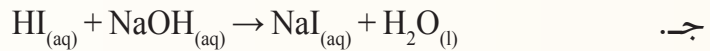
2- أكتبُ المعادلةَ الأيونيةَ النهائيةَ.

## مراجعةُ الدرس

- 1 - الفكرةُ الرئيسة: **أقارنُ** بين أنواع التفاعلات الكيميائية؛ من حيث المواد المتفاعلة والنتيجة.
- 2 - أوضِّح المقصود بكلٍّ من: تفاعل التعادل، المعادلة الأيونية النهائية، الأيونات المتفرجة.
- 3 - يتفاعل محلول من فوسفات الصوديوم  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  مع محلول من كلوريد الحديد (III)  $\text{FeCl}_3$ ؛ فينتج محلولاً من كلوريد الصوديوم  $\text{NaCl}$ ، ويترسب فوسفات الحديد (III)  $\text{FePO}_4$ .  
 أ . أكتبُ المعادلة الكيميائية الموزونة.      ب . أكتبُ المعادلة الأيونية.  
 جـ . أحددُ الأيونات المتفرجة في المعادلة.      د . أكتبُ المعادلة الأيونية النهائية.
- 4 - **أصنّفُ** المعادلات الكيميائية الآتية إلى أنواعها الرئيسة: الاتحاد، التحلل، الإحلال الأحادي، الإحلال المزدوج:

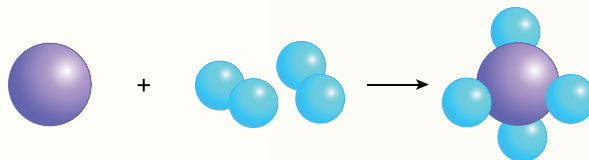
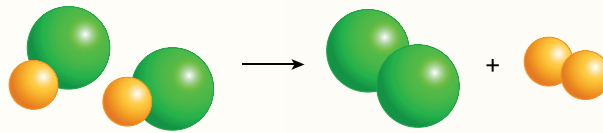


- 5 - **أستنتجُ** نوعَ تفاعلات الإحلال المزدوج (ترسيب، تعادل، إطلاق غاز) في المعادلات الآتية:



- 6 - **أفسّر:** يحلُّ عنصر الفلور  $\text{F}_2$  محلَّ عنصر اليود  $\text{I}_2$  في محلولٍ مائيٍّ ليوريد البوتاسيوم  $\text{KI}$ .

- 7 - **أستنتجُ** معادلةً كيميائيةً عامةً تُمثِّل كلاً من التفاعلين الآتين:

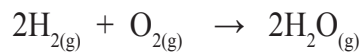


## المادة المُحدّدة للتفاعل Limiting Reactant

تُجرى التفاعلات الكيميائية في المختبرات والمصانع بناءً على حساب كميات المواد وفق نسبها المولية في المعادلة الموزونة، وقد درست سابقاً كيفية إجراء الحسابات الكيميائية؛ بمعرفة كمية إحدى المواد المُتفاعلة أو الناتجة وفق النسبة المولية التي تُحددها المعادلة الموزونة.

ولكن؛ ماذا يحدث عند خلط كميات معلومة من المواد المُتفاعلة بنسبة مولية تختلف عن النسبة التي تُحددها المعادلة الموزونة؟ ومتى يتوقف التفاعل؟ وما المادة التي تُحدّد نهايته؟ وكيف يمكن حساب كميات المواد الناتجة؟

عند خلط كميات معلومة من مواد مُتفاعلة بنسبة لا تتطابق مع نسبها المولية في المعادلة الموزونة؛ فمن النادر أن تُستهلك كميات المواد جميعها أثناء التفاعل؛ إذ يتوقف التفاعل باستهلاك كمية إحدى المواد المُتفاعلة كلياً، وتُسمى **المادة المُحدّدة Limiting Reactant**؛ وهي المادة المُتفاعلة التي تُستهلك كلياً في التفاعل وتُحدّد كمية المادة الناتجة. في حين تبقى كمية زائدة من مادة مُتفاعلة أخرى أو أكثر لم تستهلك كلياً في أثناء التفاعل تُسمى **المادة الفائضة Excess Reactant**. فمثلاً؛ يتفاعل غازا الهيدروجين والأكسجين كما في المعادلة الآتية:



يتبيّن من المعادلة الموزونة أنه عندما يتفاعل 2 mol من الهيدروجين مع 1 mol من الأكسجين؛ فإنّهما يُستهلكان كلياً ويتوقف التفاعل. وبهذا تكون المادتان كلاهما محدّتين للتفاعل. ولكن أيّ المادتين ستكون المادة المُحدّدة للتفاعل؛ عند تفاعل 10 mol من الهيدروجين مع 7 mol من الأكسجين؟

### الفكرة الرئيسة:

تستند الحسابات الكيميائية المبنية على المادة المُحدّدة للتفاعل إلى المقارنة بين عدد المولات اللازمة للتفاعل والمولات المتوافرة، وتُحدّد كمية المادة الناتجة بناءً على المادة المُحدّدة للتفاعل.

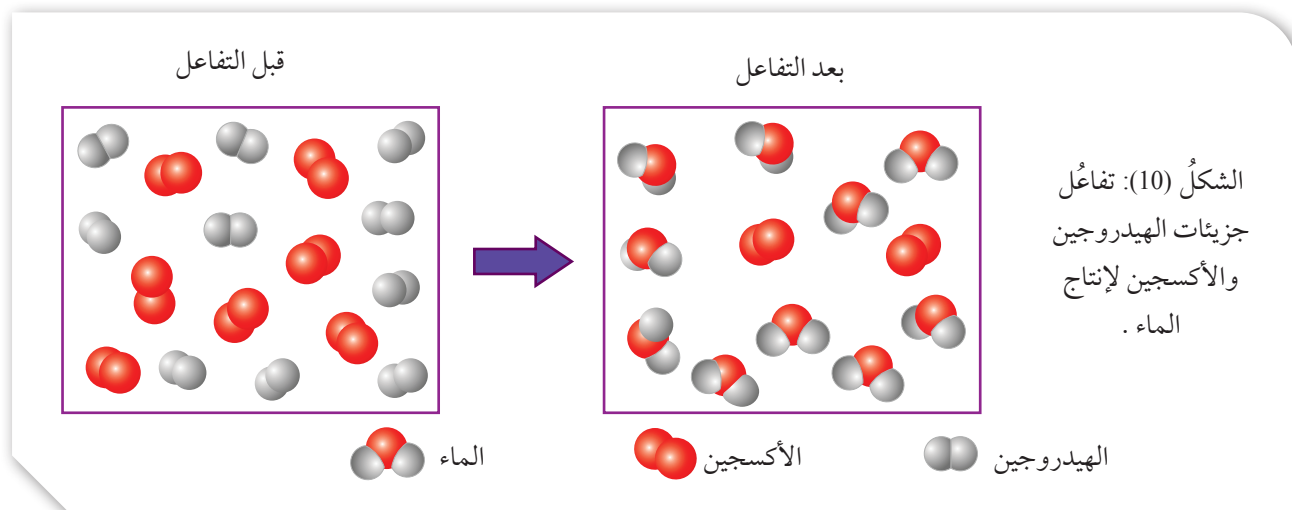
### نتائج التعلّم:

- أستنتج من التفاعل الكيميائي المادة المُحدّدة للتفاعل والفائضة عنه، وأحسب كتلة كل منهما.  
- أحسب كتلة مادة ناتجة بمعرفة المادة المُحدّدة للتفاعل.

### المفاهيم والمصطلحات:

المادة المُحدّدة Limiting Reactant  
المادة الفائضة Excess Reactant  
اقتصاد الذرة Atom Economy





يُتَوَقَّعُ أن تُستهلك إحدى المادتين قبل الأخرى وتكون هي المُحدِّدة للتفاعل. لتعرّف ذلك؛ أنظر الشكل (10) الذي يوضّح التفاعل؛ بناءً على أن كل جزيء يُمثّل مولاً من المادة.

يتّضح من الشكل أن 10 mol هيدروجين تفاعلت كلياً مع 5 mol من الأكسجين، ونتج عن ذلك 10 mol ماء، وبذلك تستهلك كمية الهيدروجين جميعها أثناء التفاعل، وبعد ذلك يتوقف التفاعل. وبهذا يكون الهيدروجين هو المادة المُحدِّدة للتفاعل، وفي المقابل يتبقى 2 mol من الأكسجين دون أن تتفاعل بسبب استهلاك كمية الهيدروجين كُلِّها، ويكون الأكسجين هو المادة الفائضة في التفاعل.

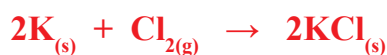
### الحسابات المبنية على المادة المُحدِّدة

#### Calculations Depending on Limiting Reactant

تحدّد كمية المادة الناتجة بمعرفة المادة المُحدِّدة للتفاعل التي تُستهلك تماماً، فعند تفاعل كميات معلومة من موادّ مختلفة؛ فإنه لا بدّ من معرفة المادة المُحدِّدة للتفاعل، ويجري ذلك عن طريق حساب عدد المولات الفعلية للمواد المتفاعلة ومقارنتها بنسبتها المولية من المعادلة الموزونة.

وبمعرفة كتلة المادة المُحدِّدة للتفاعل؛ فإنه يُمكن حساب كتل المواد الفعلية المتفاعلة والناتجة. والأمثلة الآتية توضح ذلك:

أضيف 8 mol من البوتاسيوم K، إلى 5 mol من غاز الكلور Cl<sub>2</sub>، للتفاعل وفق المعادلة الموزونة الآتية:



أ. أستنتج المادة المُحددة للتفاعل.

ب. أحسب عدد مولات المادة الناتجة.

تحليل السؤال (المعطيات)

عدد مولات البوتاسيوم K = 8 mol

عدد مولات الكلور Cl<sub>2</sub> = 5 mol

المطلوب: أستنتج المادة المُحددة للتفاعل.

**الحل:**

أ. أُحدّد النسبة الموليّة بين K و Cl<sub>2</sub> من المعادلة الموزونة:

$$\frac{(2 \text{ mol K})}{(1 \text{ mol Cl}_2)}$$

أحسب عدد مولات (n) البوتاسيوم K، اللازمة للتفاعل؛ اعتماداً على مُعطيات السؤال كما يأتي:

عدد المولات المطلوبة للتفاعل = النسبة المولية × عدد المولات المتوفرة.

Moles needs = mol ratio × moles available

$$\begin{aligned} n \text{ K} &= \frac{2 \text{ mol K}}{1 \text{ mol Cl}_2} \times 5 \text{ mol Cl}_2 \\ &= 10 \text{ mol} \end{aligned}$$

وبهذا فإن عدد مولات البوتاسيوم K المطلوبة للتفاعل 10 mol، وعدد المولات المتوفرة 8 mol، وهي أقل مما يلزم للتفاعل، فإن البوتاسيوم K، هو المادة المُحددة للتفاعل. والكلور Cl<sub>2</sub>، المادة الفائضة.

ب. أحسب عدد مولات المادة الناتجة بالاعتماد على المادة المُحددة للتفاعل كما يأتي:

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

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

يحترق غاز الإيثين بوجود الأكسجين احتراقاً تاماً؛ وفق المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:



فإذا أُضيف 18.7 g من غاز الإيثين  $\text{C}_2\text{H}_4$  إلى 7.4 g من غاز الأكسجين  $\text{O}_2$

أستنتج المادة المُحددة للتفاعل، علماً أن الكتلة المولية بوحدة g/mol هي: ( $\text{C}_2\text{H}_4 = 28$ ,  $\text{O}_2 = 32$ )

تحليل السؤال (المعطيات)

$$18.7 \text{ g} = \text{كتلة الإيثين } \text{C}_2\text{H}_4$$

$$7.4 \text{ g} = \text{كتلة الأكسجين } \text{O}_2$$

$$\text{الكتلة المولية بوحدة g/mol } (\text{C}_2\text{H}_4 = 28, \text{O}_2 = 32)$$

المطلوب: أستنتج المادة المُحددة للتفاعل.

**الحل:**

أحسب عدد مولات كل مادة مُتفاعلة بضرب كتلتها في معامل تحويلٍ يساوي معكوس كتلتها المولية كما يأتي:

$$18.7 \text{ g C}_2\text{H}_4 \times \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4}{28 \text{ g C}_2\text{H}_4} = 0.67 \text{ mol C}_2\text{H}_4$$

$$7.4 \text{ g O}_2 \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \text{ g O}_2} = 0.23 \text{ mol O}_2$$

أحدّد النسبة المولية للمواد المُتفاعلة من المعادلة الموزونة وهي النسبة المطلوبة للتفاعل:

$$\frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4}{3 \text{ mol O}_2}$$

أحسب عدد مولات الأكسجين اللازمة للتفاعل:

$$n \text{ O}_2 = \frac{3 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4} \times 0.67 \text{ mol C}_2\text{H}_4 = 2.01 \text{ mol O}_2$$

عدد مولات الأكسجين المطلوبة للتفاعل 2.01 mol، وعدد المولات المتوافرة 0.23 mol، وهي أقل مما يلزم للتفاعل، لذلك؛ الأكسجين  $\text{O}_2$  هو المادة المُحددة للتفاعل، والإيثين  $\text{C}_2\text{H}_4$  هو المادة الفائضة.

أضيف 50 g من الفسفور الأبيض  $P_4$  إلى 100 g من غاز الأكسجين  $O_2$  لإنتاج الأكسيد  $P_4O_{10}$ ، وفق المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:



إذا علمت أن الكتل المولية بوحدة g/mol هي ( $P_4 = 124$  ,  $O_2 = 32$  ,  $P_4O_{10} = 284$ )

أ. أحسب كتلة المادة الناتجة.

ب. أحسب كتلة المادة الفائضة.

ج. أحسب: المردود المئوي للتفاعل علمًا أن المردود الفعلي له 84.6 g

تحليل السؤال (المعطيات)

كتلة الفسفور الأبيض  $P_4 = 50$  g

كتلة الأكسجين  $O_2 = 100$  g

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

المطلوب: أحسب كتلة المادة الناتجة، وأحسب كتلة المادة الفائضة، والمردود المئوي للتفاعل.

**الحل:**

أ. حساب كتلة المادة الناتجة

لحساب كتلة المادة الناتجة؛ يجب أولاً تحديد المادة المحددة للتفاعل.

أحسب عدد مولات كل مادة متفاعلة:

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

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

أحدّد النسبة المولية للمواد المتفاعلة من المعادلة الموزونة:

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

أحسب عدد مولات الأكسجين اللازمة للتفاعل:

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

$$= 2 \text{ mol } O_2$$



عدد مولات الأوكسجين المطلوبة للتفاعل 2 mol، وعدد المولات المتوافرة 3.13 mol، وهي أكبر مما يلزم للتفاعل، لذلك؛ الأوكسجين هو المادة الفائضة. والفسفور الأبيض  $P_4$ ، هو المادة المحددة للتفاعل. أحسب عدد مولات المادة الناتجة  $P_4O_{10}$ ؛ بمعرفة عدد مولات المادة المحددة للتفاعل  $P_4$ .

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

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

أحسب كتلة  $P_4O_{10}$ ، بدلالة عدد مولاته وكتلته المولية:

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

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

ب. حساب كتلة المادة الفائضة

أحسب الكتلة التي تفاعلت من  $O_2$ :

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

أحسب كتلة  $O_2$ ، الفائضة عن التفاعل بإيجاد الفرق بين الكتلة المتوافرة والكتلة المتفاعلة:

$$100 \text{ g} - 64 \text{ g} = 36 \text{ g } O_2$$

ج. حساب المردود المئوي للتفاعل

أحسب المردود المئوي (Y%) للأكسيد  $P_4O_{10}$ ؛ وذلك بقسمة المردود الفعلي (Ay) على المردود النظري (Py) مضروباً في 100.

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

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

أستنتج المادة المُحدّدة للتفاعل عند إضافة 50 g من النيكل Ni إلى 500 mL من محلول حمض HCl تركيزه 0.01M، علماً أن الكتلة المولية Mr = 58.7 g/mol، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



تحليل السؤال (المعطيات)

$$0.5 \text{ L} = \text{حجم الحمض HCl}$$

$$0.01 \text{ M} = \text{تركيز محلول الحمض}$$

$$50 \text{ g} = \text{كتلة النيكل Ni}$$

$$\text{الكتلة المولية بوحدة g/mol: (Ni = 58.7)}$$

المطلوب: أستنتج المادة المُحدّدة.

الحل:

أحسب عدد مولات الحمض:

$$\text{عدد المولات} = \text{التركيز} \times \text{الحجم}$$

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

أحسب عدد مولات النيكل:

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

أحدّد النسبة المولية للمواد المتفاعلة من المعادلة الموزونة:

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

أحسب عدد مولات الحمض اللازمة للتفاعل:

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

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

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

أحسب كتلة كلوريد الفضة AgCl الناتجة عند إضافة 100 mL من محلول نترات الفضة AgNO<sub>3</sub>، تركيزه 0.1 M إلى 100 mL من محلول كلوريد الصوديوم NaCl، تركيزه 0.05 M؛ لإنتاج راسب كلوريد الفضة AgCl ومحلول NaNO<sub>3</sub> وفق المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:



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

تحليل السؤال (المعطيات)

$$0.1 \text{ M} = \text{تركيزه} \quad 0.1 \text{ L} = \text{حجم محلول نترات الفضة AgNO}_3$$

$$0.05 \text{ M} = \text{تركيزه} \quad 0.1 \text{ L} = \text{حجم محلول كلوريد الصوديوم NaCl}$$

$$\text{الكتلة المولية بوحدة g/mol (AgCl = 143.5)}$$

المطلوب: أحسب كتلة AgCl الناتجة.

الحل:

أحسب عدد مولات كل مادة متفاعلة:

$$\frac{0.1 \text{ mol AgNO}_3}{1 \text{ L AgNO}_3} \times 0.1 \text{ L AgNO}_3 = 0.01 \text{ mol AgNO}_3$$

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

أحدد النسبة المولية للمواد المتفاعلة من المعادلة الموزونة:

$$\frac{1 \text{ mol AgNO}_3}{1 \text{ mol NaCl}}$$

عدد مولات نترات الفضة اللازمة للتفاعل أو كلوريد الصوديوم:

$$n \text{ AgNO}_3 = n \text{ NaCl} = 0.01 \text{ mol AgNO}_3$$

عدد مولات كلوريد الصوديوم NaCl، المطلوبة للتفاعل 0.01 mol، وعدد المولات المتوافرة 0.005 mol، لذلك NaCl هو المادة المحددة للتفاعل، ونترات الفضة AgNO<sub>3</sub>، هي المادة الفائضة.

أحسب عدد مولات المادة الناتجة AgCl بمعرفة عدد مولات المادة المحددة للتفاعل

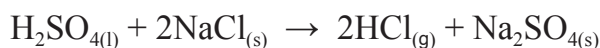
$$n \text{ AgCl} = n \text{ NaCl} = 0.005 \text{ mol AgCl}$$

أحسب كتلة AgCl بدلالة عدد مولاته وكتلته المولية:

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

## اقتصاد الذرة Atom Economy

يُستخدم اقتصاد الذرة Atom Economy بوصفه مقياسًا لكفاءة التفاعل الكيميائي؛ حيث يشير إلى استخدام الذرات المتفاعلة جميعها بشكل فاعل لتكوين النواتج المرغوبة، وتقليل كمية النواتج غير المرغوبة، فمثلاً؛ للحصول على كمية اقتصادية من مادة ما في أحد المصانع، يلجأ المختصون لاختيار التفاعل الكيميائي الذي يؤدي إلى تكوين الناتج المُستهدف دون نواتج ثانوية ما أمكن، وإجراء الحسابات الكيميائية، وتحديد العوامل المؤثرة في التفاعل الكيميائي التي تهدف إلى الحصول على كمية أكبر منه في وقت أقل، ومثال ذلك؛ تحضير غاز كلوريد الهيدروجين HCl، من تفاعل حمض الكبريتيك المُركَّز مع كلوريد الصوديوم حسب المعادلة الآتية:

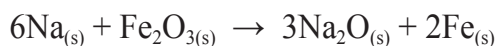


يكون اقتصاد الذرة لهذا التفاعل حوالي 34%؛ وذلك لوجود ناتج ثانوي غير مرغوب فيه هو كبريتات الصوديوم  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . وهناك طريقة أخرى لتحضير غاز HCl؛ وهي تفاعل غاز الهيدروجين مع غاز الكلور، ولهذه الطريقة اقتصاد ذرة حوالي 100%؛ حيث تتفاعل ذرات الهيدروجين والكلور جميعها معاً لتكوين غاز HCl، وبذلك لا تنتج مواد ثانوية غير مرغوبة. حسب المعادلة الآتية:



✓ **أتحقق:**

1- أضيف 40 g من الصوديوم Na، إلى 40 g أكسيد الحديد (III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ؛ لإنتاج الحديد Fe وأكسيد الصوديوم  $\text{Na}_2\text{O}$ ، وفق المعادلة الموزونة الآتية:



علماً أن الكتلة المولية  $\text{g/mol}$   $\text{Na} = 23$  ,  $\text{Fe} = 56$  Mr :

أ . أستنتج المادة المُحددة للتفاعل .

ب . أحسب كتلة الحديد Fe الناتجة .

2- ما المقصود باقتصاد الذرة؟



أعد فيلماً قصيراً باستخدام

برنامج صانع الأفلام (Movie Maker)،  
يوضح سلسلة إجراء الحسابات  
الكيميائية في تحديد المادة المُحددة  
للتفاعل، وحساب كتلة المادة  
الفائضة عنه، وكتلة المادة الناتجة  
استناداً إلى المادة المُحددة، ثم  
أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

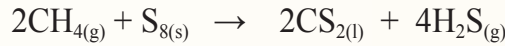


## مراجعةُ الدرس

1 - الفكرةُ الرئيسة: **أستنتج** أهمية المادة المُحدّدة للتفاعل في التفاعلِ الكيميائي.

2 - أوضّح المقصود بالمادة المُحدّدة للتفاعل، المادة الفائضة عن التفاعل.

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



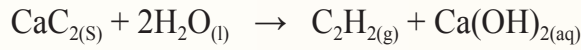
أ . **أستنتج** المادة المُحدّدة للتفاعل.

ب . **أحسب** كتلة المادة الفائضة المتبقية بعد انتهاء التفاعل.

جـ . **أحسب** كتلة  $CS_2$  الناتجة.

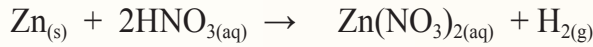
د . **أحسب** المردود المئوي للمركّب  $CS_2$ ، علماً أنه تمّ الحصول فعلياً على 12g منه.

4 - **أستنتج** المادة المُحدّدة في التفاعلِ الآتي:



علماً أنه تفاعل 6 mol من الماء مع 6 mol من كربيد الكالسيوم  $CaC_2$ .

5 - **أستنتج** المادة المُحدّدة للتفاعل عند إضافة 40 g من الخارصين Zn إلى 150 mL من محلول حمض النيتريك  $HNO_3$ ؛ تركيزه 0.2 M وفق المعادلة الآتية:



6 - أضيف 250 mL من محلول حمض HI؛ تركيزه 0.04 M إلى 250 mL من محلول KOH؛ تركيزه 0.02 M.

أ . أكتب معادلة التفاعل الموزونة.

ب . **أستنتج** المادة المُحدّدة للتفاعل.

الكيمياء الخضراء فرعٌ من فروع علم الكيمياء، وترتكز على مجموعة من المبادئ تهدف في مجملها إلى تصميم التفاعلات الكيميائية التي تستخدم كمية اقتصادية من المواد الخام لإنتاج أكبر كمية من المادة النقية المرغوبة، والحد من استنزاف الموارد الطبيعية، وكذلك التخلص من النفايات والمواد السامة الضارة في البيئة. وبهذا تجري المحاولات المستمرة إلى الحد من استخدام المواد الخام من المصادر غير المتجددة واستخدامها من المصادر المتجددة لئلا تُستنزف.

ويتضمن ذلك -أيضاً- تقليل استخدام الطاقة غير المتجددة، وإنتاج المواد الكيميائية التي تتحلل بعد استخدامها لمنع تراكمها في البيئة.

وضع العالمان أناستس ووارنر Anastas & Warner، اثني عشر مبدأً للكيمياء الخضراء في مجال التصنيع الكيميائي، وذلك بما يُحقق التنمية المستدامة دون إضرار بالبيئة. ويبين الشكل الآتي عددًا من مبادئ الكيمياء الخضراء.



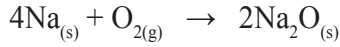
**أبحاث** أرجع إلى المواقع الإلكترونية عبر شبكة الإنترنت وأكتب تقريرًا عن الكيمياء الخضراء Green Chemistry؛ موضحًا المبادئ التي قامت عليها، وأهميتها في مجالات الحياة، وأناقشه مع زملائي/ زميلاتي في الصف.

## مراجعة الوحدة

1 . أوضح المقصود بالمفاهيم الآتية:

- تفاعل الإحلال المزدوج.
- تفاعل التعادل.
- المعادلة الأيونية.

2 . يتفاعل 200 g من Na مع 200 g من الأوكسجين وفق المعادلة الموزونة الآتية:



- أ - أحدد النسبة المولية للصدويوم Na.
- ب - أستنتج المادة المحدد للتفاعل.
- ج - أحسب كتلة Na<sub>2</sub>O الناتجة.
- د - أحسب كتلة المادة الفائضة.

3 . يتفاعل محلول كلوريد النحاس CuCl<sub>2</sub> II مع محلول فوسفات البوتاسيوم K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>، فينتج محلول كلوريد البوتاسيوم KCl، وراسب صلب من فوسفات النحاس Cu<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. أجب عن الأسئلة الآتية:

- أ - أكتب المعادلة الكيميائية الموزونة.
- ب - أكتب المعادلة الأيونية.
- ج - أستنتج المعادلة الأيونية النهائية.

4 . في المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:



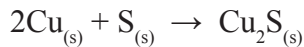
أحسب عدد مولات NO الناتجة من تفاعل 25 mol O<sub>2</sub> مع 6 mol NH<sub>3</sub>.

5 . أضيف 0.4 g ثاني أكسيد المنغنيز MnO<sub>2</sub> إلى 50 mL من محلول حمض الهيدروبروميك HBr تركيزه 0.02 M؛ لإنتاج البروم، وبروميد المنغنيز، والماء؛ وفق معادلة التفاعل الموزونة الآتية:



- أ - أستنتج المادة المحددة للتفاعل.
- ب - أحسب كتلة المادة الفائضة.

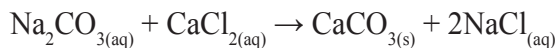
6 . يتفاعل 80 g من النحاس مع 25 g كبريت لإنتاج كبريتيد النحاس (I) وفق المعادلة الموزونة:



- أ - أستنتج المادة المحددة للتفاعل.
- ب - أحسب كتلة كبريتيد النحاس Cu<sub>2</sub>S المتكونة.

ج - أحسب المردود المئوي للتفاعل إذا كان الناتج الفعلي عن التفاعل 14.8 g.

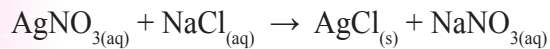
7 . أحسب كتلة كربونات الكالسيوم CaCO<sub>3</sub> الناتجة عند إضافة 25 g من كربونات الصوديوم Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> إلى 20 g كلوريد الكالسيوم CaCl<sub>2</sub> وفق المعادلة الآتية:



## مراجعة الوحدة

8 . أختار رمز الإجابة الصحيحة في الفقرات الآتية:

( 1 الأيونات المتفرجة في المعادلة الكيميائية الآتية هي :



أ (  $\text{Ag}^+$  ,  $\text{Cl}^-$  )

ب (  $\text{NO}_3^-$  ,  $\text{Cl}^-$  )

د (  $\text{Ag}^+$  ,  $\text{Na}^+$  )

ج (  $\text{Na}^+$  ,  $\text{NO}_3^-$  )

( 2 الأيونات المتفاعلة في المعادلة الأيونية الآتية هي :



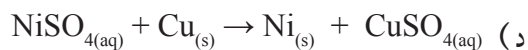
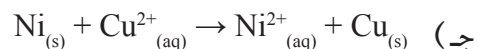
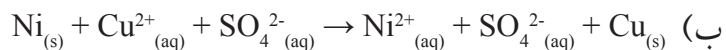
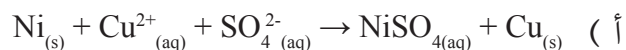
ب (  $\text{Li}^+$  ,  $\text{Cl}^-$  )

أ (  $\text{OH}^-$  ,  $\text{Cl}^-$  )

د (  $\text{H}^+$  ,  $\text{Cl}^-$  )

ج (  $\text{H}^+$  ,  $\text{OH}^-$  )

( 3 المعادلة الأيونية النهائية الصحيحة في ما يأتي هي :



( 4 العبارة (تفاعل مادتين أو أكثر لإنتاج مادة واحدة) تشير إلى مفهوم تفاعل :

ب ( الترسيب )

أ ( التحلل )

د ( الإحلال المزدوج )

ج ( الاتحاد )

( 5 عند خلط 3.8 mol A مع 4.5 mol B وفق المعادلة الافتراضية الموزونة الآتية :



فإن المادة المحددة للتفاعل هي :

ب ( B )

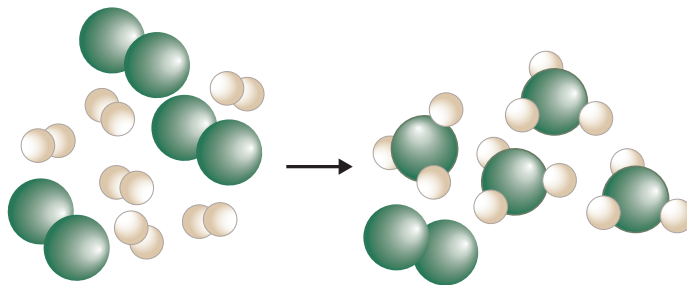
أ ( A )

د ( AB )

ج ( D )



9. أستنتج من الشكل الآتي كلاً من المادة المُحدّدة والمادة الفائضة في تفاعل ما، حيث تشير الكرات الخضراء إلى جزيء  $X_2$  والكرات البيضاء إلى جزيء  $Y_2$ .



10. أضيف 25 mL من حمض HCl، تركيزه 0.1 M إلى 10 mL من NaOH، تركيزه 0.5 M:

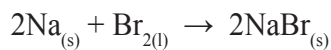
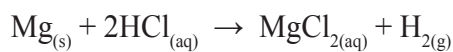
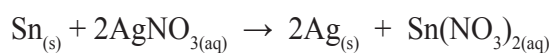
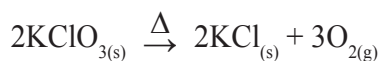
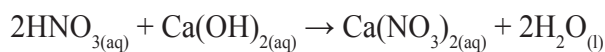
أ - أكتب معادلة التفاعل الموزونة.

ب - أكتب المعادلة الأيونية النهائية.

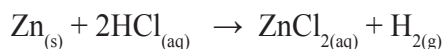
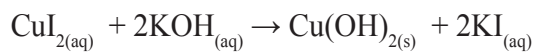
ج - أستنتج المادة المُحدّدة للتفاعل.

د - أستنتج المواد الموجودة في وعاء التفاعل بعد اكتمال التفاعل.

11. أصنّف التفاعلات الآتية إلى أنواعها الرئيسة (الاتحاد، الإحلال الأحادي، الإحلال المزدوج، التحلل):



12. أكتب المعادلة الأيونية النهائية لكل من المعادلتين الآتيتين:



# الأتزان الكيميائي

## Chemical Equilibrium

# الوحدة

# 5



## أتأملُ الصورة

تحدثُ الكثير من التفاعلات الكيميائية باتجاهين متعاكسين؛ إذ تتحول المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة في الاتجاه الأمامي؛ أما في الاتجاه العكسي فتتفاعل المواد الناتجة في ما بينها لتكوين المواد المتفاعلة، ويستمرُّ التفاعلُ بالاتجاهين حتى الوصول إلى حالة الأتزان. فما المقصود بحالة الأتزان؟ وكيف يمكن حساب تراكيز المواد الناتجة أو المواد المتفاعلة عند الأتزان؟



## الفكرة العامة:

يستمرُّ حدوث التفاعلات الكيميائية المنعكسة عند وصولها إلى حالة الاتزان بالاتجاهين بالسرعة نفسها، ويمكنُ التأثيرُ في موضع الاتزان بتغيير ظروف التفاعل؛ وذلك لإنتاج كميات أكبر من مادة معيَّنة أو التقليل منها، ويجري حسابُ هذه الكميات باستخدام ثابت الاتزان.

### الدرسُ الأول: الاتزان الكيميائي والعوامل المؤثرة فيه.

**الفكرةُ الرئيسة:** يوصفُ الاتزان في التفاعلات المنعكسة بالديناميكي، ويمكن التأثير فيه بتغيير ظروف التفاعل من تركيز أو ضغط أو درجة حرارة.

### الدرسُ الثاني: تعبيرات ثابت الاتزان والحسابات المتعلقة به.

**الفكرةُ الرئيسة:** يُعبّرُ ثابت الاتزان عن نسب تراكيز المواد المتفاعلة والنتيجة في التفاعل عند وصوله إلى حالة الاتزان، ويستفادُ منه في حساب كميات المواد المختلفة عند الاتزان وتقدير المردود الاقتصادي للتفاعل.



## تجربة استخلاص اليود

### تسامي اليود



**5** **ألاحظُ:** أنتظرُ 10 min، وألاحظُ التغيُّر الذي يطرأ على لون بخار اليود في الدورق، أسجِّل ملاحظاتي.

### التحليل والاستنتاج:

- 1- أوضِّح التغيُّرات التي تطرأ على بلورات اليود الصلب، وأسَمِّي هذه العملية.
- 2- أحدِّد لون بخار اليود المتصاعد.
- 3- أوضِّح التغيرات التي طرأت على بخار اليود بمرور الوقت، وأسَمِّي هذه العملية.
- 4- **أفسِّر** ثبات لون بخار اليود في الكأس الزجاجية.
- 5- **أستنتج** العلاقة بين ما يحدث لبلورات اليود، وما يحدث لبخاره عند ثبات اللون في الكأس الزجاجية.

**المواد والأدوات:** بلورات من اليود الصلب، كأس زجاجية سعة 200 mL، حوض زجاجي، زجاجة ساعة، ملعقة، ميزان حساس، ماء ساخن، قطع من الجليد.

### إرشادات السلامة:

أطبِّق إرشادات السلامة العامة في المختبر. أردي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات. أجري التجربة في خزانة الأبخرة، وتجنَّب استنشاق أبخرة اليود.

### خطوات العمل:

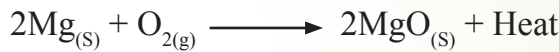
- 1 **أقيسُ** 10 g من اليود الصلب باستخدام الميزان الحساس وأضعها في الكأس الزجاجية.
- 2 أملأ الحوض الزجاجي بمقدار ثلثه ماءً ساخناً (حمام مائي ساخن).
- 3 أضع قطعاً من الجليد في زجاجة الساعة وأضعها على فوهة الكأس الزجاجية.
- 4 **ألاحظُ:** أضع الكأس المحتوية على اليود في الحمام المائي الساخن، وألاحظُ التغيُّر الذي يطرأ على بلورات اليود بمرور الوقت، أسجِّل ملاحظاتي.



## مفهوم الاتزان الكيميائي

### Chemical Equilibrium Concept

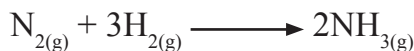
تحدث كثير من التفاعلات وتنتهي باستهلاك إحدى المواد المتفاعلة أو جميعها كلياً، فمثلاً؛ يحترق شريط من المغنيسيوم Mg في جو من الأكسجين O<sub>2</sub> وينتج أكسيد المغنيسيوم MgO وكمية كبيرة من الحرارة، وينتهي التفاعل باحترق شريط المغنيسيوم كلياً، ولا يمكن إعادة تكوين أي من المواد المتفاعلة مرة أخرى في أثناء التفاعل؛ ما يعني أن التفاعل يسير باتجاه واحد نحو تكوين المواد الناتجة، ويُعبّر عن التفاعل بمعادلة كيميائية على النحو الآتي:



يتضح من المعادلة أن السهم يشير إلى اتجاه سير التفاعل، ويُطلق على هذا النوع من التفاعلات اسم **التفاعلات غير المنعكسة**

### Irreversible Reactions

تجري كثير من التفاعلات الكيميائية في أوعية مغلقة لا تسمح بفقدان أي كمية من المواد المتفاعلة أو الناتجة من وعاء التفاعل، ما يتيح حدوث تفاعل بين المواد الناتجة، ويجعل التفاعل يحدث باتجاهين متعاكسين، فعند بداية التفاعل تتفاعل المواد المتفاعلة في ما بينها وتتكون المواد الناتجة، ويُطلق على هذا التفاعل اسم **التفاعل الأمامي Forward Reaction**، وبمجرد أن تتكون المواد الناتجة فإنها تبدأ بالتفاعل معاً وتعيد تكوين المواد المتفاعلة مرة أخرى، ويسمى **التفاعل العكسي Reverse Reaction**، فمثلاً؛ يُحضّر غاز الأمونيا NH<sub>3</sub> بطريقة هابر، بتفاعل غاز النيتروجين N<sub>2</sub> مع غاز الهيدروجين H<sub>2</sub> في وعاء مغلق عند ظروف مناسبة من الضغط ودرجة الحرارة، ويؤدي ذلك إلى تكوين غاز الأمونيا NH<sub>3</sub>، في ما يُعرف بالتفاعل الأمامي، كما يظهر في المعادلة الآتية:



### الفكرة الرئيسة:

يوصف الاتزان في التفاعلات المنعكسة بالديناميكي، ويمكن التأثير فيه بتغيير ظروف التفاعل من تركيز أو ضغط أو درجة حرارة.

### نتائج التعلم:

- أتوصل إلى مفهوم الاتزان الديناميكي.  
- أوضح أثر العوامل المختلفة المؤثرة في حالة الاتزان.

### المفاهيم والمصطلحات:

التفاعلات غير المنعكسة

Irreversible Reactions

التفاعل الأمامي Forward Reaction

التفاعل العكسي Reverse Reaction

التفاعلات المنعكسة

Reversible Reactions

سرعة التفاعل الأمامي

Forward reaction Rate

سرعة التفاعل العكسي

Reverse Reaction Rate

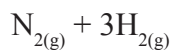
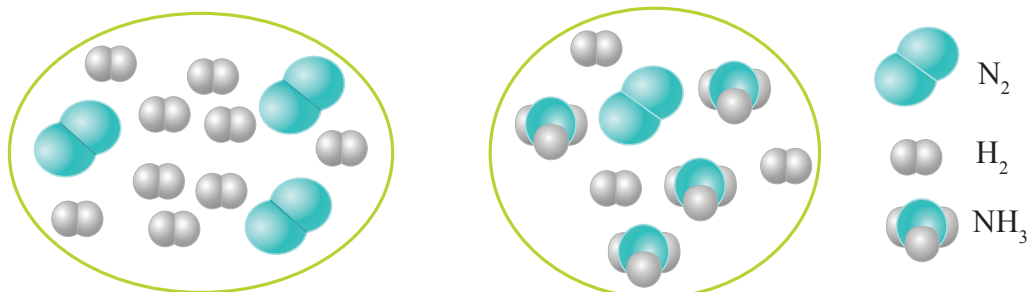
الاتزان الديناميكي

Dynamic Equilibrium

موضع الاتزان Equilibrium Position

مبدأ لو شاتيليه Le Chateliers Principle

الشكل (1):  
تكوين الأمونيا



بداية التفاعل



عند الاتزان

وعندما يتكوّن غازُ الأمونيا  $\text{NH}_3$  في وعاء التفاعل؛ فإنه يبدأ بالتفكك ويتكون كلٌّ من غاز النيتروجين  $\text{N}_2$  وغاز الهيدروجين  $\text{H}_2$  في ما يعرف بالتفاعل العكسي، كما يظهرُ في المعادلة الآتية:



وبهذا نجد أن وعاء التفاعل يحتوي على كميات مختلفة من المواد المتفاعلة والنتيجة في الوقت نفسه. أنظر الشكل (1)، ويُسمّى هذا النوع من التفاعلات **التفاعلات المنعكسة Reversible Reaction**، وتعني أن التفاعل يحدث بالاتجاهين؛ الأمامي ويشار إليه في المعادلة بسهمٍ باتجاه اليمين، والعكسي ويشار إليه في المعادلة بسهمٍ باتجاه اليسار، ويُعبّر عنها بمعادلة كيميائية؛ حيث يُكتب فيها سهمان باتجاهين متعاكسين ( $\rightleftharpoons$ ) كما في تفاعل تحضير الأمونيا:

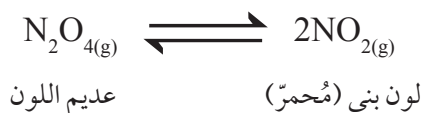


تشير التجارب الكيميائية إلى أن تراكيز المواد المتفاعلة تكون في البداية أكبر ما يُمكن؛ وبهذا تكون سرعة تفاعلها وتحولها إلى مواد ناتجة أعلى ما يمكن، وتسمى **سرعة التفاعل الأمامي Forward Reaction Rate**، وبمرور الوقت تتناقص تراكيز المواد المتفاعلة، وبذلك تتناقص سرعة التفاعل الأمامي، أما المواد الناتجة فتكون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

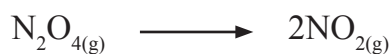
تبدأ بالتفاعل والتحوّل إلى مواد متفاعلة، وبهذا يبدأ حدوث التفاعل العكسيّ، وبمرور الوقت تزداد تراكيز المواد الناتجة، وبذلك تزداد سرعة تفاعلها وتحولها إلى مواد متفاعلة، وتُسمّى **سرعة التفاعل العكسي Reverse Reaction Rate**، وحين تصبح سرعة التفاعل الأمامي مُساويةً لسرعة التفاعل العكسيّ يصل التفاعل إلى حالة من الاتزان ويستمر حدوث التفاعل بالاتجاهين بالسرعة ذاتها، وتثبت تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة والخصائص المرتبطة بها، مثل الضغط، واللون، والحجم، ودرجة الحرارة، ويوصف التفاعل بأنه في حالة

### الاتزان الديناميكي Dynamic Equilibrium

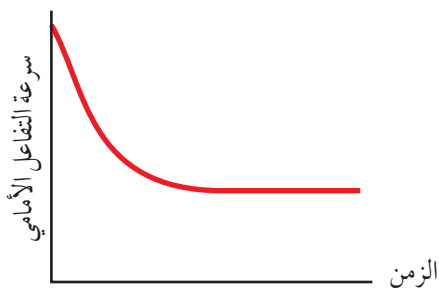
ولتعرّف مفهوم الاتزان الديناميكيّ؛ يُمكن دراسة تفكك غاز رباعيّ أكسيد ثنائي النيتروجين  $N_2O_4$  عديم اللون إلى غاز ثنائي أكسيد النيتروجين  $NO_2$  ذي اللون البنيّ المُحمّر الذي يحدث كما في المعادلة الآتية:



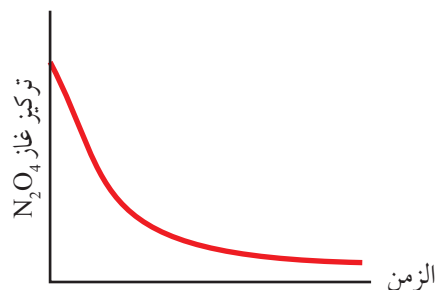
يبدأ التفاعل الأماميّ بتحوّل غاز رباعيّ أكسيد ثنائي النيتروجين  $N_2O_4$  إلى غاز ثنائي أكسيد النيتروجين  $NO_2$  بسرعة عالية نسبياً، ويُعبّر عن التفاعل بالمعادلة الآتية:



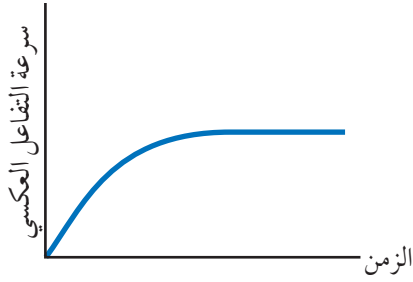
وبمرور الوقت، يتناقص تركيز غاز  $N_2O_4$  وبذلك تتناقص سرعة التفاعل الأماميّ، أنظر الشكل (2/أ، ب).



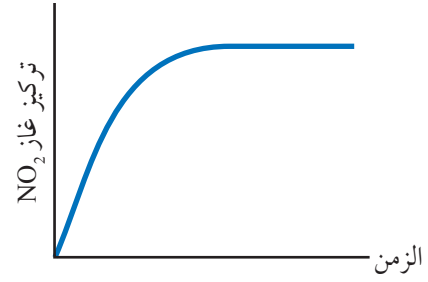
الشكل (2/ب): تناقص سرعة التفاعل الأمامي مع الزمن.



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

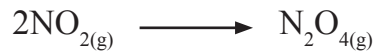


الشكل (3/ب): تزايد سرعة التفاعل العكسي مع الزمن.



الشكل (3/أ): تزايد تركيز NO2 مع الزمن.

أما غاز NO<sub>2</sub>؛ فيكون تركيزه عند بداية التفاعل صفرًا، وتكون سرعة التفاعل العكسي صفرًا أيضًا، وبسبب تفكك غاز N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> يبدأ تكون غاز NO<sub>2</sub> وظهور اللون البني في وعاء التفاعل، ويبدأ حدوث التفاعل العكسي وتحويل غاز NO<sub>2</sub> إلى الغاز N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> بسرعة بطيئة نسبيًا، ويُعبّر عن التفاعل كما في المعادلة الآتية:



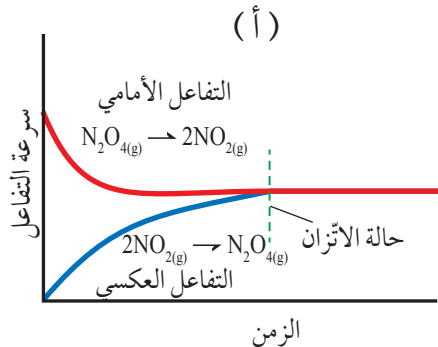
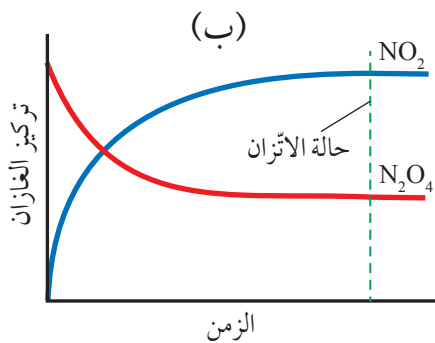
وبزيادة تركيز NO<sub>2</sub> في وعاء التفاعل، تزايد سرعة التفاعل العكسي تدريجيًا، وبعد فترة من الزمن تثبت سرعة التفاعل وتثبت تراكيز المواد الناتجة، ويُبين الشكل (3/أ، ب) تزايد تركيز NO<sub>2</sub> وتزايد سرعة التفاعل العكسي بمرور الزمن.

يتضح مما سبق أن تراكيز المواد المتفاعلة وسرعة التفاعل الأمامي يتناقصان بمرور الزمن، وفي الوقت نفسه تزايد تراكيز المواد الناتجة وتزايد سرعة التفاعل العكسي، إلى أن يصل التفاعل إلى حالة الاتزان حيث تصبح سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي، وعندها تثبت تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة، أنظر الشكل (4/أ، ب).

الشكل (4/أ، ب)

الاتزان الديناميكي لتفكك غاز N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

أقارن بين تراكيز الغازات في وعاء التفاعل عند حالة الاتزان.



الشكل (5): وصول التفاعل إلى حالة الاتزان.

لون غاز  $N_2O_4$  عديم اللون  
لون خليط متزن من الغازان بني باهت  
لون غاز  $NO_2$  بني محمّر

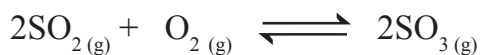
وبهذا فإنّ وعاء التفاعل يحتوي على خليط من الغازين بنسب ثابتة، ويصبح لون الخليط بُنيًا باهتًا، أنظر الشكل (5). ويمكن التعبير عن التفاعل المتزن السابق كما في المعادلة الآتية:



#### الربط بالحياة

اتزان نسبة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجويّ رغم استهلاك الأكسجين خلال عمليات الاحتراق، وتنفس الكائنات الحية، وإنتاج ثاني أكسيد الكربون؛ إلا أنّ هذا النقص في نسبة الأكسجين يجري تعويضه عن طريق عملية البناء الضوئي التي تحدث في النباتات، فهي تعمل على استهلاك ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين، ورغم أنّ العمليتين تحدثان بشكل منفصل وبآليتين مختلفتين؛ إلا أنّهما عمليتان متكاملتان تعملان معًا على المحافظة على حالة الاتزان في نسب هذه الغازات في الغلاف الجويّ.

✓ **أتحقّق:** يتفاعل غاز ثاني أكسيد الكبريت  $SO_2$  مع الأكسجين  $O_2$  في وعاء مغلق لتكوين غاز ثالث أكسيد الكبريت  $SO_3$  وفق المعادلة الآتية:



■ أصف التغيّرات التي تحدث لكلّ مما يأتي قبل وصول التفاعل إلى حالة الاتزان وعندها:

- تراكيز الغازات  $SO_2$ ,  $O_2$ ,  $SO_3$  في وعاء التفاعل.
- سرعتا التفاعلين الأمامي والعكسيّ.



## العوامل المؤثرة في الاتزان Factors Affecting Equilibrium

توصلنا في ما سبق إلى أن التفاعلات المنعكسة تصل إلى حالة الاتزان، ويحتوي عندها وعاء التفاعل على تراكيز ثابتة من المواد المتفاعلة والنتيجة. يمكن للتفاعل أن يكون المواد الناتجة بنسبة أكبر من المواد المتفاعلة، ويكون الاتزان مزاخاً جهة المواد الناتجة، أو يكون المواد المتفاعلة بنسبة أكبر من المواد الناتجة، ويكون الاتزان مزاخاً نحو المواد المتفاعلة، وهو ما يُسمى **موضع الاتزان Equilibrium Position**. يُمكن التحكم بموضع الاتزان بإزاحته نحو اليمين لزيادة كمية المواد الناتجة، أو إزاحته نحو اليسار لتقليل كمية المواد الناتجة وزيادة كمية المواد المتفاعلة، وذلك عن طريق التحكم بمجموعة من العوامل. فما هذه العوامل؟ وكيف تُؤثر في موضع الاتزان؟

### مبدأ لو تشاتلييه Le Chatelier's Principle

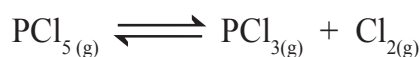
درس العالم الفرنسي هنري لو تشاتلييه التغيرات التي يمكن أن تُؤثر في حالة الاتزان للتفاعل، وتوصل إلى أنه يمكن التحكم بموضع الاتزان للتفاعل عبر التحكم بظروف التفاعل من: تركيز، أو ضغط، أو درجة حرارة، وقد عُرف ذلك **بمبدأ لو تشاتلييه Le Chatelier's Principle** الذي ينص أنه "إذا حدث تغيير في أحد العوامل المؤثرة في الاتزان لتفاعل كيميائي مُتزن، مثل التركيز، أو الضغط، أو درجة الحرارة؛ فإن التفاعل يعمل على تعديل موضع الاتزان للتقليل من أثر ذلك التغيير". يشير مبدأ لو تشاتلييه إلى أنه يمكن زيادة كميات المواد الناتجة من التفاعل بالتحكم في العوامل المؤثرة في الاتزان، وتحسين المردود الاقتصادي للصناعات الكيميائية، مثل صناعة الأمونيا  $NH_3$  بطريقة هابر، وصناعة حمض الكبريتيك وغيرها، فكيف يتم التحكم بالعوامل المؤثرة في الاتزان؟ وما أثر تغيير موضع الاتزان على كميات المواد الناتجة والمتفاعلة؟

✓ **أنحقق:** أحدد العوامل التي درس لو تشاتلييه تأثيرها على موضع الاتزان.

## التركيز Concentration

يتأثر موضع الاتزان بتغيير كميات المواد أو تراكيزها في وعاء التفاعل عند درجة الحرارة نفسها؛ إذ يؤدي تغيير تركيز مادة مُتفاعلة أو ناتجة إلى اضطراب في حالة الاتزان، ما يدفع التفاعل إلى تعديل وضعه للوصول إلى حالة الاتزان من جديد، ويحصل ذلك بتغيير موضع الاتزان بإزاحته جهة اليمين (نحو تكوين المواد الناتجة)، أو جهة اليسار (نحو تكوين المواد المُتفاعلة)؛ للتقليل من أثر ذلك التغيير، ثم يعود التفاعل إلى حالة الاتزان من جديد.

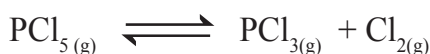
فمثلاً؛ يتفكك خماسي كلوريد الفسفور  $PCl_5$ ؛ في وعاء مغلق، وينتج غاز ثلاثي كلوريد الفسفور  $PCl_3$  وغاز الكلور  $Cl_2$ ، ويصل التفاعل إلى حالة الاتزان كما في المعادلة الآتية:



وعند إضافة كمية من غاز  $PCl_5$ ؛ فإن تركيزه يزداد في وعاء التفاعل ويختل الاتزان، ووفقاً لمبدأ لوتشاتلييه يعمل التفاعل على تعديل موضع الاتزان وإزاحته جهة اليمين التي تُقلل من أثر هذه الزيادة، وبالتالي سوف تزداد سرعة التفاعل الأمامي كما في المعادلة:



وبهذا تُستهلك كمية من الغاز المضاف، وتكون كميات جديدة من  $PCl_3$  و  $Cl_2$  وتزداد تراكيزها، وبمرور الوقت، ونتيجةً لذلك تبدأ سرعة التفاعل العكسي بالتزايد، وسرعة التفاعل الأمامي بالتناقص إلى أن تتساوى السرعتان فيعود التفاعل إلى حالة الاتزان من جديد، كما في المعادلة الآتية:



وتحدث التغيرات ذاتها إن جرت إزالة كمية من  $Cl_2$  أو  $PCl_3$  من وعاء التفاعل.

أما عند إضافة كمية من غاز  $Cl_2$  إلى وعاء التفاعل فيزداد تركيزه، ووفقاً لمبدأ لوتشاتلييه سوف تزداد سرعة التفاعل العكسي للتقليل من أثر هذه الزيادة، ويُزاح موضع الاتزان جهة اليسار كما في المعادلة:



ونتيجةً لذلك؛ تنتج كمية جديدة من غاز  $PCl_5$  ويزداد تركيزه، وبمرور الوقت؛ تبدأ سرعة التفاعل العكسي بالتناقص وسرعة التفاعل

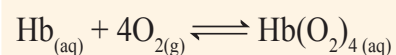
### الربط بالصحة



اتزان (هيموجلوبين - أكسجين)

#### في الجسم

يرتبط الأكسجين الذي يدخل إلى الجسم في أثناء عملية التنفس بجزيئات الهيموجلوبين Hb في الدم، وينتج الهيموجلوبين المؤكسج  $Hb(O_2)_4$ ، حيث يُشكل الهيموجلوبين والأكسجين نظاماً مُتزنًا كما في المعادلة:

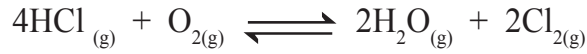


يصل الهيموجلوبين المؤكسج إلى أنسجة الجسم، حيث يكون تركيز الأكسجين منخفضاً، فيُزاح الاتزان نحو اليسار ويتحرر الأكسجين المرتبط بالهيموجلوبين، وتحدث العمليات الحيوية اللازمة لإنتاج الطاقة في الجسم والمحافظة على حيويته ونشاطه.

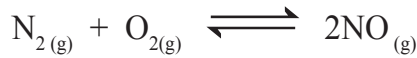
الأمامي بالتزايد، إلى أن تصبح السرعتان متساويتين، فيعودُ التفاعلُ إلى حالة الاتزان من جديد.

✓ **أتحقق:**

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



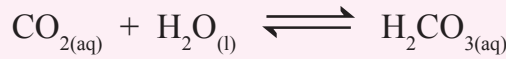
2- يحترقُ غاز النيتروجين  $\text{N}_2$ ، بوجود الأوكسجين  $\text{O}_2$ ، في وعاء مغلق؛ وينتجُ غاز أكسيد النيتروجين (II)  $\text{NO}$ ، ويصل التفاعل إلى حالة الاتزان وفق المعادلة الآتية:



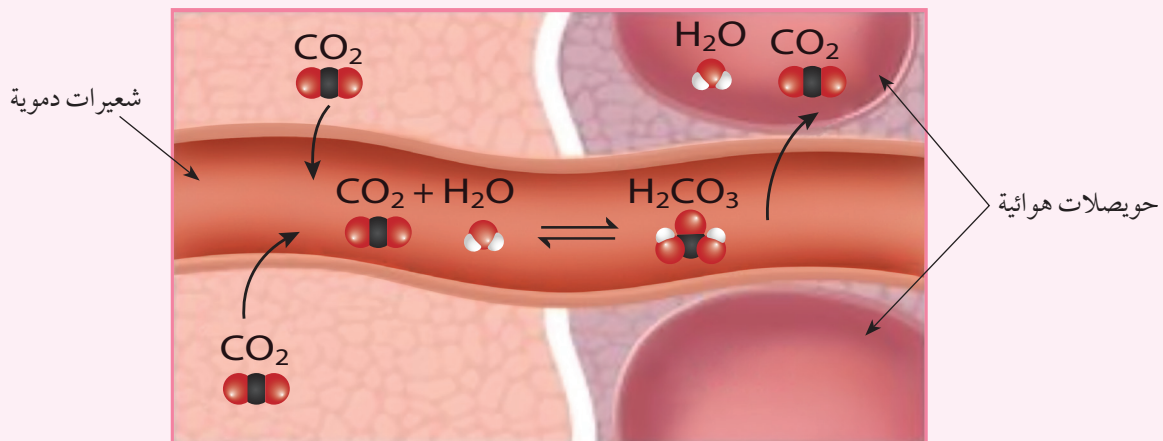
أوضِّح التغيُّرات التي تحدث لتركيز كلِّ من  $\text{N}_2$  و  $\text{NO}$  عند سحب كمية معينة من غاز الأوكسجين من وعاء التفاعل.

### الأنظمة المُتزنة في الجسم الربط بالعلوم الحياتية

يحتوي الدم على حمض الكربونيك  $\text{H}_2\text{CO}_3$  في حالة اتزان مع ثاني أكسيد الكربون والماء، كما في المعادلة:



عند زيادة النشاط يزدادُ حرق السكريات، وينتجُ عن ذلك كميات أكبر من ثاني أكسيد الكربون ويزداد تركيزه في الدم، وهذا يدفع الاتزان نحو تكوين حمض الكربونيك، ويزداد تركيزه في الدم، ويزداد انتشاره إلى الرئة حيث يتفكك فيها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء ليجري التخلص منها عن طريق التنفُّس (الزفير).

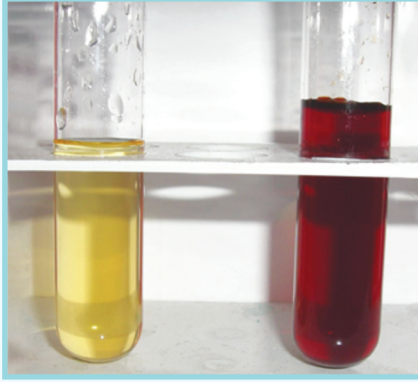


# التجربة 1

## أثر التركيز على موضع الاتزان

### المواد والأدوات:

محلول ثيوسينات الأمونيوم  $\text{NH}_4\text{SCN}$ ، محلول كلوريد الحديد (III)  $\text{FeCl}_3$ ، محلول كلوريد الأمونيوم  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ، أنابيب اختبار عدد (3)، ماصة عدد (3)، حامل أنابيب.



### إرشادات السلامة:

- اتَّبِعْ إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.

### خطوات العمل:

- 1- **أقيس:** 3 mL من محلول ثيوسينات الأمونيوم وأضعها في أنبوب اختبار.
- 2- **ألاحظ:** أضيف ثلاث قطرات من محلول كلوريد الحديد إلى الأنبوب السابق، ثم أرحُج المحلول وألاحظ لون المحلول الناتج، وأسجل ملاحظاتي.
- 3- **أجرب:** أنقل نصف كمية المحلول السابق إلى أنبوب اختبار آخر وأضع الأنبوبين على حامل الأنابيب.
- 4- **ألاحظ:** أضيف باستخدام الماصة بضع قطرات من محلول كلوريد الأمونيوم إلى أحد الأنبوبين وأرحُج المحلول، وألاحظ التغير الذي يطرأ على لون المحلول الناتج، وأسجل ملاحظاتي.
- 5- **ألاحظ:** أضيف باستخدام الماصة قطرتين من محلول كلوريد الحديد إلى الأنبوب الآخر وأرحُج المحلول، وألاحظ التغير الذي يطرأ على لون المحلول الناتج، وأسجل ملاحظاتي.

### التحليل والاستنتاج:

- 1- أحدد لون المحلول الناتج من إضافة محلول كلوريد الحديد إلى محلول ثيوسينات الأمونيوم.
- 2- أحدد 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** أثر تغيير تراكيز المواد على موضع الاتزان وفق مبدأ لوتشاتلييه.
- 4- **أستنتج** العلاقة بين تغير لون المحلول وتراكيز المواد في وعاء التفاعل.



## الضغط Pressure

يتأثر ضغط الغاز المحصور في وعاءٍ مُغلقٍ بحجم الوعاء وأعداد مولات الغازات فيه، حيثُ يتناسب ضغطُ الغاز عكسيًا مع حجم الوعاء عند ثبات درجة الحرارة، وطرديًا مع عدد مولات الغاز أو عدد الجزيئات؛ فيزداد ضغط الغاز بزيادة عدد الجزيئات عند ثبات درجة الحرارة. في حين لا تتأثر المواد الصلبة والمواد السائلة بتغيرات الضغط في وعاء التفاعل.

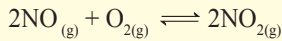
تُجرى التفاعلات التي تشتمل على الغازات في أوعية مغلقة لضمان عدم فقدانها أي كمية من الغازات المتفاعلة أو الناتجة لكي يصل التفاعل إلى حالة الاتزان. ويمكن تغيير ضغط الغاز في وعاء التفاعل بالتحكم في حجم الوعاء، فمثلاً؛ يُحضّر غاز الميثان  $\text{CH}_4$  صناعيًا بتفاعل غاز أول أكسيد الكربون  $\text{CO}$  مع غاز الهيدروجين  $\text{H}_2$  كما في التفاعل المُتزن الآتي:



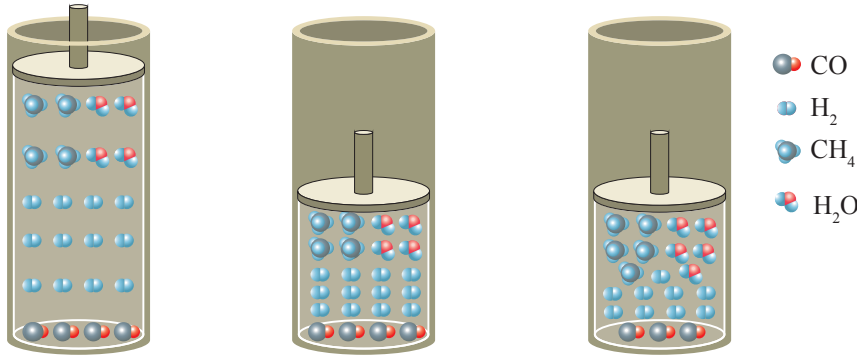
يمكن زيادة كمية غاز الميثان الناتجة بالتحكم في موضع الاتزان عن طريق تغيير ضغط الغازات في وعاء التفاعل؛ إذ يُلاحظ من معادلة التفاعل أن هناك أربعة مولاتٍ من الغازات المتفاعلة ( $\text{CO}_{(g)} + 3\text{H}_{2(g)}$ )، ومولينٍ من المواد الناتجة ( $\text{CH}_{4(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$ )، وعند إنزال المكبس للأسفل كما في الشكل (6) يقل حجم الوعاء ويزداد ضغط الغازات في وعاء التفاعل، وللتقليل من أثر زيادة الضغط يعمل التفاعل على إزاحة موضع الاتزان إلى الجهة التي تحتوي على عدد مولاتٍ أقل من المواد الغازية، أي جهة المواد الناتجة، ويقل بذلك عدد المولات الكلي في وعاء التفاعل ويقل الضغط، ولذلك تزداد سرعة التفاعل الأمامي ويزداد تكوين غاز الميثان.

وبعد مدّة قصيرة؛ تبدأ سرعة التفاعل الأمامي بالتناقص وتزايد سرعة التفاعل العكسي إلى أن تتساوى السرعتان، ويعود

**أفكر:** لا يتأثر موضع الاتزان بإضافة كمية من غاز الهيليوم He إلى وعاء التفاعل الآتي:

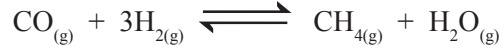






الشكل (6): أثر زيادة الضغط على موضع الاتزان في تفاعل تكوين الميثان.

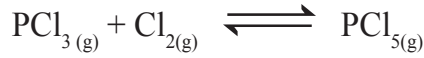
العودة إلى حالة الاتزان عند إنزال المكبس وزيادة الضغط التفاعل في حالة الاتزان



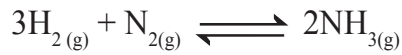
التفاعل إلى حالة الاتزان من جديد، أنظر الشكل (6) الذي يبين النسب المولية للمواد المتفاعلة والنتيجة في التفاعل.

✓ **أتحقَّق:**

1- أحددُ الجهة التي يُزاح موضع الاتزان نحوها في التفاعل الآتي؛ عند زيادة الضغط الكلي لخليط الغازات:

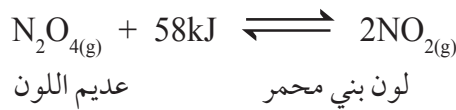


2- أوضحُ أثر زيادة حجم الوعاء على موضع الاتزان في التفاعل الآتي:



### درجة الحرارة Temperature

يختلف تأثير درجة الحرارة في الاتزان الكيميائي تبعاً لنوع التفاعل؛ إذا كان ماصاً للحرارة أم طارداً لها، ولمعرفة ذلك؛ يُمكن دراسة أثر تغيير درجة الحرارة لتفاعل مُتزنٍ ماصٍ للحرارة مثل تفاعل تحلل رباعي أكسيد ثنائي النيتروجين  $\text{N}_2\text{O}_4$ ، كما في المعادلة الآتية:



يكونُ التفاعل في حالة اتزان عند درجة حرارة الغرفة، ويكون لون خليط الغازات في وعاء التفاعل بُنياً باهتاً، وعند تسخين خليط الغازات تزدادُ



أستخدم برنامج  
صانع الأفلام (Movie Maker)،  
وأصمّم فيلمًا أشرح فيه مبدأ  
لوتشاتليه، وأناقشه مع زملائي/  
زميلاتي في الصف.

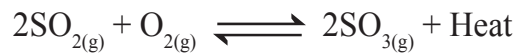


**أبحث:** يستفاد من العوامل  
المؤثرة في الاتزان في مجالات  
صناعية متعددة، مثل: معالجة  
تلوث الهواء الجوي، أو صناعة حمض  
الكبريتيك  $H_2SO_4$ ، أو صناعة  
الأمونيا. أبحث في مواقع إلكترونية  
مناسبة عبر شبكة الإنترنت عن  
التطبيقات الصناعية للاتزان  
الكيميائي، وأكتب تقريرًا أو أصمّم  
عرضًا تقديميًا حول الموضوع،  
وأناقشه مع زملائي/ زميلاتي  
في الصف.

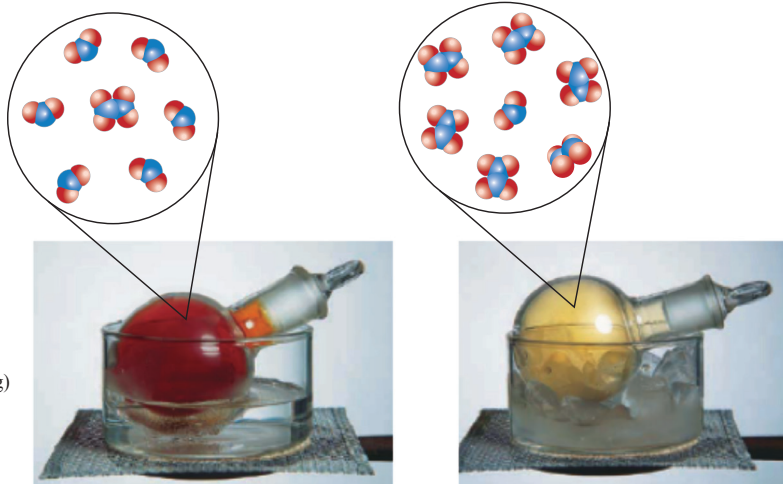
درجة حرارته، ما يدفع التفاعل إلى تعديل موضع الاتزان، ويتجه نحو  
الجهة التي تستهلك الحرارة الزائدة؛ أي جهة إنتاج  $NO_2$  وتزداد كميته  
في وعاء التفاعل وتقل كمية  $N_2O_4$ ؛ لذا يلاحظ حدوث زيادة في شدة  
اللون البني المحمّر، وتستقر شدته بعد مدّة من الزمن، ويصل التفاعل  
إلى حالة اتزان جديدة ولا يعود إلى اللون الباهت مرّة أخرى، ما يعني أن  
حالة الاتزان الجديدة وموضعها تختلف عما كانت عليه قبل التسخين.

أما عند تبريد الخليط وخفض درجة حرارته؛ فإن التفاعل يتجه نحو  
الجهة التي تزيد من إنتاج الحرارة، ويندفع التفاعل بالاتجاه العكسي،  
أي جهة تكوين  $N_2O_4$ ، فيزداد تركيزه ويقل تركيز  $NO_2$ ، وبذلك يصبح  
لون المحلول مائلًا إلى اللون الأصفر، ما يعني أن التفاعل وصل إلى  
حالة اتزان جديدة؛ أي أن الاتزان وموضعه أزيحًا نحو المواد المتفاعلة.  
ويبين الشكل (7) أثر تغيير درجة الحرارة على حالة الاتزان للخليط.  
يتضح مما سبق؛ أن تغيير درجة حرارة التفاعل المتزن يؤدي إلى حالة  
اتزان جديدة، لا يعود فيها التفاعل إلى حالة الاتزان التي كان عليها.

✓ **أنحقّق:** أحدد الجهة التي يُزاح نحوها الاتزان في كلّ من التفاعلين  
الآتين عند زيادة درجة الحرارة:



الشكل (7): أثر تغيير درجة  
الحرارة على حالة الاتزان.



## التجربة 2

### أثر درجة الحرارة على الأتزان

#### المواد والأدوات:

برادة النحاس، محلول حمض النيتريك  $\text{HNO}_3$  تركيزه 0.1M ،  
دورق مخروطي سعته 200 mL عدد (3)، سدادة مطاطية عدد  
(3)، حوض زجاجي عدد (2)، ماء ساخن، قطع من الجليد.



#### إرشادات السلامة:

- اتبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.

#### خطوات العمل:

- 1- **أقيس:** أضع 100 mL من محلول حمض النيتريك في كل دورق مخروطي.
- 2- **ألاحظ:** أحضر الدوارق المخروطية الثلاثة وأرقمها، ثم أضع في كل منها 1 g من برادة النحاس وأغلقها بإحكام، وألاحظ لون الغاز المتكون في كل منها.
- 3- **أضبط المتغيرات:** أحضر الحوضين الزجاجيين، وأضع في أحدهما إلى منتصفه ماءً ساخنًا، وفي الآخر ماءً وجليدًا.
- 4- **أجرب:** أترك الدورق رقم (1) جانبًا، ثم أضع الدورق (2) في الحوض المحتوي على الماء الساخن، والدورق (3) في حوض الماء البارد.
- 5- **أقارن:** أنتظر 2 min ، ثم أقارن لون الغاز في الدورقين (2, 3) بلون الغاز في الدورق (1). أسجل لون الغاز في كل دورق.

#### التحليل والاستنتاج:

- 1- **أستنتج** أثر زيادة درجة الحرارة على تراكيز كل من الغازين في الدورق.
- 2- **أفسر** تغير لون الغاز في الدورق الموضوع في الماء الساخن، والآخر في الماء البارد عن الدورق رقم (1).
- 3- **أفسر** أثر درجة الحرارة على كل من التفاعلين الأمامي والعكسي.
- 4- **أستنتج** أثر درجة الحرارة على الأتزان للتفاعل الماص للحرارة والتفاعل الطارد لها.

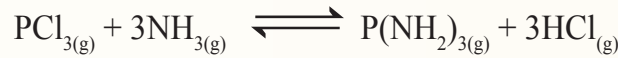
## مراجعة الدرس

1 - الفكرة الرئيسة: **أصف** الاتزان الديناميكي وأحدّد العوامل المؤثرة فيه.

2 - أوضّح المقصود بكلّ من:

● التفاعلات المنعكسة ● مبدأ لو تشاتلييه.

3 - أوضّح التغيّرات التي تحدث لتركيز الأمونيا  $\text{NH}_3$  في التفاعل المتّزن في الحالات الآتية:



أ . زيادة تركيز  $\text{PCl}_3$ .

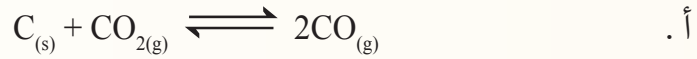
ب . إزالة  $\text{HCl}$  من وعاء التفاعل.

جـ . إضافة كمية من  $\text{P}(\text{NH}_2)_3$  إلى وعاء التفاعل.

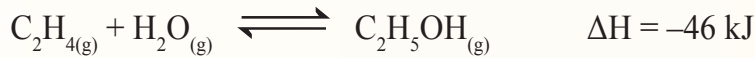
4 - **أفسّر** يعتمد تغيير موضع الاتزان للتفاعل المتّزن الآتي على تغيير حجم غاز  $\text{Cl}_2$  فقط:



5 - أحدّد التفاعلات التي تؤدي زيادة الضغط الكلي لها إلى إنتاج كمية أكبر من المواد الناتجة:



6 - **أستنتج** أثر التغيّرات الآتية على موضع الاتزان للتفاعل الآتي:



أ . زيادة حجم وعاء التفاعل.

ب . زيادة درجة الحرارة.

جـ . إضافة كمية من بخار الماء.

### ثابت الاتزان Equilibrium Constant

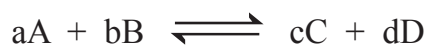
عرفت في ما سبق أنه عند وصول التفاعل إلى حالة الاتزان يستمر حدوث التفاعل بالاتجاهين الأمامي والعكسي بالسرعة نفسها، وتبقى تراكيز المواد الناتجة والمتفاعلة ثابتة، ويمكن التأثير عليها بإزاحة موضع الاتزان نحو اليسار أو اليمين بتغيير ظروف التفاعل من تركيز أو ضغط أو درجة حرارة، ويصل التفاعل إلى حالة الاتزان من جديد. وستعرف في هذا الدرس كيفية التعبير عن حالة الاتزان، وحساب تراكيز المواد المختلفة عند الاتزان.

### تعبير ثابت الاتزان

#### Equilibrium Constant Expression

توصل العالمان النرويجيان كاتو جولديبرج Cato Guldberg وبيتر ويبج Peter Waage عن طريق دراستهما للتفاعلات المتزنة إلى علاقة تصف حالة الاتزان سُميت **قانون فعل الكتلة Mass Action Law**؛ وينص أنه عند درجة حرارة معينة يصل التفاعل إلى حالة تكون عندها نسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة مرفوعاً كلٌّ منها إلى قوة تساوي معاملاتها، قيمة ثابتة تُسمى **ثابت الاتزان Equilibrium Constant**.

فإذا كان لدينا التفاعل الافتراضي الآتي:



فإننا نجد أن ثابت الاتزان ويُرمز له  $K_{eq}$  يمثل حاصل ضرب تراكيز المواد الناتجة مقسوماً على حاصل ضرب تراكيز المواد المتفاعلة مرفوعاً كلٌّ منها إلى قوة تساوي معاملاتها (a, b, c, d) في المعادلة الموزونة، ويُعبّر عنه على النحو الآتي:

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

### الفكرة الرئيسة:

يُعبّر ثابت الاتزان عن نسب تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة في التفاعل عند وصوله إلى حالة الاتزان، ويستفاد منه في تقدير كميات المواد المختلفة عند الاتزان وتقدير المردود الاقتصادي للتفاعل.

### نتائج التعلم:

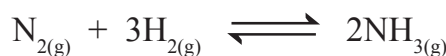
- أكتب تعبير ثابت الاتزان لبعض التفاعلات.
- أحسب كميات المواد في وعاء التفاعل عند الاتزان.

### المفاهيم والمصطلحات:

قانون فعل الكتلة Mass Action Law	
ثابت الاتزان Equilibrium Constant	
اتزان متجانس Homogeneous Equilibrium	
اتزان غير متجانس Heterogeneous Equilibrium	
الحمض الضعيف Weak Acid	
أيون الهيدرونيوم Hydronium Ion	
ثابت تأين الحمض Acid Dissociation Constant	
القاعدة الضعيفة Weak Base	
ثابت تأين القاعدة Base Dissociation Constant	



يُعبّر عن ثابت الاتزان بدلالة التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة والنتيجة، ولذلك يُرمز لثابت الاتزان في هذه الحالة  $K_c$  بدلاً من  $K_{eq}$ ، فمثلاً؛ تُصنع الأمونيا  $NH_3$  بطريقة هابر وفق المعادلة الآتية:



وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل على النحو الآتي:

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

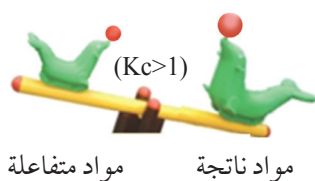
يستفاد من قيمة ثابت الاتزان في تحديد الجهة التي يُزاح إليها الاتزان، وحساب كميات المواد الناتجة والمتفاعلة عند الاتزان، فإذا كانت قيمة ثابت الاتزان أكبر من واحد ( $K_c > 1$ )؛ يكون موضع الاتزان مُزاحاً إلى جهة المواد الناتجة، وتكون تراكيز المواد الناتجة أكبر من تراكيز المواد المتفاعلة، وبهذا يكون مردود التفاعل أكبر. أنظر الشكل (8/أ)، بينما إذا كانت قيمة ثابت الاتزان أقل من واحد ( $K_c < 1$ )؛ يكون موضع الاتزان مُزاحاً إلى جهة المواد المتفاعلة، وتكون تراكيز المواد الناتجة أقل من تراكيز المواد المتفاعلة ويكون مردود التفاعل قليلاً. أنظر الشكل (8/ب).

ألاحظ أن المواد في تفاعل الأمونيا تكون جميعها في الحالة الغازية، ولذلك يمكن التعبير عن ثابت الاتزان للتفاعل بدلالة الضغوط الجزئية للغازات في وعاء التفاعل بدلاً من تراكيزها، ويُرمز إلى ثابت الاتزان في هذه الحالات بالرمز  $K_p$ ، ويُعبّر عنه في التفاعل السابق على النحو الآتي:

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

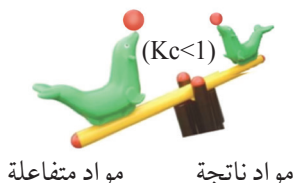
كثيراً من التفاعلات الكيميائية تكون فيها المواد في حالات فيزيائية مختلفة؛ ولذلك يمكن تصنيف الاتزان تبعاً إلى الحالة الفيزيائية للمواد إلى نوعين هما: اتزان متجانس، وآخر غير متجانس، وسنتعرف في ما يأتي كيفية التعبير عن ثابت الاتزان لكل منهما.

(أ)



مواد متفاعلة مواد ناتجة

(ب)



مواد متفاعلة مواد ناتجة

الشكل (8/أ، ب): الجهة التي يزاح إليها الاتزان.

## الاتزان المتجانس Homogeneous Equilibrium

كثيرٌ من التفاعلات الكيميائية المُتزنة تكون فيها الموادُّ المُتفاعلة والنااتجة جميعها في الحالة الفيزيائية نفسها، وفي هذه الحالة يُوصَف الاتزان بأنه **اتزان متجانس Homogeneous Equilibrium**. ويُعبَّر عن ثابت الاتزان لهذه التفاعلات بدلالة تراكيز المواد كلها في التفاعل، فمثلاً؛ يتفاعل غاز الأمونيا مع غاز الأوكسجين وينتج غاز ثاني أكسيد النيتروجين وبخار الماء كما في المعادلة الآتية:

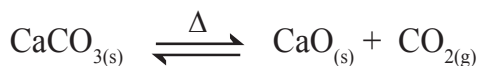


يُعبَّر عن ثابت الاتزان لهذا التفاعل على النحو الآتي:

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^4 [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{NH}_3]^4 [\text{O}_2]^7}$$

## الاتزان غير المتجانس Heterogeneous Equilibrium

تتنوعُ الحالةُ الفيزيائية للمواد المُتفاعلة والنااتجة (صلبة، وسائلة، وغازية) في بعض التفاعلات الكيميائية المُتزنة، ويوصف الاتزان بأنه **اتزان غير متجانس Heterogeneous Equilibrium**، وقد وجد أن تراكيز المواد الصلبة في التفاعل تبقى ثابتة؛ إذ إن كمية المادة في وحدة الحجم منها تبقى ثابتة، فهي لا تُؤثر في ثابت الاتزان ولا تكتب في تعبير ثابت الاتزان، فمثلاً؛ تتحللُ كربونات الكالسيوم الصلبة  $\text{CaCO}_3$  بالحرارة في وعاء مُغلق كما في المعادلة الآتية :



وقد وجد أن ثابت الاتزان يعتمد فقط على تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$ ، ويُعبَّر عنه على النحو الآتي:

$$K_c = [\text{CO}_2]$$

وكذلك بالنسبة للمادّة السائلة (l) فإنّ تركيزها يُمثّل كثافتها، وهي قيمةٌ ثابتةٌ مهما تغيرت كميتها، وبالتالي فإنّ تركيزها يبقى ثابتاً ولا يُؤثر في ثابت الاتزان، وينطبق ذلك على الماء أيضاً، فمثلاً؛ يتحلل الماء وفق المعادلة الآتية:



**أفكر:** أكتبُ معادلة التفاعل؛

إذا كان تعبير ثابت الاتزان لخليط من الغازات في وعاءٍ تفاعلٍ هو:

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2 [\text{Cl}_2]}{[\text{NOCl}]^2}$$

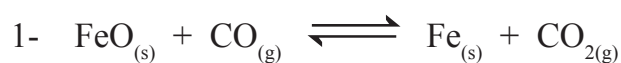
وحيث إنَّ الماء في التفاعل مادةٌ سائلةٌ؛ فإنَّ تركيزه يبقى ثابتاً، فلا يُؤثر في ثابت الاتزان؛ لذا لا يكتب في تعبير ثابت الاتزان الذي يُعبّر عنه على النحو الآتي:

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

وكذلك عندما يكون الماء مذيباً؛ فلا يُعبّر عنه في ثابت الاتزان.

✓ **أتحقق:**

أ - أكتب تعبير ثابت الاتزان بدلالة تراكيز المواد لكل من التفاعلات الآتية:



ب - أكتب تعبير ثابت الاتزان بدلالة الضغط الجزئي للغازات في كل من التفاعلات الآتية:



**أبحث:** في بعض الحالات



يكون الماء في الحالة السائلة، ويدخل في تعبير ثابت الاتزان، أبحث في مواقع إلكترونية مناسبة عبر شبكة الإنترنت عن هذه الحالات، وأكتب تقريراً أو أعد عرضاً تقديمياً عن الموضوع، وأناقشه مع زملائي/ زميلاتي في الصف.

## الحسابات المتعلقة بثابت الاتزان

### Calculations Related to Equilibrium Constant

يستخدم قانون فعل الكتلة في تطبيقات صناعية واسعة لوصف حالة الاتزان في الأنظمة الكيميائية المتزنة في المحاليل والتفاعلات الغازية، وقد عرفنا في ما سبق أن نسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة التي يُعبّر عنها ثابت الاتزان  $K_c$  عند درجة حرارة معينة تبقى ثابتة مهما اختلفت تراكيز المواد المستخدمة في التفاعل، ويوضح الجدول (1) قيم ثابت الاتزان لتفاعل إنتاج الأمونيا في تجارب عدّة أُجريت عند درجة حرارة  $500^\circ\text{C}$  كما في المعادلة:



يتضح من الجدول أن قيمة ثابت الاتزان لا تتأثر بالتراكيز الابتدائية للمواد في التفاعل، لكنها تعتمد عملياً على تراكيز المواد في وعاء التفاعل عند الاتزان. وسوف أتعرف في ما يأتي كيفية حساب ثابت الاتزان، وحساب تراكيز المواد في التفاعل عند وصوله إلى حالة الاتزان.

الجدول (1): قيم ثابت الاتزان لتفاعل الأمونيا في تجارب عدّة عند درجة حرارة  $500^\circ\text{C}$ .

التجربة	التركيزُ الابتدائي (بوحدة M)	التركيزُ عند الاتزان (بوحدة M)	ثابتُ الاتزان
1	$[\text{N}_2]_0 = 1$ $[\text{H}_2]_0 = 1$ $[\text{NH}_3]_0 = 0$	$[\text{N}_2] = 0.921$ $[\text{H}_2] = 0.763$ $[\text{NH}_3] = 0.157$	$K_c = 6.02 \times 10^{-2}$
2	$[\text{N}_2]_0 = 0$ $[\text{H}_2]_0 = 0$ $[\text{NH}_3]_0 = 1$	$[\text{N}_2] = 0.399$ $[\text{H}_2] = 1.197$ $[\text{NH}_3] = 0.203$	$K_c = 6.02 \times 10^{-2}$
3	$[\text{N}_2]_0 = 2$ $[\text{H}_2]_0 = 1$ $[\text{NH}_3]_0 = 3$	$[\text{N}_2] = 2.59$ $[\text{H}_2] = 2.77$ $[\text{NH}_3] = 1.82$	$K_c = 6.02 \times 10^{-2}$

## حساب ثابت الاتزان Calculating Equilibrium Constant

يُستخدم تعبير ثابت الاتزان  $K_c$  في حساب قيمة ثابت الاتزان للتفاعلات التي تحدث في أوعية مغلقة لا تسمح بخروج أي من المواد المتفاعلة أو الناتجة أو دخولها أثناء التفاعل، ويستخدم في حساب تراكيز المواد عند وصول التفاعل إلى حالة الاتزان، ويتخذ ثابت الاتزان وحدة تعتمد تراكيز المواد عند الاتزان ومعاملاتها في المعادلة الموزونة، وفي هذا الدرس سوف نهمل وحدة ثابت الاتزان. والأمثلة الآتية توضح كيفية حساب ثابت الاتزان:

### المثال 1

يُصنع غاز الميثان وفق المعادلة الآتية:



أحسب ثابت الاتزان إذا احتوى وعاءٌ حجمه 2 L على 0.6 mol من CO، و 0.2 mol من  $\text{H}_2$ ، و 0.12 mol من  $\text{CH}_4$ ، و 0.04 mol من  $\text{H}_2\text{O}$  عند الاتزان.

تحليل السؤال (المعطيات):

عدد مولات CO = 0.6 mol ، عدد مولات  $\text{H}_2$  = 0.2 mol

عدد مولات  $\text{CH}_4$  = 0.12 mol ، عدد مولات  $\text{H}_2\text{O}$  = 0.04 mol

حجم خليط الغازات = 2L

المطلوب: حساب ثابت الاتزان  $K_c$

الحل:

أحسب التركيز المولاري لكل غاز في وعاء التفاعل كما يأتي:

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

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

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

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

$$K_c = \frac{[\text{CH}_4] [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}] [\text{H}_2]^3}$$

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



يتحلل غاز يوديد الهيدروجين HI، ويتَّجَّ خليطاً من غاز الهيدروجين H<sub>2</sub> وبخار اليود I<sub>2</sub> كما في المعادلة الآتية:



ويمكنُ تحديدُ كميةِ اليود I<sub>2</sub> في الخليطِ الغازيِّ الناتجِ من شِدَّةِ اللونِ البنفسجيِّ لبخارِ اليود I<sub>2</sub>؛ فكُلِّما زاد تركيزُ بخارِ اليود في الوعاءِ زادت شِدَّةُ اللَّوْنِ، فإذا أُدخِلَ 4 mol من يوديدِ الهيدروجين HI إلى وعاءٍ حجمُه 5 L عند درجة حرارة 485 °C؛ نجد أنَّ الوعاءَ عند الاتِّزانِ يحتوي 0.442 mol من بخارِ اليود I<sub>2</sub>. أحسبُ ثابتَ الاتِّزانِ للتفاعلِ عند درجة الحرارة هذه.

تحليل السؤال (المعطيات):

عند البداية: عددُ مولات HI = 4 mol

عند الاتِّزانِ: عددُ مولات I<sub>2</sub> = 0.442 mol

حجمُ خليطِ الغازات = 5 L

المطلوبُ: حسابُ ثابتِ الاتِّزانِ K<sub>c</sub>

الحلُّ:

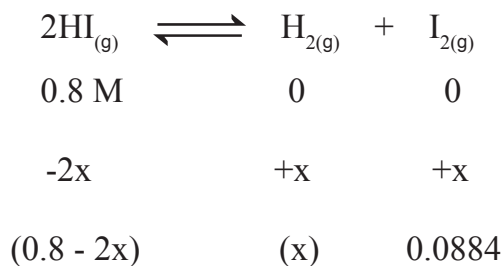
أحسبُ تراكيزَ HI عند البداية:

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

أحسبُ تراكيزَ I<sub>2</sub> عند الاتِّزانِ:

$$[\text{I}_2] = \frac{n_{\text{I}_2}}{V} = \frac{0.442 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 0.0884 \text{ M}$$

أحسبُ تراكيزَ جميعِ الموادِّ عند الاتِّزانِ كما يأتي:



التراكيز عند بداية التفاعل:

التغيُّرات التي تطرأ على التراكيز:

التراكيز عند الاتِّزان:

يتَّضحُ من المعادلة أنَّ:

$$[\text{H}_2] = [\text{I}_2] = 0.0884 \text{ M}$$

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

الآن؛ يمكنني حساب ثابت الاتزان 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

يتكوّن غاز كلوريد النيتروزيل NOCl من تفاعل أكسيد النيتروجين NO مع الكلور Cl<sub>2</sub> كما في المعادلة:



أحسب ثابت الاتزان؛ إذا كانت الضغوط الجزئية للغازات في وعاء التفاعل عند الاتزان كما يأتي:

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

تحليل السؤال (المعطيات):

الضغوط الجزئية للغازات.

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

المطلوب: حساب ثابت الاتزان بدلالة الضغوط الجزئية للغازات

الحل:

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

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

✓ أتحقّق:

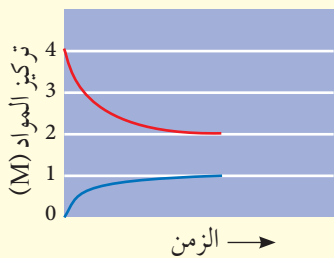
أحسب ثابت الاتزان لتحلّل غاز الفوسجين COCl<sub>2</sub> في وعاء مغلق حجمه 0.4 L كما في المعادلة الآتية:



إذا كان عدد مولات الغازات في وعاء التفاعل عند الاتزان كما يأتي:

$$CO = 0.071 \text{ mol}, Cl_2 = 0.071 \text{ mol}, COCl_2 = 3 \text{ mol}$$

**أفكر:** بيّن الشكل النتائج التجريبية لإحدى التجارب، ويمثّل أحد المنحنيين المادة A، ويمثّل الآخر المادة B، أحسب ثابت الاتزان.



## حساب تراكيز المواد عند الاتزان

### Calculating Equilibrium Concentrations

يرافق حدوث التفاعلات الكيميائية تغيرات في تراكيز المواد المتفاعلة والنتيجة إلى حين وصول التفاعل إلى حالة الاتزان، وتعتمد هذه التغيرات على النسب المولية للمواد في المعادلة الموزونة، ويمكن حساب تراكيز المواد في التفاعل عند الاتزان باستخدام ثابت الاتزان، والأمثلة الآتية توضح ذلك:

## المثال 4

يتفاعل غاز أول أكسيد الكربون CO مع بخار الماء لإنتاج ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> والهيدروجين H<sub>2</sub> كما في المعادلة الآتية:



فإذا أُدخِل 1 mol من جميع هذه الغازات إلى وعاءٍ حجمه 1 L، وكان ثابت الاتزان عند 700 K يساوي 5.10؛ أحسب تراكيز كلٍّ من هذه الغازات عند الاتزان.

تحليل السؤال (المعطيات):

حجم الوعاء = 1 L

عدد مولات الغازات الابتدائي = 1 mol

ثابت الاتزان  $K_c = 5.10$

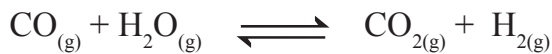
المطلوب: حساب تراكيز الغازات جميعها عند الاتزان.

**الحل:**

أحسب التركيز الابتدائي لكل غاز، وحيث إن عدد مولات الغازات جميعها متساوية ونسبها في المعادلة الموزونة متساوية فإن:

$$[\text{CO}]_0 = [\text{H}_2\text{O}]_0 = [\text{CO}_2]_0 = [\text{H}_2]_0 = \frac{n}{V} = \frac{1}{1} = 1M$$

وهذا يعني أنه عندما ينقص تركيز CO بمقدار x؛ فإن تركيز H<sub>2</sub>O ينقص بمقدار x، وتزداد تراكيز المواد الناتجة بالمقدار x نفسه، ويمكن تنظيم التغيرات التي تطرأ على تراكيز المواد على النحو الآتي:



$$1\text{M} \quad 1\text{M} \quad 1\text{M} \quad 1\text{M}$$

$$-x \quad -x \quad +x \quad +x$$

$$(1-x) \quad (1-x) \quad (1+x) \quad (1+x)$$

التركيز عند بداية التفاعل:

التغيرات التي تطرأ على التركيز:

التركيز عند الاتزان:

والآن؛ أطبق ثابت الاتزان كما يأتي:

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

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 الاتزان بتعويض قيمة x كما يأتي:

$$[\text{CO}] = [\text{H}_2\text{O}] = 1 - x = 1 - 0.387 = 0.613 \text{ M}$$

$$[\text{CO}_2] = [\text{H}_2] = 1 + x = 1 + 0.387 = 1.387 \text{ M}$$

### حل المعادلة التربيعية

تستخدم المعادلة التربيعية كثيراً في مجال الحسابات الكيميائية مثل حسابات ثابت الاتزان، 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 حلها وإيجاد قيمة المتغير x بطرق عدّة منها استخدام القانون العام على النحو الآتي:

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

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



إذا أُدخل 1 mol  $H_2$  و 2 mol  $I_2$  إلى وعاءٍ حجمه 1 L، وسخن الخليط إلى درجة حرارة  $458^\circ C$  لكي يصل إلى الاتزان، فكانت قيمة ثابت الاتزان عندها تساوي 50؛ أحسب تراكيز الغازات كلّها عند الاتزان.

تحليل السؤال (المعطيات):

حجم الوعاء = 1L

عدد مولات  $H_2$  الابتدائي = 1 mol

عدد مولات  $I_2$  الابتدائي = 2 mol

عدد مولات HI الابتدائي = 0 mol

ثابت الاتزان  $K_c = 50$

المطلوب: حساب تراكيز الغازات جميعها عند الاتزان.

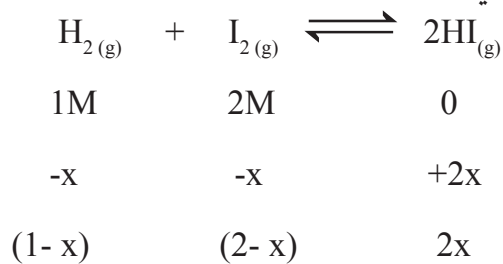
الحل:

أحسب التركيز الابتدائي لكل غاز كما يأتي:

$$[H_2]_0 = \frac{n}{V} = \frac{1}{1} = 1M$$

$$[I_2]_0 = \frac{n}{V} = \frac{2}{1} = 2M$$

أنظّم التغيّرات التي تطرأ على تراكيز المواد على النحو الآتي:



التراكيز عند بداية التفاعل:

التغيّرات التي تطرأ على التراكيز:

التراكيز عند الاتزان:

أطبق قانون ثابت الاتزان:

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

أعوّض عن ثابت الاتزان وتراكيز المواد عند الاتزان كما يأتي:



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

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

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

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

أحل المعادلة، فأجد أن  $x$  لها قيمتين:

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

فتكون القيمة المقبولة:  $x = 0.935$

وبهذا تكون تراكيز الغازات عند الاتزان كما يأتي:

$$[H_2] = 1 - 0.935 = 0.065 \text{ M}$$

$$[I_2] = 2 - 0.935 = 1.065 \text{ M}$$

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

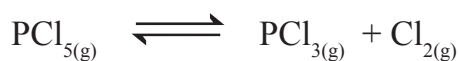


أستخدم برنامج

صانع الأفلام Movie Maker؛  
أو استخدم كاميرا رقمية،  
وأعدُّ فيلمًا أشرح فيه كيفية  
حساب تراكيز المواد المختلفة  
في التفاعل عند الاتزان، ثمَّ  
أعرضه أمام زملائي/زميلاتي في  
الصف.

✓ أنحقّق:

1- أحسب تراكيز المواد عند الاتزان لتفكك  $PCl_5$  عند درجة حرارة  $760^\circ \text{C}$ ، فإذا أدخل  $1 \text{ mol } PCl_5$  إلى وعاء حجمه  $2 \text{ L}$ ، وترك ليتفكك كما في المعادلة الآتية:



علمًا أن ثابت الاتزان  $K_c$  يساوي (5).

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

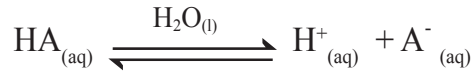


أحسب تراكيز المواد عند الاتزان؛ علمًا أن ثابت الاتزان  $K_c$  يساوي (115).

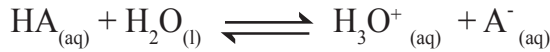
## ثابت الاتزان لمحاليل الحموض الضعيفة

### Equilibrium Constant for Weak Acid Solutions

تتأين الحموض الضعيفة Weak Acids جزئياً في الماء منتجة أيون الهيدروجين  $H^+$  وأيوناً آخر سالباً، فإذا رمزنا للحمض الضعيف بشكل عام HA، فإنه يتأين كما في المعادلة الآتية:



ونظراً للصغر حجم أيون الهيدروجين وكثافة الشحنة الموجبة عليه؛ فإنه يصعب أن يوجد منفرداً في المحلول فيرتبط بجزيء الماء مكوناً ما يُسمى **أيون الهيدرونيوم Hydronium Ion**  $(H_3O^+)$ ، ولذلك يمكن إعادة كتابة معادلة تأين الحمض على النحو الآتي:



يحتوي محلول الحمض الضعيف على تراكيز متزنة من جزيئات الحمض غير المتأينة HA والأيونات الناتجة عنه  $(H_3O^+, A^-)$ ، ويكون موضع الاتزان للحموض الضعيفة جميعها مُزاحاً جهة اليسار، ما يعني أن تراكيز الأيونات الناتجة صغيرة جداً مقارنةً بتركيز الحمض غير المتأين، ويُعبّر عن ثابت الاتزان للمحلول على النحو الآتي:

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

ونظراً لأن تركيز الماء يبقى ثابتاً في المحلول؛ فإنه يُدمج في ثابت الاتزان لينتج ثابتاً جديداً يسمى **ثابت تأين الحمض Acid Dissociation Constant**  $(K_a)$ ، وهو ثابت الاتزان لتأين الحمض الضعيف في الماء، ويُعبّر عنه على النحو الآتي:

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

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

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

وعلى سبيل المثال؛ يتأين الحمض الضعيف HF في الماء على النحو الآتي:



ويُعبر عن ثابت تأين الحمض HF كما يأتي:

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

تتفاوت قدرة الحموض الضعيفة على التأين، ويُعدُّ ثابت تأينها مقياساً كمياً لمدى تأينها، ويُبين الجدول (2) قيم ثابت التأين لعدد من الحموض عند درجة حرارة 25°C. يُستفاد من ثابت تأين الحمض في مقارنة قوة الحموض وقدرتها على التأين، وكذلك حساب تركيز أيون الهيدرونيوم  $H_3O^+$ ، وحساب الرقم الهيدروجيني pH للمحلول.

✓ **أنحَقِّق:**

1- أكتبُ معادلة تأين كلٍّ من  $CH_3COOH$  ,  $HCN$

2- أعبّر عن ثابت التأين لكلٍّ منهما.

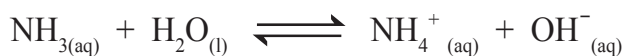
الجدول (2): قيم ثابت التأين لعدد من الحموض الضعيفة.

ثابت تأين الحموض $K_a$	معادلة تأين الحمض الضعيف	الحمض
$6.8 \times 10^{-4}$	$HF_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$	الهيدروفلوريك
$1.7 \times 10^{-5}$	$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$	الإيثانويك
$3.5 \times 10^{-8}$	$HClO_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + ClO^-_{(aq)}$	الهيپوكلوروز
$4.9 \times 10^{-10}$	$HCN_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$	الهيدروسيانيك

## ثابت الاتزان لمحاليل القواعد الضعيفة

### Equilibrium Constant for Weak Bases Solutions

تتأين القواعد الضعيفة Weak Bases في الماء جزئياً، وينتج عن ذلك أيون الهيدروكسيد (OH<sup>-</sup>) وأيون آخر موجب، فمثلاً تتأين الأمونيا NH<sub>3</sub> في الماء وفق المعادلة الآتية:



تكون تراكيز الأيونات الناتجة (OH<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) وجزئيات القاعدة غير المتأينة NH<sub>3</sub> في حالة اتزان، ويُعبّر عن ثابت الاتزان كما في المعادلة الآتية:

$$K_c = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3][\text{H}_2\text{O}]}$$

وبدمج تركيز الماء بثابت الاتزان K<sub>c</sub>؛ ينتج ثابت جديد يُسمى **ثابت تأين القاعدة Base Dissociation Constant (K<sub>b</sub>)**، وهو ما يُعبّر عن ثابت الاتزان في محلول القاعدة الضعيفة:

$$K_c [\text{H}_2\text{O}] = K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

وبهذا يمكن التعبير عن ثابت تأين القاعدة كما يأتي:

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

ينطبق ذلك على جميع القواعد الضعيفة، إذ يُعدُّ ثابت تأين القاعدة مقياساً كمياً لمدى تأين القاعدة الضعيفة، ويبيّن الجدول (3) قيم ثابت التأين لعدد من القواعد الضعيفة، عند درجة حرارة 25 °C.

**أبحثُ:** يُعبّر ثابت الاتزان K<sub>c</sub> عن نسبة تراكيز الغازات في وعاء التفاعل عند الاتزان، كما يُعبّر ثابت الاتزان k<sub>p</sub> عن نسبة الضغوط الجزئية للغازات في وعاء التفاعل عند الاتزان، أرجعُ إلى مواقع إلكترونية مناسبة عبر شبكة الإنترنت، وأبحثُ عن العلاقة بين K<sub>c</sub> و K<sub>p</sub>، وأكتب تقريراً أو أصمّم عرضاً تقديمياً عن الموضوع، وأناقشهُ مع زملائي/ زميلاتي في الصف.

الجدول (3): قيم ثابت التأين لعدد من القواعد الضعيفة.

ثابت تأين القاعدة K <sub>b</sub>	معادلة تأين القاعدة الضعيفة	القاعدة
4.7 × 10 <sup>-4</sup>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O(l) ⇌ CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> (aq) + OH <sup>-</sup> (aq)	إيثيل أمين
4.4 × 10 <sup>-4</sup>	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O(l) ⇌ CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> (aq) + OH <sup>-</sup> (aq)	ميثيل أمين
1.8 × 10 <sup>-5</sup>	NH <sub>3</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O(l) ⇌ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (aq) + OH <sup>-</sup> (aq)	الأمونيا
1.7 × 10 <sup>-6</sup>	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O(l) ⇌ N <sub>2</sub> H <sub>5</sub> <sup>+</sup> (aq) + OH <sup>-</sup> (aq)	الهيدرازين

يستخدم ثابت تأين القاعدة في مقارنة قوة القواعد وقدرتها على التأين، وحساب تركيز أيون الهيدروكسيد  $\text{OH}^-$  وحساب الرقم الهيدروجيني pH للمحلول.

✓ **أتحقق:**

1- أكتب معادلة تأين كل من  $\text{N}_2\text{H}_4$  ,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$

2- أعبّر عن ثابت التأين لكل منهما.

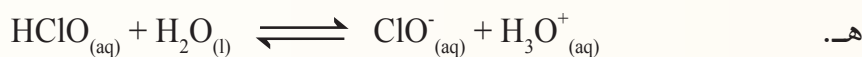
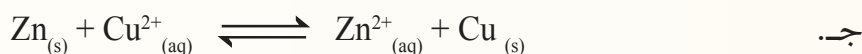
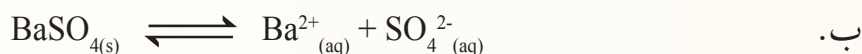
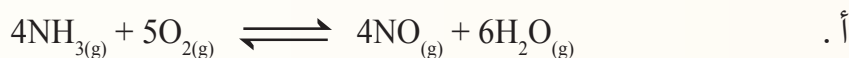
## مراجعة الدرس

1- الفكرة الرئيسة: **أفسر** دلالة ثابت الاتزان للتفاعل الكيميائي.

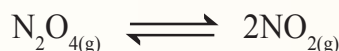
2- أوضّح المقصود بكل مما يلي:

• قانون فعل الكتلة • الاتزان المتجانس • ثابت تأين الحمض الضعيف.

3- أكتب تعبير ثابت الاتزان بدلالة تراكيز المواد لكل من التفاعلات الآتية:



4- **أطبق:** أدخل 0.65 mol من غاز  $\text{N}_2\text{O}_4$  إلى وعاء حجمه 0.5 L، وترك ليتفكك كما في المعادلة الآتية:



**أحسب** ثابت الاتزان، إذ وُجد أنّ الوعاء يحتوي على 0.5 mol من  $\text{NO}_2$  عند الاتزان.

5- **أطبق:** أدخل 2 mol من كل من الأوكسجين والنتروجين إلى وعاء حجمه 1 L لتتفاعل معاً وفق المعادلة الآتية:



وقد وُجد أنّ ثابت الاتزان للتفاعل عند درجة حرارة 150 K يساوي  $1 \times 10^{-5}$ ؛ **أحسب** تراكيز المواد عند وصول التفاعل إلى حالة الاتزان.



## حماية الأسنان من التآكل

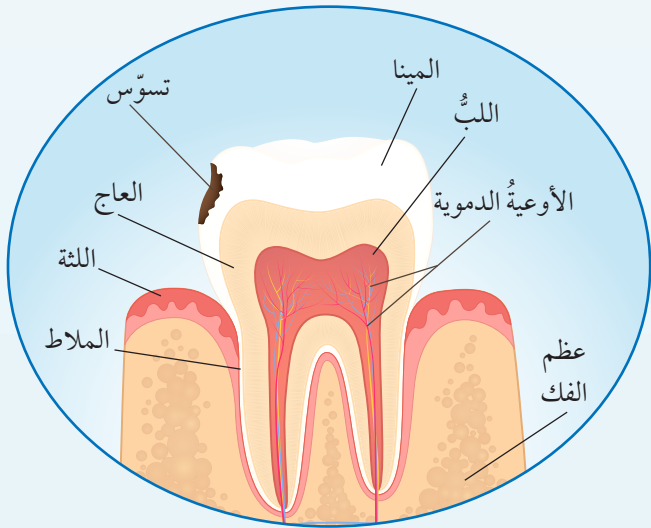
### Protecting Teeth from Erosion

يُغطّي السنُّ طبقةً خارجيّةً صلبةً تُسمى المينا، وتتكوّنُ من نسبة عالية من المعادن؛ إذ 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 حمضية السائل الموجود في الفم أو قاعديته، وتركيز المواد المختلفة فيه، وتُسمى عملية إذابة المعادن المكونة للأسنان إزالة المعدن Demineralization؛ بينما تُسمى إعادة تكوينها عملية بناء المعدن Remineralization. تتآكل الأسنان وتصاب بالتسوس نتيجة ذوبان معدن هيدروكسي أباتيت المُكوّن للمينا كما في المعادلة الآتية:



وعند تناول السكريات تتخمر بقاياها في الفم، وينتج حمض اللاكتيك  $C_2H_4OHCOOH$ ، ويتآكل في الفم منتجًا أيونات الهيدروجين  $(H^+)$  التي تتفاعل مع أيونات  $(OH^-)$  وأيونات  $PO_4^{3-}$ ، وتستهلكهما ويقل تركيزهما، ما يسبب إزاحة موضع الاتزان جهة اليمين نحو تكوين المواد الناتجة؛ فيزيد من تفكك معدن هيدروكسي أباتيت، ويزداد معدل إزالة المعدن، وتآكل طبقة المينا.

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



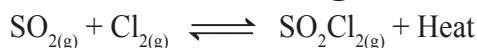
**أحدث** تدخل مركّبات كيميائية متنوعة في صناعة معاجين الأسنان، وتُساعد على إصلاح الأسنان ووقايتها من التسوس وبخاصة عند الأطفال، أرجع إلى مواقع إلكترونية مناسبة عبر شبكة الإنترنت، وأبحث عن هذه المركّبات ودورها في معالجة الأسنان ومعالجة تآكلها، وأكتب تقريرًا أو أعد عرضًا تقديميًا عن الموضوع، وأناقشه مع زملائي / زميلاتي في الصف.

## مراجعة الوحدة

1. أوضِّح المقصود بكلِّ مما يأتي:

- التفاعلات غير المنعكسة.
- اتزان ديناميكي
- ثابت الاتزان.
- الاتزان غير المتجانس.
- ثابت تأين القاعدة الضعيف.

2. أوضِّح: يتفاعل ثاني أكسيد الكبريت  $SO_2$  مع الكلور  $Cl_2$  وفق المعادلة الآتية:



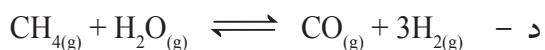
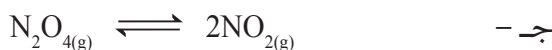
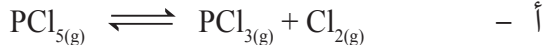
أوضِّح أثر التغيرات الآتية على موضع الاتزان:

- أ - زيادة تركيز  $Cl_2$ .
- ب - سحب  $SO_2Cl_2$  من الوعاء.
- ج - تقليل كمية  $SO_2$  في وعاء التفاعل.

3. أتوقع أثر خفض درجة الحرارة على موضع الاتزان للتفاعلين المُتزنين الآتيين:

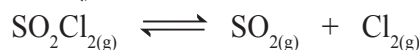


4. أتوقع التفاعل الذي يُنتج أكبر كمية من المواد عند زيادة الضغط الكلي المؤثر في وعاء التفاعل بين التفاعلات الآتية:

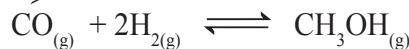


5. أتنبأ بموضع الاتزان عند تقليل حجم الوعاء في العمليات الآتية مُبرِّراً تنبؤاتي:

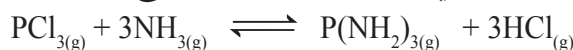
أ - تحلل المُركَّب  $SO_2Cl_2$  كما في المعادلة:



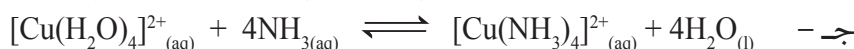
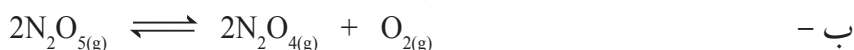
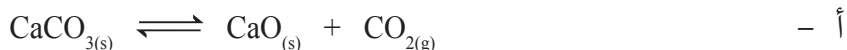
ب - تحضير الميثانول كما في التفاعل المُتزن الآتي:



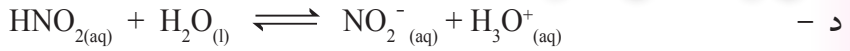
ج - تفاعل ثلاثي كلوريد الفسفور  $PCl_3$  مع الأمونيا كما في المعادلة الآتية:



6. أطبق أكتب تعبير ثابت الاتزان  $K_c$  لكل من التفاعلات الآتية:



## مراجعة الوحدة

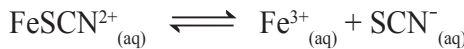


7. أفسر:

أ - لا يتأثر موضع الاتزان عند تغيير الضغط الكلي في وعاء التفاعل عند الاتزان للتفاعل الآتي:



ب - يمكن زيادة كمية الناتج  $\text{SCN}^{-}$  بترسيب أيونات الحديد  $\text{Fe}^{3+}$  من المحلول في التفاعل المتزن الآتي:



8. أحلل البيانات وأفسرها: يُبين الجدول الآتي نتائج دراسة ثابت الاتزان لتفاعل ما عند درجات حرارة مختلفة،

هل التفاعل ماص للحرارة أم طارد لها؟

درجة الحرارة بوحدة الكلفن	ثابت الاتزان
208	$4.9 \times 10^{27}$
800	$1.38 \times 10^5$
1000	$2.54 \times 10^2$

9. تُحضّر الأمونيا  $\text{NH}_3$  بتسخين مزيج من غاز النيتروجين  $\text{N}_2$  وغاز الهيدروجين  $\text{H}_2$  عند ضغط مُعيّن، كما في



صُغِط كمية من غازي النيتروجين والهيدروجين إلى وعاء حجمه 10 L، وسُخِّت إلى درجة حرارة  $350^\circ\text{C}$ ؛

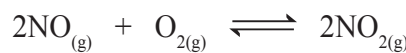
ليصل التفاعل إلى حالة الاتزان، حيث وُجد أن عدد مولات النيتروجين والهيدروجين والأمونيا عند الاتزان

تساوي: 4.25, 5.75, 1.5 على الترتيب.

أ - أحسب ثابت الاتزان للتفاعل عند  $350^\circ\text{C}$

ب - أقارن هذه النتيجة بقيمة ثابت الاتزان في الجدول رقم (1)، وأبرر هذا الاختلاف.

10. وُجد أن ثابت الاتزان للتفاعل الآتي يساوي  $K_c = 4 \times 10^{13}$  عند درجة  $25^\circ\text{C}$



أ - أتوقع المواد المتوافرة بكمية أكبر في وعاء التفاعل عند الاتزان.

ب - أحسب تركيز  $\text{NO}_2$  عندما يكون  $[\text{O}_2] = [\text{NO}] = 2 \times 10^{-6}\text{M}$ .

11. أطبّق: يحدث التفاعل الآتي في وعاء مغلق حجمه 1 L.

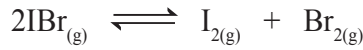


أدخل 0.8 mol من الغازات الأربعة إلى وعاء التفاعل عند درجة حرارة مُعيّنة فُوجد أن ثابت الاتزان للتفاعل

عند درجة الحرارة نفسها يساوي 3.75، أحسب تراكيز هذه الغازات عند الاتزان.

## مراجعة الوحدة

12. أطبّق: يتحلّل غاز بروميد اليود IBr وفق المعادلة الآتية:



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

13. أحلّل النتائج وأفسرها: تُصنّع الأمونيا بتسخين مزيج من غازي النيتروجين والهيدروجين بوجود عاملٍ مساعد من معدن المغنتيت الصلب، كما في المعادلة الآتية:

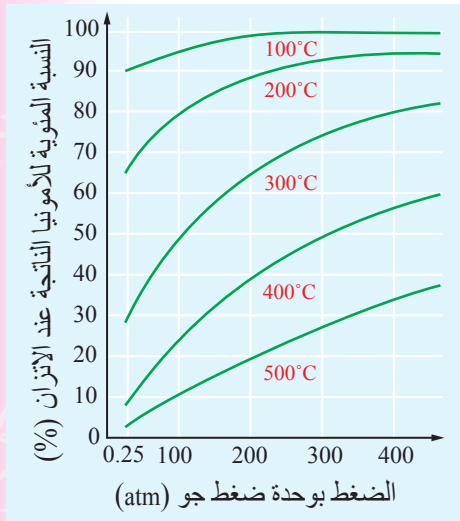


ويبيّن الشكل المجاور نسبة الأمونيا الناتجة عند ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة، أدرس المنحنى ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

أ - أفسر: أستخدم مبدأ لوتشاتيليه لتفسير أثر زيادة درجة الحرارة على نسبة الأمونيا الناتجة.

ب - أفسر: أستخدم مبدأ لوتشاتيليه لتفسير أثر زيادة الضغط على نسبة الأمونيا الناتجة.

ج - أكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل باستخدام تراكيز المواد، وكذلك باستخدام الضغوط الجزئية للغازات.

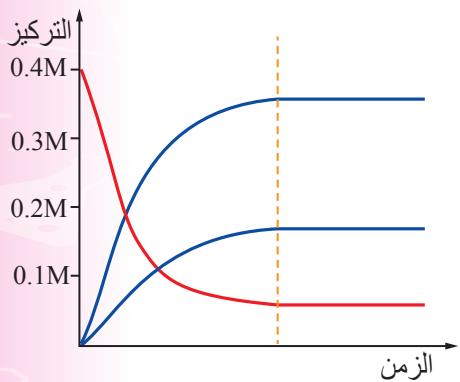


14. أحلّل النتائج: يبيّن الشكل المجاور النتائج التجريبية لخليط من الغازات (SO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) عند الاتزان، أدرس الشكل وأجب عن الأسئلة الآتية:

أ - أحدد المنحنى الذي يمثّل المواد المتفاعلة والمنحنى الذي يمثّل المواد الناتجة.

ب - أكتب معادلة التفاعل الموزونة.

ج - أحسب ثابت الاتزان للتفاعل في ضوء هذه النتائج.



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

أ - أسمى المعدن الأساسي التي تتكون منه هذه الطبقة.

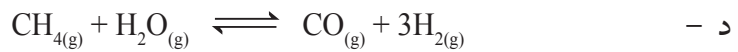
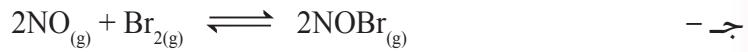
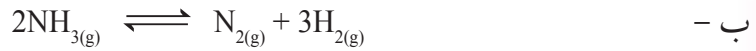
ب - أوضح عملية إزالة المعدن وأكتب معادلة كيميائية تُبيّن ذلك.

ج - أسمى المادة المستخدمة في إعادة بناء المعدن.

د - أوضح كيفية بناء المعدن في الأسنان.

16. أختارُ الإجابة الصحيحة لكلِّ فقرة في ما يأتي:

(1) أحددُ التفاعل الذي يُنتج كمية أكبر من النواتج عند زيادة الضغط المؤثر على وعاء التفاعل:



(2) يؤدي سحب غاز  $NH_3$  من وعاء التفاعل الآتي إلى:



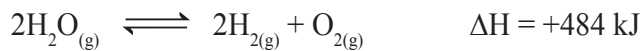
أ - زيادة سرعة التفاعل الأمامي.

ب - زيادة إنتاج غاز  $NO$ .

ج - إزاحة موضع الاتزان نحو اليمين.

د - إزاحة موضع الاتزان نحو اليسار.

(3) يُعدُّ تحليل الماء كهربائياً إحدى طرق تحضير الهيدروجين كما في التفاعل الآتي:



أحدد أي الإجراءات الآتية يؤدي إلى زيادة كمية الهيدروجين الناتجة هو:

أ - زيادة درجة الحرارة

ب - خفض درجة الحرارة

ج - زيادة الضغط المؤثر

د - إضافة كمية من غاز الأكسجين

(4) العبارة الصحيحة في ما يتعلق بالتفاعل عند الاتزان في ما يأتي:

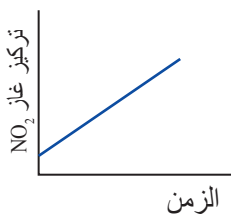
أ - تراكيز المواد الناتجة مساوٍ لتراكيز المواد المتفاعلة.

ب - موضع الاتزان مُزاح نحو تكوين المواد المتفاعلة.

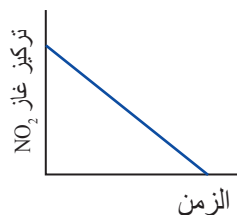
ج - سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي.

د - تعتمد قيمة ثابت الاتزان على التراكيز الابتدائية للمواد في التفاعل.

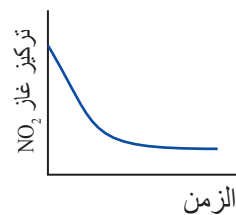
(5) الشكل الذي يُعبّر عن تغيّر تركيز  $NO_2$  في أثناء سير التفاعل والوصول إلى حالة الاتزان للتفاعل الآتي هو:



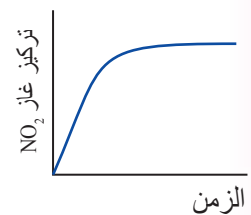
(د)



(ج)



(ب)



(أ)



# المركبات الهيدروكربونية

Hydrocarbons

الوحدة

6



## أتأملُ الصورة

يُنْتِجُ النفط من تحلُّل بقايا الكائنات الحية، ويُعدُّ أحد أهم مصادر الطاقة والمخزون الرئيس للمركبات الهيدروكربونية التي تدخل في كثير من الصناعات، مثل البلاستيك، والألياف الصناعية، وغيرها من المركبات الكيميائية. فما المركبات الهيدروكربونية؟ وما خصائصها؟



## الفكرة العامة:

تتكون المركبات الهيدروكربونية من عنصري الكربون والهيدروجين.

تختلف أنواعها باختلاف طبيعة الروابط بين ذرات الكربون، ولها خصائص كيميائية وفيزيائية تختلف باختلاف أنواعها، وتسمى المركبات الهيدروكربونية حسب نظام التسمية العالمي الأيوباك IUPAC.

### الدرس الأول: المركبات الهيدروكربونية المشبعة.

**الفكرة الرئيسة:** تتكون المركبات الهيدروكربونية المشبعة من الكربون والهيدروجين فقط، وترتبط فيها ذرات الكربون بأربع روابط أحادية ويُطلق عليها الألكانات وتسمى وفق نظام التسمية العالمي الأيوباك IUPAC، ولها خصائص كيميائية وفيزيائية.

### الدرس الثاني: المركبات الهيدروكربونية غير المشبعة والمركبات الأروماتية.

**الفكرة الرئيسة:** تتكون المركبات الهيدروكربونية غير المشبعة من الكربون والهيدروجين، وترتبط فيها ذرات الكربون برابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين.

## تجربة استهلاكية

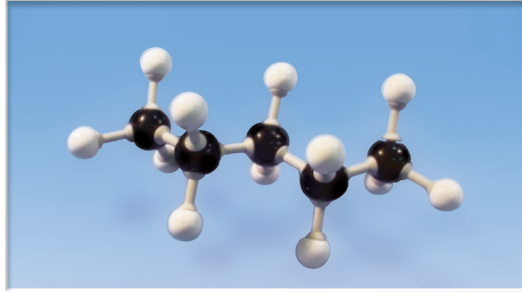
### بناء المركبات الهيدروكربونية

المواد والأدوات: مجموعة نماذج الذرات (الكرات والوصلات).

#### إرشادات السلامة:

- اتبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتدي المعطف والنظارات الواقية والقفازات.

#### خطوات العمل:



- 1 أختار (5) كراتٍ تحتوي كلٌّ منها على (4) ثقبٍ تُمثلُ ذرات الكربون.
- 2 **أجرب:** أستخدمُ الوصلاتِ في توصيل الكرات الخمس.
- 3 **أطبق:** أختارُ عددًا من الكرات متشابهة اللون التي تحتوي على ثقب واحد تُمثلُ ذرات الهيدروجين، وأصلها مع ذرات الكربون، وأرسم الشكل الناتج وأكتبُ صيغته الجزيئية.
- 4 **أصمم:** نموذجًا آخر باستخدام (4) كرات تُمثلُ ذرات الكربون؛ ثم أصلها معًا في سلسلة. أمّا الكرة الخامسة فأصلها مع إحدى كرتي ذرتي الكربون الموجودة في الوسط، ثم أصل كرات الكربون جميعها بكرات الهيدروجين. وأرسم الشكل الناتج وأكتبُ صيغته الجزيئية.
- 5 **أصمم:** نموذجًا أصل به (3) كرات تُمثلُ ذرات الكربون في سلسلة، ثم أصل الكرتين المتبقيتين مع ذرة الكربون التي تقع في الوسط، وبعد ذلك أصل الكرات التي تُمثلُ ذرات الكربون جميعها مع الهيدروجين. وأرسم الشكل الناتج وأكتبُ صيغته الجزيئية.

#### التحليل والاستنتاج:

- 1- **أقارنُ** بين الصيغ الجزيئية للمركبات الثلاثة السابقة من حيث عدد ذرات الكربون.
- 2- **أستنتجُ** العلاقة بين عدد ذرات الكربون وعدد ذرات الهيدروجين.



### مقدمة في الكيمياء العضوية

### Introduction in Organic Chemistry

لعلك تساءلت يوماً عن ملايين المركبات العضوية (Organic Compounds) من حولك؛ ووجدت أن منها الصناعي الذي يُحضّر في المختبرات والمصانع ومنها الطبيعي الذي يوجد في أجسامنا و غذائنا وكثير من الأشياء التي نتعامل بها. أنظر الشكل (1) الذي يُمثل عددًا من المواد الغذائية التي تحتوي مركبات عضوية. وقد عرف الكيميائيون -في بداية القرن التاسع عشر- أن الكائنات الحية تنتج عددًا هائلًا من مركبات الكربون، وأشاروا إليها بالمركبات العضوية لأنها ناتجة عن كائنات حية (عضوية). وعندما جرى قبول نظرية دالتون فهم الكيميائيون أن المركبات الكيميائية تتكون من ذرات مرتبطة معًا بنسبٍ مُحددة، ونظرًا لعدم مقدرة الكيميائيين على تحضير المركبات العضوية آنذاك؛ اعتقدوا بالخطأ القائل: (أن الكائنات الحية لها قوة حيوية تمكنها من إنتاج مركبات الكربون). وبقيت فكرة القوة الحيوية سائدة حتى تمكن العالم الألماني فريدريك فوهلر من دحضها بتحضير مركب عضوي وهو اليوريا ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) من مركب غير عضوي هو سيانات الأمونيوم  $\text{NH}_4\text{OCN}$ .



الشكل (1): مواد غذائية تحتوي على مركبات عضوية.

### الفكرة الرئيسة:

تتكوّن المركبات الهيدروكربونية المشبعة من الكربون والهيدروجين فقط، وترتبط فيها ذرات الكربون بأربع روابط أحادية ويُطلق عليها الألكانات، وتُسمى وفق نظام التسمية العالمي IUPAC، ولها خصائص كيميائية وفيزيائية مُحددة.

### نتائج التعلم:

- أتعرف الألكانات وأسميها وفق نظام التسمية العالمي IUPAC  
- أستنتج خصائص الألكانات واستخدماتها في الحياة العملية.

### المفاهيم والمصطلحات:

مركبات عضوية Organic Compounds  
لمركبات الهيدروكربونية Hydrocarbons  
المركبات الهيدروكربونية المشبعة

Saturated Hydrocarbons

المركبات الهيدروكربونية غير المشبعة

Unsaturated Hydrocarbons

ألكانات Alkanes

مجموعة الألكيل Alkyl Group

التصاوغ Isomerism

المتصاوغات Isomers

المتصاوغات البنائية Structural Isomers

الهلجنة Halogenation



فريدريك فوهلر (1800-1882).

يُطلَق مصطلح **المُرَكَّبَات العضوية Organic Compounds** على المُرَكَّبَات التي تتكوَّن بشكلٍ رئيسٍ من الكربون باستثناء أكاسيد الكربون والكربيدات والكربونات. ولأهمية المُرَكَّبَات العضوية؛ فقد خصَّص العلماء مجالاً خاصاً بها من علم الكيمياء سُمِّي الكيمياء العضويَّة.

أطلق الكيميائيون على المُرَكَّبَات العضوية اسمَ مُرَكَّبَات الكربون؛ وذلك بسبب قدرة ذرة الكربون على تكوين أربع روابطٍ تساهميَّةٍ مع ذرات الكربون الأخرى أو ذرات العناصر المختلفة، ومنها الهيدروجين. وهذا يعطي ذرة الكربون خاصية مميزة وهي قدرتها على تكوين مُرَكَّبَات في صورة سلاسل مكونة من ذرتين إلى ملايين الذرات، أو في صورة حلقات، لذا؛ قد تكون بسيطة أو مُعقَّدة التركيب.

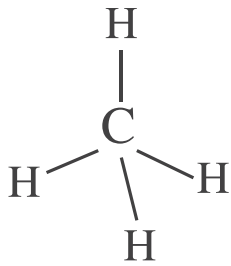
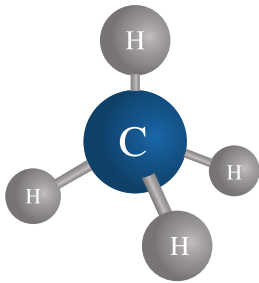
صنَّفَ الكيميائيون المُرَكَّبَات العضوية إلى نوعين هما المُرَكَّبَات العضوية الهيدروكربونية، ومشتقات المُرَكَّبَات الهيدروكربونية، وسوف أتعرفها في أثناء دراستي هذا الكتاب.

### المُرَكَّبَات الهيدروكربونية Hydrocarbon Compounds

عندما أركبُ السيارة مع أحد والديَّ أو الحافلة، أو أظهو الطعام على الغازِ أستعمل المركبات الهيدروكربونية؛ فالجازولين والديزل اللذان يستعملان في تسيير السيارات والحافلات والشاحنات، وكذلك الغاز الذي يشتعل عند استخدام غاز الطهو من هذه المركبات .

تتكوَّن **المُرَكَّبَات الهيدروكربونية Hydrocarbons** من عنصري الكربون والهيدروجين فقط؛ لذا فهي أبسط المُرَكَّبَات العضوية.

وقد أعتقدُ أنّ عددها قليلٌ بناءً على ذلك، ولكن في الحقيقة هناك عدد كبير جداً من المُرَكَّبَات الهيدروكربونية المعروفة، وأبسطها الميثان  $CH_4$  الذي يتكون من ذرَّة كربون مرتبطة مع أربع ذرات هيدروجين بروابطٍ تساهميَّةٍ أحاديَّة. ويبيِّن الشكل (2) الصيغة البنائيَّة لغاز الميثان.



الميثان  $CH_4$

الشكلُ (2): الصيغة البنائية

لغاز الميثان.





يُستخرج الغاز الطبيعي في الأردن من حقل الريشة؛ إذ يعدّ الميثان أحد المكونات الرئيسة لهذا الغاز.



ترتبط ذرة الكربون بروابط تساهمية أحادية؛ وقد ترتبط برابط تساهمية ثنائية أو ثلاثية مع ذرة كربون أخرى.

صنّف الكيميائيون المركّبات الهيدروكربونية؛ اعتمادًا على طبيعة الروابط إلى قسمين هما؛ المركّبات الأليفاتية التي تتكون من الهيدروكربونات المشبعة **Saturated Hydrocarbons**؛ وترتبط ذرات الكربون فيها بروابط تساهمية أحادية فقط، وكذلك من الهيدروكربونات غير المشبعة **Unsaturated Hydrocarbons** تحوي رابطة تساهمية ثنائية أو ثلاثية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون. أمّا القسم الثاني فهو المركّبات الأروماتية (العطريّة) وهي ذات روائح مميزة لذلك سميت عطريّة، أنظر الشكل (3).

### الألكانات Alkanes

عند اشتعال لهب بنسن في المختبر أو استخدام ولاعة؛ فإن المادة المستخدمة تكون من الألكانات. أنظر الشكل (4). الألكانات **Alkanes** مركّبات هيدروكربونية تحوي روابط تساهمية أحادية فقط. وترابط ذرات الكربون في الألكان بشكل سلسلة مفتوحة قد تكون بسيطةً مُكوّنةً من عدد بسيط من ذرات الكربون، أو معقدة تحوي على مئات ذرات الكربون. وقد تترابط ذرات الكربون في الألكان بصورة سلسلة مغلقة (حلقة).



الشكل (3): عطر برائحة البنزين.



الشكل (4): لهب بنسن وولاعة الغاز المستخدمة في إشعال غاز الطبخ.

## تسمية الألكانات Nomenclature of Alkanes

طُوِّرت في الماضي أنظمة مختلفة لتسمية المركبات العضوية، ولكن في وقتنا الحاضر يُعتمد في تسمية المركبات العضوية نظام الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية IUPAC فقط؛ إذ تُتبع فيه قواعد محددة للتسمية تشمل أنواع المركبات العضوية كافة، وذلك لتوحيد أسماء المركبات العضوية بين الكيميائيين جميعهم في العالم؛ ليسهل عليهم دراستها وتبادل المعلومات عنها. واعتمد النظام الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية أحياناً قبول بعض الأسماء الشائعة (لها أصول تاريخية ولا تعتمد على التركيب) بصفتها بادئات في الأسماء النظامية.

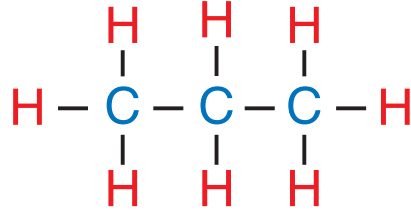
### تسمية الألكانات ذات السلاسل المستمرة

#### Naming Continuous Chain Alkanes

تُسمى الألكانات من هذا النوع بناءً على أعداد ذرات الكربون فيها؛ ويتألف اسم الألكان فيها من مقطعين؛ الأول بادئة مُشتقة من كلمات إغريقية أما المقطع الثاني (ان)؛ فيعني الإشباع ويشير إلى الألكان. فالألكانات الأربعة الأولى المُكوّنة من ذرة كربون واحدة إلى أربع ذرات كربون جرت معرفتها قبل نظام التسمية IUPAC؛ لذلك اشتقت بادئتها من أسماء لمركبات كيميائية إغريقية، أما الألكانات المُكوّنة من خمس ذرات كربون فأكثر؛ فقد اشتقت بادئتها من كلمات تشير إلى الأعداد الإغريقية. والجدول (1) يتضمّن أسماء الألكانات العشرة الأولى وصيغها.

الجدول (1): أسماء الألكانات العشرة الأولى وصيغها.

عدد ذرات الكربون	البادئة	اسم الألكان	الصيغة الجزيئية	الصيغة البنائية
1	ميث	Methane ميثان	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>
2	إيث	Ethane إيثان	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>
3	بروب	Propane بروبان	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
4	بيوت	Butane ببيوتان	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
5	بنت	Pentane بنتان	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
6	هكس	Hexane هكسان	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
7	هبت	Heptane هبتان	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
8	أوكت	Octane أوكتان	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
9	نون	Nonane نونان	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
10	ديك	Decane ديكان	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>



الشكل (5): الصيغة  
المفصلة للبروبان.

ألاحظ من الجدول أن كل الألكان يزيد على الألكان الذي قبله بذرة كربون واحدة وذرتي هيدروجين ( $\text{CH}_2$ )، ما يُمكننا أن نستنتج صيغةً جزيئيةً عامّةً للألكانات؛ وهي ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ )، حيث تُمثّل  $n$  عدد ذرات الكربون، لذا يمكن كتابة الصيغة الجزيئية لأيّ ألكان بمعرفة عدد ذرات الكربون أو الهيدروجين فيه، مثلاً؛ الألكان الذي يحتوي على 12 ذرة كربون تكون صيغته الجزيئية  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ .

يكتب الكيميائيون المركبات العضوية، ومنها المركبات الهيدروكربونية بأكثر من صورة بنائية؛ منها التي تظهر في الجدول (1) وتُسمى صيغة بنائية مختصرة، ويمكن أن تُكتب المركبات بصورة صيغة مفصلة؛ حيث تظهر الروابط جميعها بين الذرات كما في الشكل (5) الذي يُمثّل الصيغة المفصلة لمركّب البروبان.

وقد تُكتب المركبات بصورة هيكلية كما في الشكل (6)، حيث تُمثّل بداية السلسلة ونهايتها ذرة كربون متصلة مع ثلاث ذرات هيدروجين  $\text{CH}_3$ ، وكل زاوية تُمثّل  $\text{CH}_2$ .

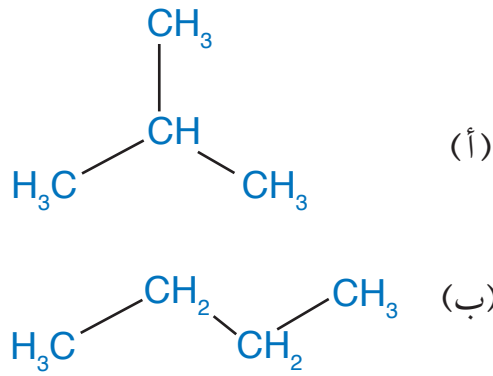
✓ **أتحقّق:**

- 1- أكتب الصيغة الجزيئية لألكانٍ يحتوي على 12 ذرة كربون.
- 2- أكتب الصيغة الجزيئية لألكانٍ يحتوي على 24 ذرة هيدروجين.
- 3- أسمّي الألكان الآتي:



الشكل (6): الصورة الهيكلية  
للبروبان.

الشكل (7): صيغ بنائية  
لصيغة الجزيئية  $C_4H_{10}$ .



### تسمية الألكانات المُتفرّعة Naming Branched-Chain Alkanes

تُسمّى الألكانات التي تعرّفها الألكانات ذات السلاسل المستمرة؛ لأن ذرات الكربون فيها ترتبط معاً. ولكن هناك أنواعاً أخرى من الألكانات تحتوي على تفرّعات مرتبطة بالسلسلة المستمرة كما في الشكل (7/ أ، ب) الذي يُمثّل صيغاً بنائية للصيغة الجزيئية  $C_4H_{10}$ ؛ فعند عدّ ذرات الكربون والهيدروجين سأكتشف أنّ لكلّ منهما الصيغة الجزيئية نفسها؛ فهل هما مادةٌ واحدةٌ أم مادّتان مختلفتان؟

تُمثّل الصيغة في الشكل (7/ ب) البيوتان؛ بينما تُمثّل الصيغة في الشكل (7/ أ) ألكاناً مُتفرّعاً، وهي مادة ذات خصائص كيميائية وفيزيائية مختلفة تماماً عن البيوتان. تُسمّى التفرّعات المتصلة بالسلسلة الأكثر طولاً **بمجموعات الألكيل Alkyl Group**؛ لأنّها مشتقة من الألكانات الأصلية بحذف ذرة هيدروجين واحدة، فتكون الصيغة العامة لها  $(C_nH_{2n+1})$ ، وتُسمّى بتغيير المقطع (ان) من اسم الألكان إلى المقطع (يل)، ويُرمز إليها بالرمز R، والجدول (2) الآتي يُمثّل أهمّ التفرّعات وتسميتها.

الجدول (2): أهمّ التفرّعات وتسميتها.

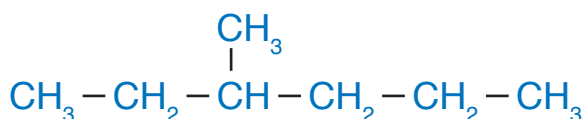
اسم التفرّع	الصيغة الجزيئية للتفرّع	الصيغة البنائية للتفرّع	اسم الألكان	الصيغة البنائية للألكان
ميثيل methyl	$CH_3-$	$CH_3-$	ميثان	$CH_4$
إيثيل ethyl	$C_2H_5-$	$CH_3CH_2-$	إيثان	$CH_3CH_3$
بروبيل propyl	$C_3H_7-$	$CH_3CH_2CH_2-$	بروبان	$CH_3CH_2CH_3$

تسمى الألكانات المُتفرّعة باستخدام القواعد الآتية التي وضعها  
الاتّحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية IUPAC، واستخدمها  
الكيميائيون في تسمية المُركّبات العضوية:

- 1- أُحدّد أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون وأسمّيها باسم الألكان  
المقابل في الجدول (1).
- 2- أُرَقِّم ذرات الكربون في السلسلة الرئيسة مبتدئاً من طرف السلسلة  
الأقرب إلى التفرع؛ بحيث تعطى هذه التفرّعات أقلّ الأرقام المُمكنة.
- 3- أُسمّي كُلّ تفرّع وأضع اسم التفرّع قبل اسم السلسلة الرئيسة.
- 4- أكتب أرقام التفرّعات قبل اسم التفرّع؛ بحيث يُفصل بين الرقم والاسم  
بشرطة (-)، وعندما تكون التفرّعات متشابهةً أستخدم البادئات  
(ثنائيّ، ثلاثيّ، رباعيّ)، وأفصل بين أرقامها بفاصلة (،) وإذا كانت  
التفرّعات مختلفة؛ فإنّها تُكتب في الاسم حسب الترتيب الهجائي  
باللغة الإنجليزية، ولا أراعي البادئات عند الترتيب الهجائي.
- 5- أكتب اسم المُركّب كاملاً.

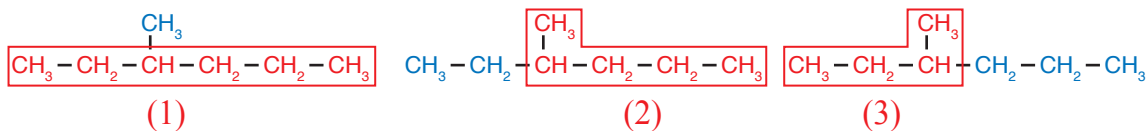
## المثال 1

أُسمّي المُركّب الآتي وفق نظام التسمية العالمي (IUPAC).



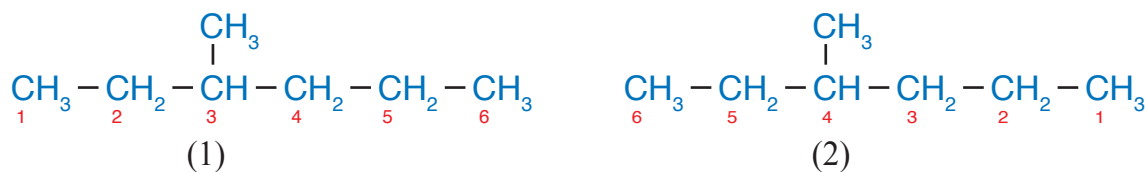
الحل:

- 1 - أُحدّد أطول سلسلة مُستمرّة من ذرات الكربون وأسمّيها.



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

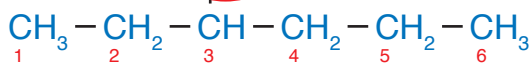
- 2 - أُرَقِّم ذرات الكربون في السلسلة الأطول كما يأتي:





أختارُ الشكل رقم (1)؛ لأنه يعطي أقل الأرقام لمجموعة الميثيل؛ فحسب نظام التسمية العالمي يجب أن أبدأ ترقيم ذرات الكربون في السلسلة الأكثر طولاً من الطرف الأقرب للتفرُّع؛ لأن رقم مجموعة الميثيل فيه هو 3 وليس 4.

3- أُسمِّي كل تفرُّع وأضع اسم التفرُّع قبل اسم السلسلة الرئيسة، وبما أنه لا يوجد سوى تفرُّع واحد هو الميثيل؛ أضع اسمه قبل اسم الألكان، فيصبح ميثيل هكسان.



4- أكتبُ رقم التفرُّع واسمه: 3-ميثيل

5- أكتبُ اسم المركب كاملاً فيصبح: 3-ميثيل هكسان، ألاحظُ أن طريقة كتابة اسم المركب يمكن أن تكون على الصيغة العامة: رقم التفرُّع - اسم التفرُّع اسم الألكان.

## المثال 2

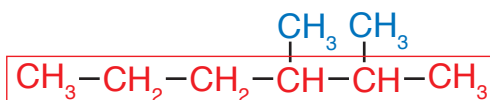
أسمِّي المركب الآتي وفق نظام التسمية العالمي (IUPAC).

$$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH} - \text{CH}_3$$

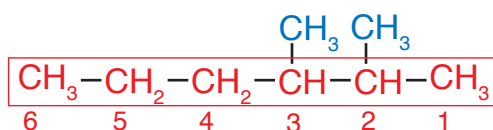
$\text{CH}_3$   $\text{CH}_3$

الحل:

1- أحددُ أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون وأسميها. ألاحظُ أن السلسلة الأكثر طولاً تحتوي على ست ذرات كربون؛ فيصبح اسمه هكسان.

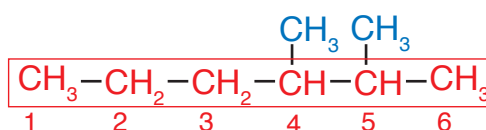


2- أرقم ذرات الكربون في السلسلة الرئيسة مبتدئاً من طرف السلسلة الذي يُعطي هذه التفرُّعات أقل مجموع أرقام ممكنة، وأختارُ الشكل (1) وليس (2)؛ لأن مجموع أرقام التفرُّعات فيه  $2 + 3 = 5$  بينما في الشكل (2)  $4 + 5 = 9$



1

$$2 + 3 = 5$$



2

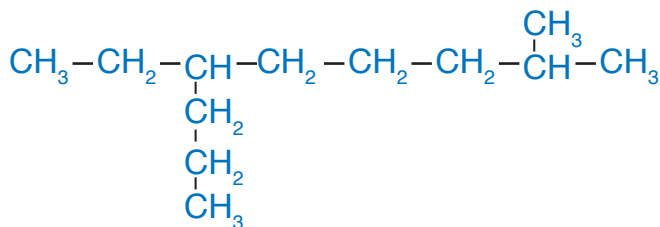
$$4 + 5 = 9$$

3 - أَسْمِي كُلَّ تَفْرُعٍ وَأَضَعُ اسْمَ التَّفْرُعِ قَبْلَ اسْمِ السَّلْسَلَةِ الرَّئِيسَةِ، فَيَصْبِحُ الاسْمُ مِثِيلَ هَكَسَانَ.

4 - أَكْتُبُ أَرْقَامَ التَّفْرُعَاتِ قَبْلَ اسْمِ التَّفْرُعِ؛ بَحَيْثُ يُفْصَلُ بَيْنَ الرِّقْمِ وَالاسْمِ بِشَرْطَةِ (-)، وَعِنْدَمَا تَكُونُ التَّفْرُعَاتُ مُتَشَابِهَةً أَسْتَحْدِمُ الْبَادِئَاتِ (ثَنَائِيٌّ، ثَلَاثِيٌّ، رِبَاعِيٌّ)، وَأَفْصَلُ بَيْنَ أَرْقَامِهَا بِفَاصِلَةِ (،)، وَإِذَا كَانَتِ التَّفْرُعَاتُ مُخْتَلِفَةً فَإِنَّهَا تَكْتُبُ فِي الاسْمِ حَسَبَ التَّرْتِيبِ الْهَجَائِيِّ بِاللُّغَةِ الْإِنْجَلِيزِيَّةِ وَلَا يُلْتَفَتُ إِلَى الْبَادِئَاتِ عِنْدَ التَّرْتِيبِ الْهَجَائِيِّ، وَفِي هَذَا الْمِثَالِ تُوجَدُ مَجْمُوعَتَا مِثِيلِ تَقْعَانَ عَلَى ذَرَّتِي الْكَرْبُونِ رَقْمِ 2 وَرَقْمِ 3؛ فَأَسْتَحْدِمُ الْبَادِئَةَ (ثَنَائِيٌّ) قَبْلَ مِثِيلِ بَدَلًا مِنْ تَكَرُّارِ كَلِمَةِ مِثِيلِ، وَأَضَعُ أَرْقَامَ مَجْمُوعَتِي الْمِثِيلِ قَبْلَ ثَنَائِيٍّ وَأَفْصَلُ بَيْنَ الْأَرْقَامِ بِفَاصِلَةِ (،) وَبَيْنَ الْأَرْقَامِ وَالاسْمِ بِشَرْطَةِ كَمَا يَأْتِي 2، 3- ثَنَائِيٌّ مِثِيلِ.

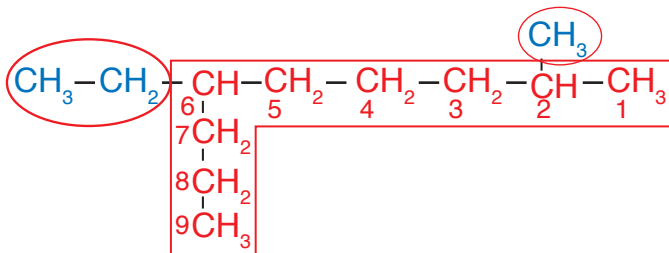
5 - أَكْتُبُ اسْمَ الْمُرَكَّبِ كَامِلًا فَيَصْبِحُ الاسْمُ 2، 3- ثَنَائِيٌّ مِثِيلِ هَكَسَانَ.

### المثال 3



أَسْمِي الْمُرَكَّبِ الْآتِي وَفَقَّ نِظَامَ التَّسْمِيَةِ الْعَالَمِيِّ (IUPAC)

الحل:



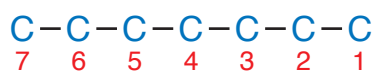
1 - أَحَدُّ أَطْوَلَ سَلْسَلَةَ مُسْتَمِرَّةٍ مِنْ ذَرَاتِ الْكَرْبُونِ، وَأَرْقَمُهَا مِنَ الْجِهَةِ الْأَقْرَبِ لِأَوَّلِ تَفْرُعٍ.

2 - أُعْطِيَ أَرْقَامًا وَأَسْمَاءً لِلتَّفْرُعَاتِ، حَيْثُ يَقَعُ التَّفْرُعُ الْأَوَّلُ عَلَى ذَرَّةِ الْكَرْبُونِ رَقْمِ 2؛ وَيَقَعُ التَّفْرُعُ الثَّانِي عَلَى ذَرَّةِ الْكَرْبُونِ رَقْمِ 6، وَبِمَا أَنَّ التَّفْرُعَيْنِ غَيْرِ مُتَشَابِهَيْنِ (مِثِيلِ وَإِيثِيلِ)، وَاعْتِمَادًا عَلَى اللُّغَةِ الْإِنْجَلِيزِيَّةِ؛ فَإِنَّ إِيثِيلَ تَسْبِقُ مِثِيلَ، لِذَلِكَ فَإِنَّ 6- إِيثِيلَ سَتَكْتُبُ قَبْلَ 2-مِثِيلَ فِي الْاسْمِ؛ فَيَصْبِحُ عَلَى النِّحْوِ الْآتِي: 6- إِيثِيلَ -2- مِثِيلَ.

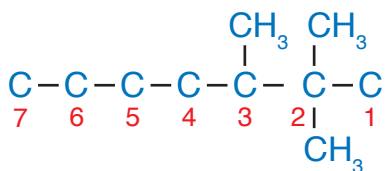
3 - أَكْتُبُ فِي نِهَائِهِ الْأَلْكَانَ الْاسْمَ الَّذِي يُمَثِّلُ السَّلْسَلَةَ الْأَكْثَرَ طَوِيلًا وَهُوَ نُونَانَ، فَيَصْبِحُ اسْمُ هَذَا الْمُرَكَّبِ هُوَ 6- إِيثِيلَ -2- مِثِيلَ نُونَانَ.

أكتب الصيغة البنائية للمركب 2،2،3- ثلاثي ميثيل هبتان

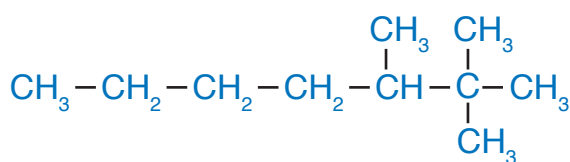
الحل



1- أرسم سلسلة مستمرة من ذرات الكربون مكوّنة من 7 ذرات كربون تمثل اسم الألكان وأرقمها كما في الشكل:



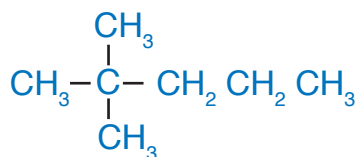
2- أضع مجموعتي ميثيل على ذرة الكربون رقم 2 والمجموعة الثالثة على ذرة الكربون رقم 3 كما في الشكل:



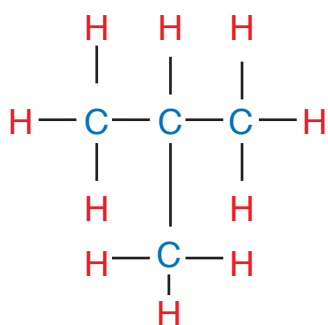
3- أضيف ذرات الهيدروجين إلى ذرات الكربون، بحيث تُكوّن كل ذرة كربون أربع روابط مع ذرات الهيدروجين؛ فيصبح الشكل النهائي:

✓ أتحمق:

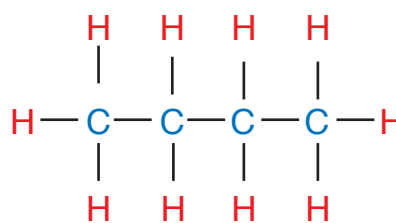
1- أسمي المركب الآتي:



2- أرسم الصيغة البنائية للمركب: 3- إيثيل هبتان



الشكل (8 / ب) 2-ميثيل بروبان



الشكل (8 / أ) بيوتان

### المتصاوغاتُ Isomers

هناك مُركّبات عضوية عدّة تشترك في صيغتها الجزيئية؛ ولكنها تختلف في صيغتها البنائية، ويُطلقُ على وجود صيغ بنائية مختلفة لنفس الصيغة الجزيئية اسم **التصاوغ Isomerism**، وتُسمى الصيغ البنائية الناتجة **متصاوغات Isomers**.

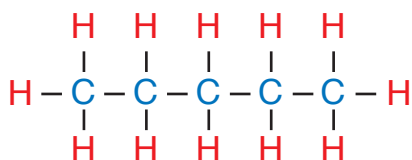
### المتصاوغاتُ البنائية Structural Isomers

تترتبُ ذرّاتُ الكربون في الألكانات بطرائق مختلفة، وينتج عن ذلك مُركّبات مختلفة في صيغتها البنائية؛ ولكنها تشترك في الصيغة الجزيئية ولها خصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة، تُسمى **متصاوغاتُ بنائية Structural Isomers**. مثلاً؛ ذرات الكربون في الصيغة الجزيئية  $C_4H_{10}$  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.

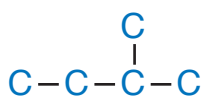
أرسم متصاوغات الصيغة الجزيئية  $C_5H_{12}$  وأسمي كلًا منها.

الحل:

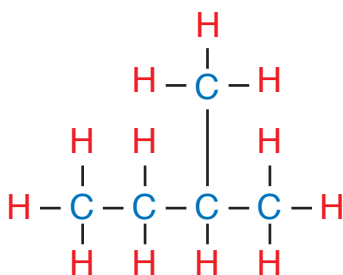
1- أرسم خمس ذرات كربون في سلسلة مستمرة  $C-C-C-C-C$



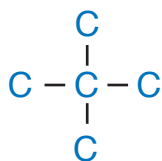
2- أوزع ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون؛ بحيث تكون كل ذرة كربون أربع روابط تساهمية أحادية كما في الشكل المجاور، ويكون الاسم بتتان.



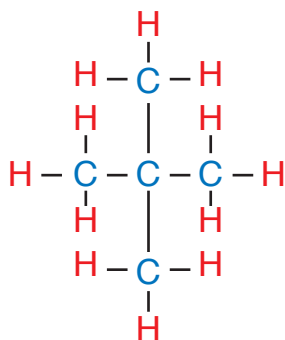
3- أرسم أربع ذرات كربون في سلسلة مستمرة، وأربط ذرة الكربون الخامسة على إحدى ذرتي الكربون في داخل المركب وليس على الأطراف كما في الشكل المجاور.



4- أوزع ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون؛ بحيث تكون كل ذرة كربون أربع روابط تساهمية أحادية كما في الشكل المجاور، ويكون الاسم 2-ميثيل بيوتان.



5- أرسم ثلاث ذرات كربون في سلسلة مستمرة، وأربط ذرتي الكربون المتبقيتين مع ذرة الكربون الثانية في السلسلة كما في الشكل المجاور.



6- أوزع ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون؛ بحيث تكون كل ذرة كربون أربع روابط تساهمية أحادية كما في الشكل المجاور، ويكون الاسم 2،2-ثنائي ميثيل بروبان (ويمكن اختصار الاسم في هذه الحالة إلى ثنائي ميثيل بروبان؛ لأن التفرع سيكون على ذرة الكربون الثانية).

✓ **أنحَقِّقْ:** أرسم متصاوغات الصيغة الجزيئية للهكسان  $C_6H_{14}$  وأسميها.



# التجربة 1

## تحضير غاز الميثان في المختبر

### المواد والأدوات:

إيثانوات الصوديوم اللامائية الجافة  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ، هيدروكسيد الصوديوم  $\text{NaOH}$  الصلب، أكسيد الكالسيوم  $\text{CaO}$ ، سدادة مطاطية مثقوبة من المنتصف، أنبوب اختبار، أنبوب زجاجي، لهب بنسن، حامل فلزي، ميزان، ملعقة، ورق نشاف، ماء، كأس زجاجية طويلة، حوض زجاجي.

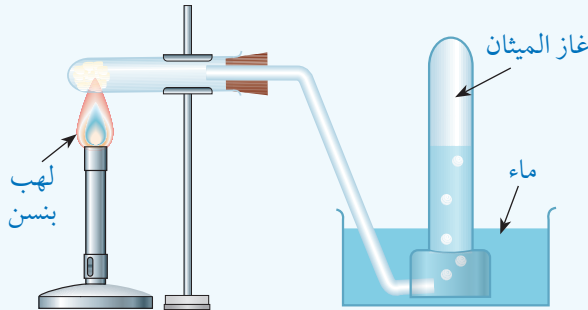
### إرشادات السلامة:

- اتَّبِعْ إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتدي المعطف والنظارات الواقية والقفازات.
- أحذر غاز الميثان سريع الإشتعال.

### خطوات العمل:

1- **أقيس:** أضع ورقة نشاف على الميزان؛ ثم أزن 10 g من إيثانوات الصوديوم اللامائية الجافة، وأضع هذه الكمية في أنبوب الاختبار.

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



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

4- **ألاحظ:** أشعل لهب بنسن تحت أنبوب الاختبار كما في الشكل مع تحريك اللهب على طول أنبوب الاختبار لتوزيع الحرارة على جميع الخليط. وألاحظ ظهور فقاعات غازية في الكأس الزجاجية، وأسجل ملاحظاتي.

5- **ألاحظ:** تغيّر مستوى الماء داخل الكأس الزجاجية الطويلة، وأسجل ملاحظاتي.

### التحليل والاستنتاج:

- 1- **أفسّر** تغيّر مستوى الماء في الكأس الزجاجية الطويلة.
- 2- **أتوقع** نوع الغاز الناتج من التفاعل.

الألكان	الصيغة الجزيئية	درجة الغليان	الحالة الفيزيائية
ميثان	CH <sub>4</sub>	-162	غاز
إيثان	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-88	غاز
بروبان	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-42	غاز
بيوتان	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-0.5	غاز
بنتان	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	36	سائل
ديكان	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	174.1	سائل

## الخصائص الفيزيائية والكيميائية للألكانات


### Physical and Chemical Properties of Alkanes

#### الخصائص الفيزيائية Physical Properties

تتميز الألكانات بأنها مركبات غير قطبية تتجاذب جزئياً بقوى لندن، ويعود ذلك إلى أن الفرق في السالبية الكهربية بين الكربون والهيدروجين قليل جداً، لذلك لا تذوب الألكانات في الماء وإنما تذوب في بعضها بعضاً وفي المركبات غير القطبية الأخرى. الجدول (3) يمثل الخصائص الفيزيائية لبعض الألكانات.

يتضح من الجدول أن الحالة الفيزيائية للألكانات تعتمد على زيادة عدد ذرات الكربون في المركب (الكتلة المولية)، حيث تكون الألكانات الأربعة الأولى غازية؛ بينما تصبح سائلة من البنتان إلى الألكان الذي يحتوي على 16 ذرة كربون، وبعد ذلك تصبح صلبة للألكانات التي تحتوي على أكثر من ذلك من ذرات الكربون، كما ألاحظ أن درجة الغليان تزداد بزيادة الكتلة المولية للألكان؛ وذلك بسبب زيادة قوى لندن.

أفسر: درجة غليان البيوتان أعلى من درجة غليان البروبان.



**الربط بالحياة**

تستخدم الألكانات التي تحتوي على 17 ذرة كربون أو أكثر كمواضع تشحيم ومضادات للتآكل؛ فلا يستطيع الماء الوصول إلى سطح الفلز نظراً لكثافتها ولزوجتها، فهي مثالية لهذا الاستخدام، كما تستخدم الألكانات التي تحتوي على سلاسل كربون تحتوي على 20 إلى 40 ذرة كربون في صناعة شمع البرافين.

## الخصائص الكيميائية Chemical Properties

تتميز الألكانات بأنها مستقرة كيميائياً نسبياً، ويعود ذلك إلى قوة الروابط الأحادية بين ذرات الكربون في ما بينها وبين ذرات الكربون والهيدروجين، ويحتاج كسر هذه الروابط إلى طاقة كبيرة ومن أهم تفاعلات الألكانات:

### الاحتراق Combustion

تحترق الألكانات بوجود كمية كافية من الأكسجين، وينتج عن هذه العملية غاز ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، وكمية كبيرة من الطاقة، كما في المعادلتين الآتيتين:



### الهجنة Halogenation

تتفاعل الألكانات مع الهالوجينات بوجود الضوء بوصفه عاملاً مساعداً؛ حيث تحل في ذرة هالوجين أو أكثر محل ذرة هيدروجين أو أكثر، ويُسمى تفاعل الهجنة **Halogenation**، وينتج عن هذا التفاعل إحدى مشتقات المركبات الهيدروكربونية وهي هاليدات الألكيل التي سادرسها في الوحدة القادمة. توضح المعادلتين الآتيتين تفاعل الهجنة:



✓ **أتحقق:**

- 1- أكتب معادلةً موزونةً لإحتراق البنتن مع الأكسجين.
- 2- أكتب معادلةً تفاعل الكلور مع الإيثان.



أستخدم برنامج Movie Maker وأعدُّ فيلمًا يُمثل أنواع المركبات الهيدروكربونية، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.



**أبحث:** تُستخدم الألكانات بشكل رئيس كوقود في السيارات، أرجع إلى مواقع إلكترونية مناسبة عبر شبكة الإنترنت، وأبحث عن سبب تسمية الألكان المستخدم كوقود في السيارات أوكتان 90 وأوكتان 95، وأكتب تقريراً أو أصمم عرضاً تقديمياً حول الموضوع، وأناقشه مع زملائي/ زميلاتي في الصف.

### التطبيقات الاقتصادية للألكانات

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



## مراجعة الدرس

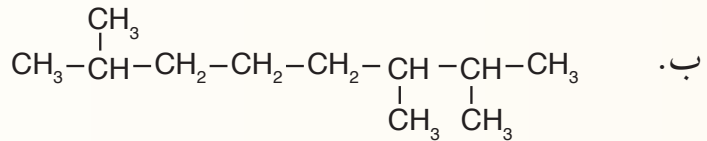
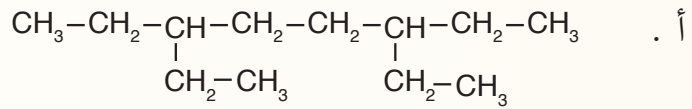
1 - الفكرة الرئيسية: **أفسر** سبب تسمية الألكانات مُركّبات هيدروكربونية مشبعة.

2 - أوضّح المقصود بكلّ من:

• المُركّبات الهيدروكربونية      • التصاوغ

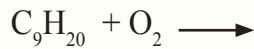
3 - أرسم صيغة بنائية للمُركّب 2 ، 2- ثنائي ميثيل هكسان

4 - أسَمّي المُركّبات الآتية وفق نظام التسمية العالمي IUPAC



5 - أرسم المتصاوغات البنائية للهبتان  $\text{C}_7\text{H}_{16}$  ، وأسَمّي كلّاً منها.

6 - أكمل المعادلات الآتية وأوازنها:



7 - **أفسر**: درجة غليان الهبتان  $\text{C}_7\text{H}_{16}$  أعلى من درجة غليان البنتان  $\text{C}_5\text{H}_{12}$

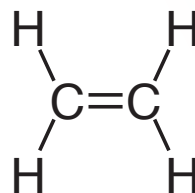
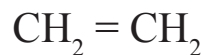
## المركبات الهيدروكربونية غير المشبعة

### Unsaturated Hydrocarbons

تحتوي كثير من المركبات الهيدروكربونية على رابطة ثنائية أو رابطة ثلاثية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين تُسمى المركبات الهيدروكربونية غير المشبعة **Unsaturated Hydrocarbons**، وتُعرف بأنها المركبات التي لا تحتوي على الكمية القصوى من ذرات الهيدروجين، ولا ترتبط ذرات الكربون جميعها فيها بأربع روابط تساهمية أحادية، وسوف أتعرف -في هذا الدرس- أنواع هذه المركبات وخصائصها.

### الألكينات Alkenes

تتميز الألكينات **Alkenes** باحتوائها على رابطة تساهمية ثنائية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين؛ إحداهما رابطة  $\sigma$  والأخرى  $\pi$ ، وبسبب وجود هذه الرابطة الثنائية؛ فإن عدد ذرات الهيدروجين سيقل بمقدار ذرتين عن الألكان المقابل لها في السلسلة المفتوحة، وتكون الصيغة العامة لها  $C_nH_{2n}$ . يُعدُّ الإيثين  $C_2H_4$  أصغر الألكينات، وترتبط فيه ذرتا الكربون برابطة ثنائية، وترتبط كل ذرة بذرتي هيدروجين كما في الشكل (9).



الشكل (9): جزيء الإيثين.

### الفكرة الرئيسة:

تتكوّن المركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة من الكربون والهيدروجين، وترتبط فيها ذرات الكربون برابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين.

### نتائج التعلّم:

- أتعرف الألكينات والألكينات وأسميها.
- أُميّز الخصائص الفيزيائية والكيميائية للألكينات والألكينات.
- أتعرف المركّبات الأروماتية (العطرية) وخصائصها.

### المفاهيم والمصطلحات:

المركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة  
Unsaturated Hydrocarbons

Alkene ألكين

Alkyne ألكاين

المركّبات الأروماتية

Aromatic Compounds

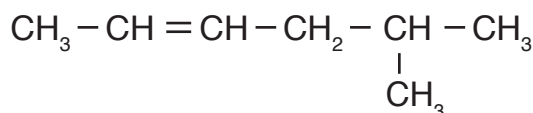


## تسمية الألكينات Nomenclature of Alkenes

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

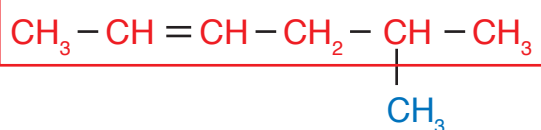
- 1- أُحدّد السلسلة المستمرة الأطول التي تحتوي على الرابطة الثنائية.
- 2- أُرَقِّم هذه السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثنائية.
- 3- أُسمّي السلسلة الأطول باسم الألكان المقابل، مع استبدال المقطع (ين) بالمقطع (ان) بحيث يسبق الاسم رقم ذرة الكربون الأقل في الرابطة الثنائية.
- 4- أُرَقِّم مجموعات الألكيل المتفرّعة، وأسمّيها بطريقة الألكانات نفسها.
- 5- أكتب اسم المركّب كاملاً.

### المثال 6

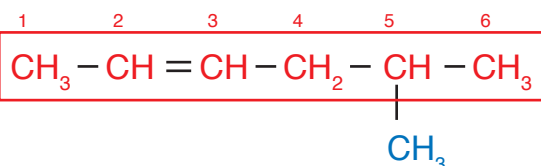


أسمّي الألكين الآتي

الحل:



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



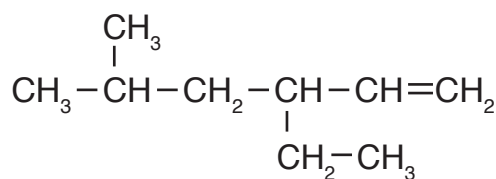
2- أُرَقِّم هذه السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثنائية.

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

4- أُرَقِّم مجموعات الألكيل المتفرّعة وأسمّيها بطريقة الألكانات ذاتها؛ وذلك بوضع اسم التفرّعات وأرقامها قبل اسم الألكين، في هذا المثال توجد مجموعة ميثيل تقع على ذرة الكربون رقم 5 فيصبح الاسم 5-ميثيل

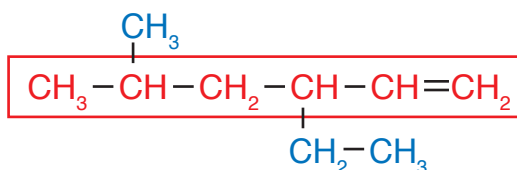
5- أكتب اسم المركّب كاملاً؛ فيصبح الاسم النهائي للمركّب 5-ميثيل-2-هكسين

أسمي الألكين الآتي

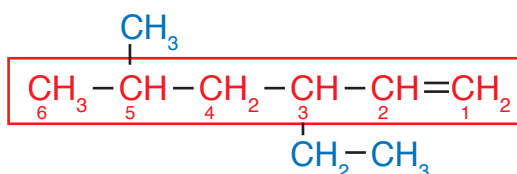


الحل:

1 - أحدد أطول سلسلة مستمرة من ذرات الكربون تحتوي على الرابطة الثنائية:



2 أرقم هذه السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثنائية:



3 - أسمي السلسلة الأكثر طولاً باسم الألكان المقابل مع استبدال المقطع (ين) بالمقطع (ان)،

يسبق الاسم رقم ذرة الكربون الأقل في الرابطة الثنائية فيصبح 1- هكسين

4 - أرقم مجموعات الألكيل المتفرعة وأسميها بنفس طريقة الألكانات؛ وذلك بوضع اسم التفرعات وأرقامها قبل اسم الألكين.

في هذا المثال نبدأ بالإيثيل؛ لأنها تسبق أبجدياً حسب اللغة الإنجليزية، ومن ثم الميثيل فتصبح:

3- إيثيل - 5- ميثيل

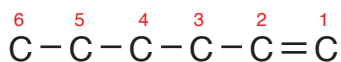
5 - أكتب اسم المركب كاملاً؛ فيصبح اسم الألكين: 3- إيثيل - 5- ميثيل - 1- هكسين

## المثال 8

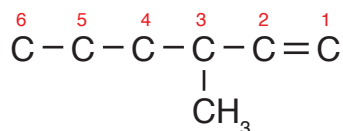
أرسم الصيغة البنائية للمركب 3-ميثيل-1-هكسين

الحل:

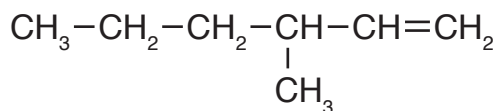
1- أرسم السلسلة المستمرة التي تمثل الهكسين المحتوي على 6 ذرات كربون، وأرقمها بحيث تكون الرابطة الثنائية على ذرة الكربون رقم (1)



2- أضع مجموعة الميثيل على ذرة الكربون رقم (3)

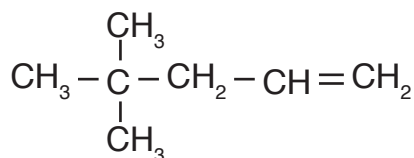


3- أضيف ذرات الهيدروجين على ذرات الكربون، بحيث تُكوّن كل ذرة كربون 4 روابط؛ فيصبح الشكل النهائي:



✓ أتحقّق:

1- أسمّي المركب العضوي الآتي وفق نظام التسمية العالمي IUPAC



2- أرسم الصيغة البنائية للمركب: 5، 5-ثنائي ميثيل-3-هبتين

الألكين	الصيغة البنائية	درجة الغليان	الحالة الفيزيائية
إيثين	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	-104	غاز
بروبين	$\text{CH}_3\text{CH} = \text{CH}_2$	-47	غاز
1- بيوتين	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH} = \text{CH}_2$	-6	غاز
1- بنتين	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH} = \text{CH}_2$	30	سائل
1- ديكين	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH} = \text{CH}_2$	171	سائل

## الخصائص الفيزيائية والكيميائية للألكينات

### Physical and Chemical Properties of Alkenes

#### الخصائص الفيزيائية Physical Properties

تشابه الألكينات في خصائصها الفيزيائية مع الألكانات؛ فهي مواد غير قطبية لا تذوب في الماء ولها درجات غليان منخفضة، ويبيّن الجدول (4) بعض الألكينات وخصائصها الفيزيائية.

يتضح من الجدول أن درجة غليان الألكين تزداد بزيادة عدد ذرات الكربون (الكتلة المولية للمركّب)، وأن الحالة الفيزيائية للألكينات الثلاثة الأولى غازية، 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 Chemical Properties

تتميز الألكينات بأنها أنشط كيميائياً من الألكانات، ويعود ذلك إلى وجود الرابطة الثنائية التي تحتوي على رابطة باي  $\pi$  الضعيفة؛ إذ يسهل كسرها، فهي تُشكّل مركز النشاط الكيميائي للمركّب، الذي يُحدّد الخصائص الكيميائية، وسأتعرف في ما يأتي بعضاً منها.

#### تفاعل الاحتراق Combustion Reaction

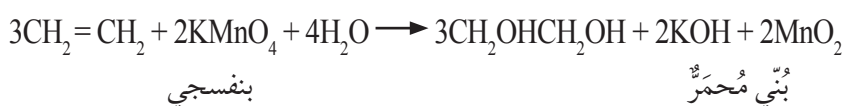
تتفاعل الألكينات مع كمية كافية من الأكسجين، وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، وكمية من الطاقة الحرارية.



#### أكسدة الألكينات Oxidation of Alkenes

تتأكسد الألكينات باستخدام محلول بيرمنغنات البوتاسيوم  $\text{KMnO}_4$

البارد ذي اللون البنفسجي، فتتكسر الرابطة الثنائية وينتج مُركَّب عضوي عديم اللون يحتوي على مجموعتي هيدروكسيل OH، ويتكون راسبٌ بُنيٌ مُحمَّرٌ من أكسيد المنغنيز (IV)  $MnO_2$ ، كما في المعادلة الآتية:



يستخدم هذا التفاعل في التمييز بين الألكينات والألكانات؛ فعند تفاعل الألكين مع محلول بيرمنغنات البوتاسيوم  $KMnO_4$ ؛ يختفي لون المحلول البنفسجي، ويتكون الراسب البني المُحمَّر لأكسيد المنغنيز (IV)  $MnO_2$ ، بينما لا يتفاعل الألكان مع المحلول، ويبقى اللون البنفسجي ولا يتكون الراسب البني المُحمَّر.

## التجربة 1

### أكسدة الألكينات باستخدام بيرمنغنات البوتاسيوم

#### المواد والأدوات:

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

#### ارشادات السلامة:

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

#### خطوات العمل:

- 1- **أقيسْ** باستخدام الماصة 1 mL من الماء المقطر وأضعُها في أنبوب الاختبار وأرقمه (1).
- 2- أضيفْ 5-7 نقاط من الهكسان باستخدام

القطارة إلى الماء في الأنبوب رقم (1).  
 3- **ألاحظْ:** أضيف 5 قطرات من كل من محلول  
 بيرمنغنات البوتاسيوم ومحلول هيدروكسيد  
 البوتاسيوم إلى الأنبوب (1)، وأستمِرْ في الرجِّ  
 مدة 1 min، أسجل ملاحظاتي.

4- **أطبّق:** أكرّر الخطوات السابقة (1-3) باستخدام  
 2- هكسين في الأنبوب الثاني وأرقمه (2)،  
 وأسجل ملاحظاتي.

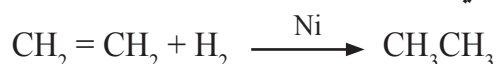
#### التحليل والاستنتاج

- 1- أحددُ الأنبوب الذي يتكون فيه الراسب البنيُّ المُحمَّر.
- 2- **أفسّر** اختفاء اللون البنفسجي وتكوين الراسب البنيُّ المُحمَّر.



## تفاعلات الإضافة Addition Reactions

تحدث تفاعلات الإضافة عندما ترتبط ذرات أخرى مع ذرتي الكربون المكوّنة للرابطة الثنائية في الألكين، وينتج عن ذلك مركّب مُشبع، حيث تُكسر الرابطة  $\pi$  في الألكين ويحل محلّها رابطتان من النوع سيجما، فمثلاً؛ 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:



✓ **أتحقّق:** أكتب معادلة تفاعل البروبين مع الهيدروجين بوجود النيكل كعامل مساعد، وأسمّي المركّب الناتج.

## الألكينات Alkynes

**الألكينات Alkynes** إحدى أنواع المركّبات الهيدروكربونية التي تتميز بأنها تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين، ولها الصيغة العامة  $C_nH_{2n-2}$ ، وينتهي اسمها بالمقطع (اين). يعدّ الإيثاين أصغر الألكينات، وله الصيغة الجزيئية  $C_2H_2$ ، والصيغة البنائية  $HC \equiv CH$ ، ويُعرف أيضاً باسم الاسيتيلين بصفته اسماً شائعاً ويستخدم في قصّ الفلزّات ولحامها. أنظر الشكل (10)، وتستخدم الألكينات بوصفها مُذيبات عضويّة للمواد الكيميائية العضوية الأخرى.



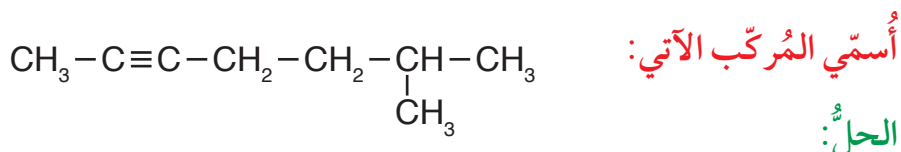
الشكل (10): لحام الفلزّات.

## تسمية الألكينات Nomenclature of Alkynes

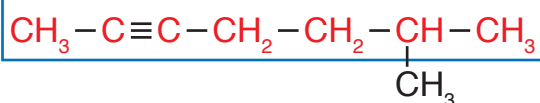
تُسمى الألكينات بطريقة تسمية الألكينات نفسها، ويُشتق اسمها من الألكانات المقابلة باستبدال المقطع (اين) بالمقطع (ان) في سلسلة الألكان المقابلة كما في الخطوات الآتية:

- 1- أُحدّد السلسلة المستمرة الأكثر طولاً التي تحتوي على الرابطة الثلاثية.
- 2- أُرَقِّم السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثلاثية.
- 3- أُسمّي السلسلة الأكثر طولاً باسم الألكان المقابل مع استبدال المقطع (اين) بالمقطع (ان)، بحيث يسبق الاسم رقم ذرة الكربون الأقل في الرابطة الثلاثية.
- 4- أُرَقِّم مجموعات الألكيل المُتفرّعة، وأسمّيها بطريقة الألكانات نفسها.
- 5- أكتب اسم المركّب كاملاً.

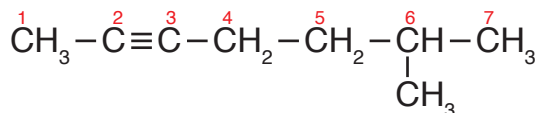
## المثال 9



1 - أُحدّد السلسلة المستمرة الأطول التي تحتوي على الرابطة الثلاثية.



2 - أُرَقِّم 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 الأقل في الرابطة الثلاثية؛ فيصبح اسم الألكين هبتاين.

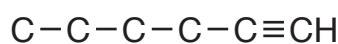
4 - أُرَقِّم مجموعات الألكيل المُتفرّعة، وأسمّيها طريقة الألكانات نفسها، ألاحظ وجود مجموعة ميثيل تقع على ذرة الكربون السادسة؛ فيصبح اسمها 6- ميثيل.

5 - أكتب اسم المركّب كاملاً فيصبح 6- ميثيل -2- هبتاين.

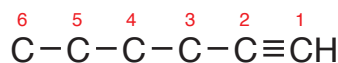
أرسم الصيغة البنائية للألكاين 4- إيثيل -1- هكساين

الحل:

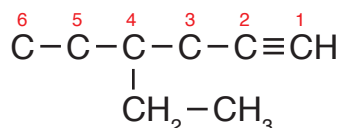
1 - أرسم 6 ذرات كربون تمثل الهكساين، وأضع الرابطة الثلاثية على الذرة الأولى.



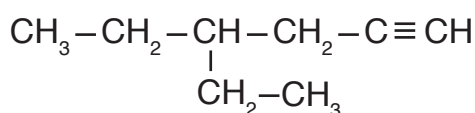
2 - أرقم السلسلة من الطرف الأقرب للرابطة الثلاثية.



3 - أضع مجموعة الإيثيل -CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> على ذرة الكربون رقم 4؛ فيصبح الشكل البنائي.



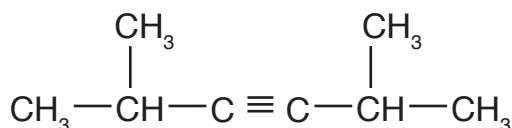
4 - أضع ذرات الهيدروجين على السلسلة؛ بحيث تصبح كل ذرة كربون ترتبط بأربع روابط كما في



الشكل المجاور:

✓ أتتحقق:

1- أسمى المركب الآتي:



2- أرسم الصيغة البنائية للمركب 3، 3- ثنائي ميثيل -1- بنتاين.

الجدول (5): بعض الألكاينات وخصائصها الفيزيائية.

اسم الألكاين	الصيغة البنائية	درجة الغليان	الحالة الفيزيائية
إيثاين	HC≡CH	-84	غاز
بروباين	CH <sub>3</sub> C≡CH	-23	غاز
1- بيوتاين	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> C≡CH	8	غاز
1- بنتاين	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> C≡CH	40	سائل

أستنتج العلاقة بين الكتلة المولية للألكاين ودرجة غليانه.

## الخصائص الفيزيائية والكيميائية للألكاينات

### Physical and Chemical Properties of Alkynes

#### الخصائص الفيزيائية Physical Properties

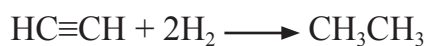
تشابه الألكاينات في خصائصها الفيزيائية مع بقية المركبات الهيدروكربونية؛ فهي غير قطبية ولا تذوب في الماء، وتوجد في الحالات الفيزيائية الثلاث، ويبين الجدول رقم (5) بعض الألكاينات وخصائصها الفيزيائية.

#### الخصائص الكيميائية Chemical Properties

يحتوي الألكاين على رابطتي  $\pi$  الضعيفة سهلة الكسر التي تُشكّل مركزاً للنشاط الكيميائي منه، ومن تفاعلات الألكاينات تفاعل الاحتراق بوجود كمية وفيرة من الأكسجين، وينتج عنه غاز ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، وكمية من الطاقة كما في تفاعل احتراق الإستيلين الآتي:

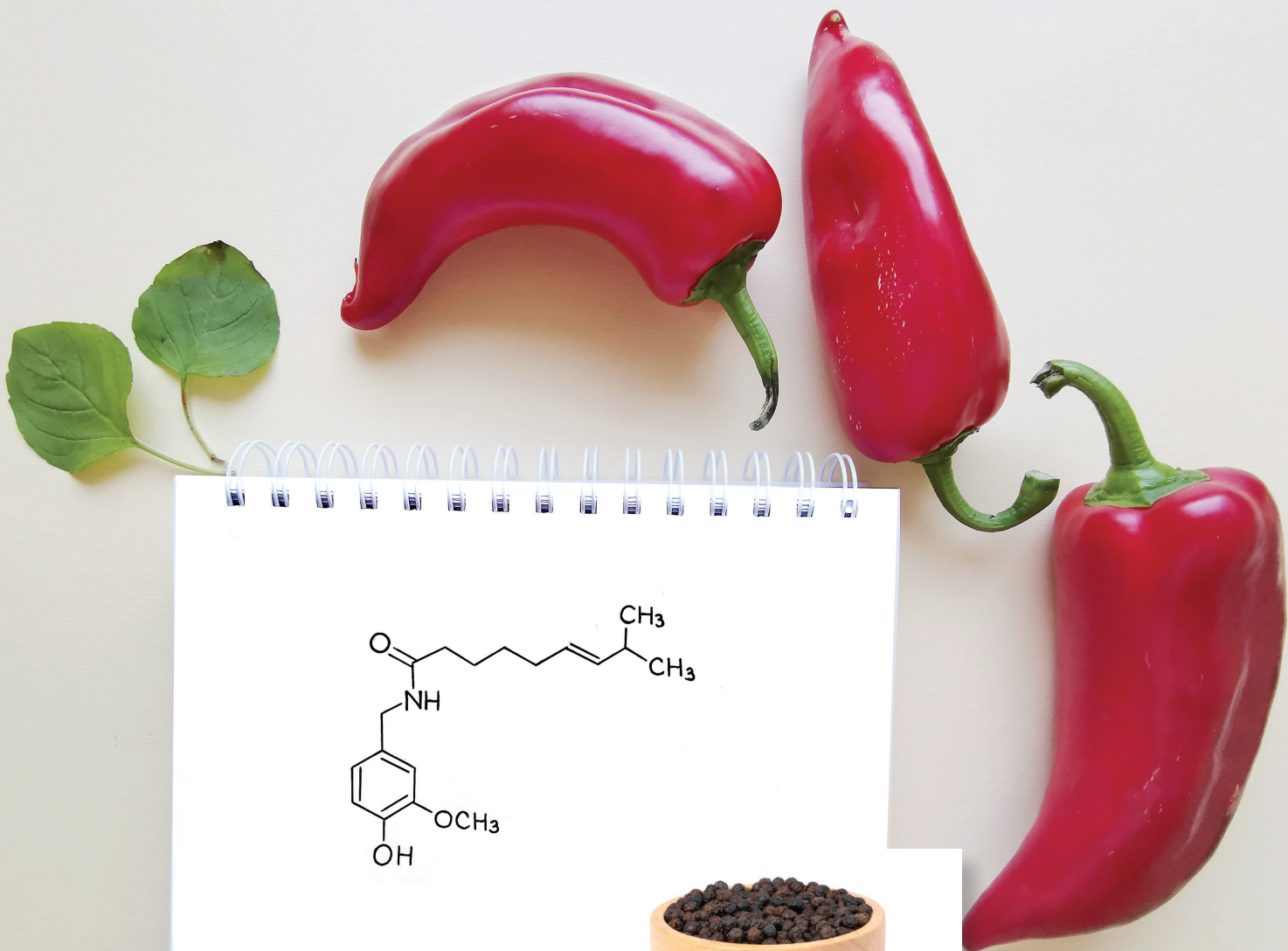


تشبه تفاعلات الألكاينات تفاعلات الألكينات تماماً، فمثلاً؛ يتفاعل الإيثاين مع غاز الهيدروجين مكوناً الإيثان وفق المعادلة الآتية:



**أفكر:** ما الفرق بين تفاعل إضافة الهيدروجين إلى كل من الألكين والألكاين؟





الشكل (11): نبات  
عطري.



## المركبات الأروماتية (مركبات البنزين)

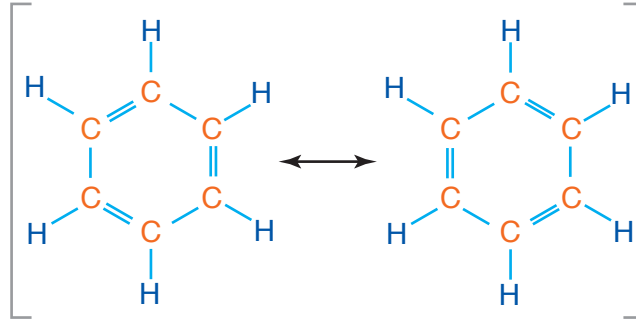
### Aromatic Compounds (Benzen)

يُطلق على المركبات الهيدروكربونية ذات الرائحة المميزة المركبات الأروماتية **Aromatic Compounds**، أو العطرية، والشكل (11) يبين نباتاً عطرياً.

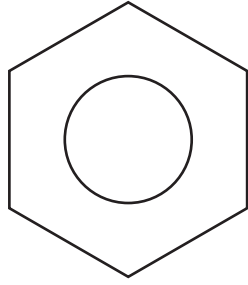
يُعدُّ البنزين أشهر المركبات الأروماتية، حيثُ جرى استخلاصه عام 1825م، بواسطة العالم البريطاني مايكل فارادي من الغازات المنبعثة عند تسخين زيوت الحيتان أو الفحم. وقد وجد الكيميائيون أنَّ الصيغة



الشكل (12):  
الشكل البنائي  
للبنزين.



الجزيئية له  $C_6H_6$ . اقترح العالم فريدريك كيكوله شكلاً بنائياً للبنزين مكوناً من حلقة سداسية من ذرات الكربون تحتوي على 3 روابط أحادية و 3 روابط ثنائية متعاقبة، كما في الشكل (12). لكن هذا الشكل لم يستطع تفسير أن روابط البنزين لها الطول نفسه، وأن نشاطه الكيميائي أقل من النشاط الكيميائي للألكينات، لذلك اقترح كيكوله أن تكون إلكترونات الروابط الثنائية متحركةً تتوزع بانتظام في الحلقة على صورة غيمة من الإلكترونات، وهذا يُفسر تساوي طول الروابط في البنزين وضعف نشاطه الكيميائي؛ فالرابطة الثنائية ليست ثابتةً بين ذرتين، ومثلت الصيغة البنائية للبنزين بحلقة سداسية في داخلها دائرة تشير إلى عدم ثبات الروابط الثنائية في مكان واحد في الحلقة، وحرية حركتها بين الذرات كما في الشكل (13). والمركبات الأروماتية تتكون من حلقة بنزين أو أكثر.



الشكل (13):  
الشكل البنائي لحلقة  
للبنزين.

### الربط بالصناعة

يدخل البنزين بوصفه مذيباً عضوياً في كثير من الصناعات وفي المختبر؛ ومثال ذلك استخدامه في تنظيف قطع آلات الطباعة، بحيث تساعد عملية التنظيف هذه في أن تدوم هذه الآلات مدةً أطول وتعمل بكفاءة أكبر. كما يدخل في صناعة الحبر والأصباغ المستخدمة في عمليات الطباعة، ويدخل أيضاً في صناعة الدهانات؛ لأنه يعمل على بقائها في الحالة السائلة.

## خصائص المركبات الأروماتية

### Properties of Aromatic Compounds

تُعدُّ حلقةُ البنزين حلقةً مستقرة؛ لذلك فإنَّ نشاطها الكيميائي أقلَّ من الألكينات والألكاينات، ويستخدم البنزين بصفته مذيباً عضوياً غير قطبيّ. والبنزين مثل غيره من المركّبات الهيدروكربونية لا يذوب في الماء، ويتميّز بأنه سائل متطاير ذو رائحة مميزة، ودرجة غليانه  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

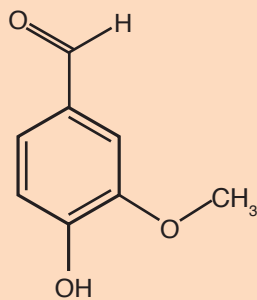
#### الربط بالصحة

شاع استخدام الكثير من المركّبات الأروماتية وبخاصة البنزين، بوصفها مذيّبات صناعية ومُختبرية؛ إلا أنّ الدراسات أظهرت ضرورة الحدّ من استخدام هذه المركّبات؛ لأنها تُؤثّر في صحة الأشخاص المُعرّضين لها بصورة مستمرة، وتشمل مخاطرها أمراض الجهاز التنفسي والكبد والجهاز العصبي وقد تسبب السرطان.

**أبحاث:** يستخدم البنزين ومشتقاته في كثير من الصناعات الكيميائية، أرجع إلى مواقع إلكترونية مناسبة عبر شبكة الإنترنت، وأبحث عن أهمّ الاستخدامات الصناعية للبنزين ومشتقاته، وأكتب تقريراً أو أصمّم عرضاً تقديمياً حول الموضوع، وأناقشهُ زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

#### الربط بالحياة

تتميز المركّبات الأروماتية بأنّها تعطي الرائحة المميزة للبهارات والتوابل، مثل مركّب الفانيلين  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$  الذي يُعطي الرائحة المميّزة لنبات الفانيليا، التي تظهر نبتتها في الشكل.



الصيغة البنائية  
لمركّب الفانيلين.



زهرة نبات الفانيليا.

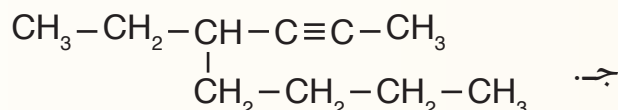
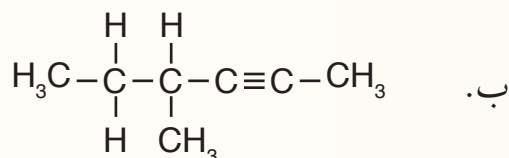
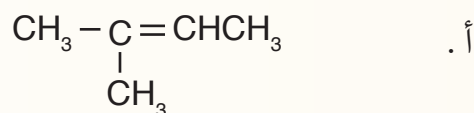
## مراجعةُ الدرس

1 - الفكرة الرئيسة: أفسّر سبب تسمية المُركّبات الهيدروكربونية غير المشبعة.

2 - أوضّح المقصود بالآتي:

● الألكين. ● الألكاين. ● المُركّبات الأروماتية.

3 - أسَمّي المُركّبات الآتية وفق نظام التسمية العالمي IUPAC:



4 - أفسّر: درجة غليان 1- بنتين أكبر من درجة غليان بروبين.

5 - أرسم مُتساوغاتٍ بنائيةً للصيغة الجزيئية  $\text{C}_4\text{H}_8$

6 - أرسم الصيغة البنائية لكل من المُركّبين الآتين:

أ. 4، 4- ثنائي ميثيل -1- بنتين.

ب. 2، 3- ثنائي ميثيل -4- نوناين.

## هرمون الإيثين

### Ethene Hormone

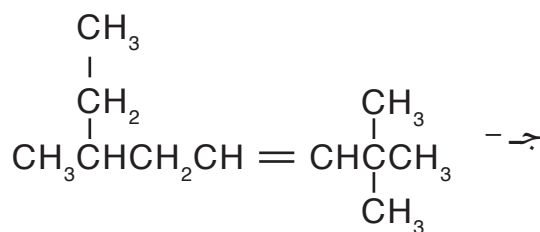
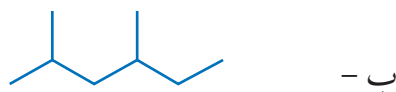
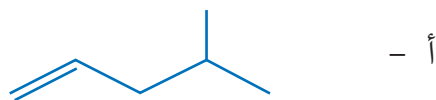
الهرمونات النباتية مُركّبات عضوية تُنتجها النباتات بكميات قليلة، وتعمل على تسريع نموّ النبات، ومن هذه الهرمونات هرمون الإيثين واسمه الشائع (هرمون الإيثلين)؛ وهو هرمون نباتي طبيعي يوجد في الحالة الغازية، بعكس الهرمونات النباتية الأخرى، ويصنّع في الثمار، وله دورٌ في نُضجها، ويستخدم في إنضاج الثمار داخل الغرف المُخصّصة لتخزينها، فحين تُقطف الفواكه قبل نُضجها لإتاحة الوقت لنقلها وطرحها في الأسواق؛ يجري تعريض هذه الثمار إلى مصدر يبعث غاز الإيثين حال وصولها إلى الغرف المُخصّصة للتخزين، ممّا يُعجّل نُضجها لتعرض 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 الإيثين محيطاً فاكهة لم تنضج بعد، فوجوده يُشجع تلك الفاكهة على النضج السريع فتسبق أوانها، وحين تكون ناضجةً يُحفّزها على مزيد من النضج، وبالتالي ستتعتنُّ وتصبح غير صالحةٍ للأكل، ويمكن ملاحظة هذه الظاهرة عند وضع مجموعة مختلفة الأنواع من الفواكه، ومنها التفاح في طبق واحد، حيث نلاحظُ تعتُنُّ هذه الثمار بصورة أسرع بسبب إطلاق التفاح لغاز الإيثين أكثر من غيره من الفواكه الأخرى، لذلك؛ يجبُ عزل التفاح عن هذه الفواكه، ويجبُ أن لا تقلّ المسافة بين الأطباق عن نصف متر في أقلّ تقدير، ولا يقتصر هذا على التفاح؛ بل يشملُ البندورة، والمشمش، والإجاص، والخوخ، وجميعها من بواعث غاز الإيثين.



**أبحاث** يستفاد من هرمون الإيثين في كثير من العمليات الحيوية في النبات. مستعيناً بمصادر المعرفة المُختلفة؛ أبحثُ عن طريقة تحضير هرمون الإيثين في النبات، وأكتبُ تقريراً أو أصمّمُ عرضاً تقديمياً عن الموضوع، وأناقشهُ مع زملائي/ زميلاتي في الصف.

## مراجعة الوحدة

1. أوضِّح المقصودَ بكلِّ من:
  - المُركَّبات الأليفاتية.
  - الهيدروكربونات غير المشبعة.
2. أفسِّر: تتحوَّل الألكانات من الحالة الغازية إلى السائلة إلى الصلبة بزيادة كتلتها المولية.
3. أرسم متساوغات الصيغة الجزيئية  $C_7H_{16}$  وأسمِّها.
4. أكتب الصيغة البنائية لكلِّ من المُركَّبات الآتية:
  - أ - 3- إيثيل هبتان.
  - ب - 2- نونان.
  - ج - 3،3،2- ثلاثي ميثيل -1- هكسين.
5. أسمى المُركَّبات الآتية:



6. أكتب معادلةً موزونة لتفاعل البروبان مع الأوكسجين.
7. **أصف** خواص البنزين التي تجعله مُركَّبًا قليل التفاعل.
8. أحدِّد الخطأ في اسم المُركَّب 2- إيثيل -2- بيوتين.
9. **أرتب** الألكينات الآتية حسب درجة غليانها تصاعدياً:
  - 1- بيوتين
  - 1- هكسين
  - 1- بنتين



10. أختار رمز الإجابة الصحيحة لكل فقرة مما يأتي:

1 ( الصيغة الجزيئية لألكانٍ يحتوي على 12 ذرة كربون هي:



2 ( الصيغة الجزيئية لألكينٍ يحتوي على 14 ذرة كربون هي:



3 ( الصيغة الجزيئية لألكاينٍ يحتوي على 16 ذرة هيدروجين هي:



4 ( أحد المركبات الآتية يُعدُّ من المركبات الأروماتية:

أ - إيثين.      ب - هكسين.

ج - هبتين.      د - بنزين.

5 ( عددُ متصاوغات الهبتان يساوي:

أ - 9      ب - 8

ج - 6      د - 7

6 ( يسمى المركب  $C_6H_{12}$ :

أ - هبتان.      ب - هبتين.

ج - هبتاين.      د - هكسين.

7 ( المركب الذي ليس له متصاوغات هو:

أ - البروبان.      ب - البيوتان.

ج - الهكسين.      د - الهبتان.

# مشتقات المُركّبات الهيدروكربونية

Derivatives Of Hydrocarbons

الوحدة

7

أتأمّل الصورة

تعودُ النكهة الفريدة والرائحة المميزة للبهارات لاحتوائها على مُركّبات عضوية، فما هذه المُركّبات؟ وما صيغها الكيميائية؟ وبماذا تختلف عن المُركّبات الهيدروكربونية؟



## الفكرة العامة:

تُصنّف مشتقات المُركّبات الهيدروكربونية وفق المجموعات الوظيفية التي تُحدّد خصائصها الفيزيائية والكيميائية، وتُصنّف المُبلمرات وفق طريقة تكونها ولكل منها خصائصه واستخداماته.

**الدرس الأول:** هاليدات الألكيل، الكحولات، الإثيرات والأمينات.

**الفكرة الرئيسة:** عندما تحلّ مجموعةً وظيفية محل ذرّة هيدروجين أو أكثر في المُركّبات الهيدروكربونية يتكون مُركّب جديد له خصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة تُميّزه عن غيره من المُركّبات.

**الدرس الثاني:** مُركّبات الكربونيل والحموض الكربوكسيلية ومشتقاتها.

**الفكرة الرئيسة:** تتكوّن مجموعة الكربونيل من ذرّة كربون ترتبط برابطة ثنائية مع ذرّة أكسجين، وتُعدّ مجموعة وظيفية رئيسة في بعض المُركّبات وجزءاً من مجموعات وظيفية في مُركّبات أخرى.

**الدرس الثالث:** المُبلمرات

**الفكرة الرئيسة:** المُبلمرات مُركّبات ضخمة طبيعية أو صناعية، لكل منها أهميته واستخداماته المرتبطة بتركيبه وخصائصه.

# تجربة استهلاكية

## التصاوغ الوظيفي



المواد والأدوات: مجموعة نماذج الذرات (الكرات والوصلات).

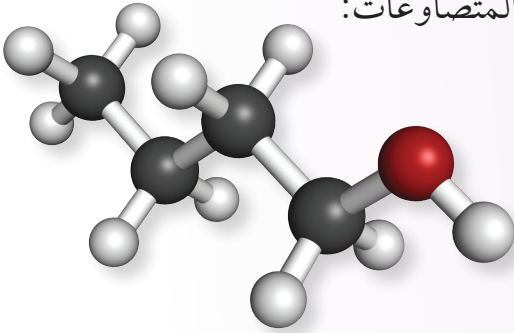
### إرشادات السلامة:

- أتبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.

### خطوات العمل:

1 أختار 4 كرات تحوي كل منها 4 ثقوب تُمثل ذرات الكربون، وكرة واحدة تحوي ثقبين تُمثل ذرة الأكسجين، و 10 كرات تحوي كل منها ثقباً واحداً تُمثل ذرات الهيدروجين.

2 **أجرب:** أصل الكرات معاً بالوصلات بطرائق مختلفة؛ بحيث أحصل على أكبر عدد من المتصاوغات للصيغة الجزيئية  $C_4H_{10}O$ . والشكل الآتي يُمثل أحد هذه المتصاوغات:



3 أرسم صيغاً بنائيةً للمتصاوغات التي حصلت عليها.

### التحليل والاستنتاج:

- 1- أحدد عدد المتصاوغات التي حصلت عليها.
- 2- أصنّف المتصاوغات حسب ارتباط ذرة الأكسجين مع باقي الذرات.
- 3- أتوقع المتصاوغات المتشابهة في خصائصها الفيزيائية والكيميائية، أبرر توقعي.



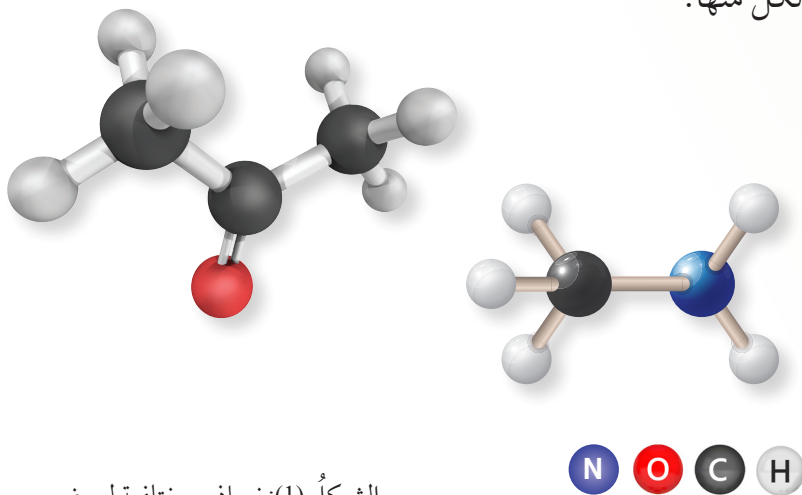
### المجموعات الوظيفية Functional Groups

توجد ملايين المركبات العضوية لكل منها خصائصه الفيزيائية والكيميائية الخاصة به. وقد صُنِّفت هذه المركبات إلى أنواع عدّة اعتماداً على التشابه في تركيبها البنائي؛ إذ وجد أن هناك مجموعة من المركبات العضوية تحوي -بالإضافة للكربون والهيدروجين- ذرّة أو أكثر من عناصر أخرى؛ مثل الأكسجين، أو النيتروجين، أو الهالوجينات، أو الكبريت، أو الفسفور. وسُمّيت هذه المركبات مشتقات المركبات

### الهيدروكربونية Derivatives of Hydrocarbons

إن وجود هذه الذرات وطريقة ترابطها مع الكربون يُكسب المركب خصائص كيميائية محدّدة ومميّزة له.

وقد سُمّيت الذرة، أو مجموعة الذرات، أو الروابط المسؤولة عن الخصائص المميّزة للمركب العضوي التي تُعدُّ مركز النشاط الكيميائي فيه **المجموعة الوظيفية Functional Group**، أنظر الشكل (1). وتشابه المركبات العضوية التي تحتوي على المجموعة الوظيفية نفسها في خصائصها الكيميائية، ويوضّح الجدول (1) تصنيف المركبات العضوية حسب المجموعة الوظيفية المميّزة لكل منها.



الشكل (1): نماذج مختلفة لبعض

المشتقات الهيدروكربونية.

### الفكرة الرئيسة:

عندما تحلُّ مجموعةً وظيفيةً محل ذرّة هيدروجين أو أكثر في المركبات الهيدروكربونية يتكون مركب جديد له خصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة تُميّزه عن غيره من المركبات.

### نتائج التعلم:

- أُميّز بين المركبات العضوية هاليدات الألكيل، والكحولات، والإيثرات والأمينات بناءً على المجموعة الوظيفية المميّزة لها.  
- أُنطبق قواعد التسمية وفق نظام الأيوباك لتسميتها وأكتبُ صيغاً بنائية لها.  
- أفسّر بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات عضوية مثل هاليدات الألكيل، والكحولات، والإيثرات، والأمينات، بناءً على تركيبها البنائي أو مجموعاتها الوظيفية.

### المفاهيم والمصطلحات:

مشتقات المركبات الهيدروكربونية

Derivatives of Hydrocarbons

مجموعةً وظيفيةً Functional Group

هاليدات الألكيل Alkyl Halides

الكحولات Alcohols

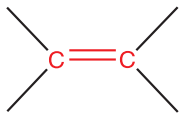

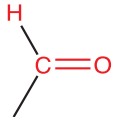
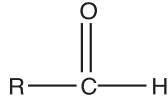
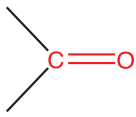
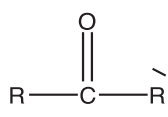
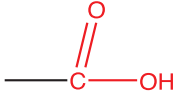
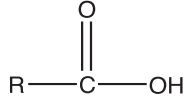
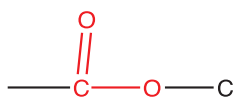
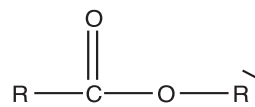
الإيثرات Ethers

التصاوغ الوظيفية Functional Isomerism

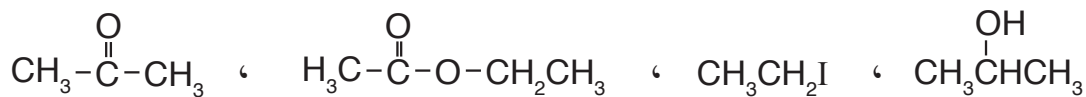
الأمينات Amines



الجدول (1): تصنيف المُركَّبات العضوية حسب المجموعة الوظيفية المميزة لكل منها.

اسم المجموعة الوظيفية وصيغتها	الصيغة العامة للمُركَّب العضوي	نوع المُركَّب العضوي
	رابطة ثنائية	الألكينات
	رابطة ثلاثية	الألكاينات
<b>-X</b> حيث X تُمثِّل أحد الهالوجينات: (I, Br, Cl, F)	هالوجين	R-X
<b>-OH</b>	هيدروكسيل	R-OH
<b>-O-</b>	إيثر	R-O-R'
<b>-NH<sub>2</sub></b>	أمين	R-NH <sub>2</sub>
	كربونيل	
		
	كربوكسيل	
	إستر	

✓ **أتحقَّق:** أصنّف المُركَّبات العضوية الآتية حسب نوعها:





الشكل (2): بعض الكائنات الحية البحرية التي تُنتج هاليدات عضوية.

## هاليدات الألكيل Alkyl Halides

كان الاعتقاد السائد أن هاليدات الألكيل من المركبات العضوية قليلة الانتشار في الطبيعة؛ ولكن تبين أن عددًا من الكائنات الحية تقوم بإفرازها، فمثلًا تُنتج الأعشاب البحرية كميات هائلة من كلوروميثان  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ، ويُنتج النمل الأبيض الكلوروفورم  $\text{CHCl}_3$ ، ويُنتج الإسفنج البحري والمرجان هاليدات عضوية كنوع من الحماية لإبعاد الأسماك والحيوانات المفترسة، أنظر الشكل (2).

وتُعرّف هاليدات الألكيل Alkyl Halides؛ بأنها مركبات هيدروكربونية حلّت فيها ذرة هالوجين أو أكثر محلّ ذرة أو ذرات هيدروجين، وصيغتها العامة  $\text{R-X}$ ، حيث تُمثّل R مجموعة ألكيل، أمّا X فتُمثّل إحدى ذرات الهالوجينات (فلور F، كلور Cl، بروم Br، يود I).

## تسمية هاليدات الألكيل Nomenclature of Alkyl Halides

توجد طريقة شائعة لتسمية هاليدات الألكيل؛ حيث ينظر للمركب على أنه مُكوّن من جزئين أحدهما يُمثّل الهالوجين، ويُسمّى هاليدًا، أمّا الجزء الآخر فيُمثّل مجموعة الألكيل R مثل (الميثيل، الإيثيل، بروبييل...)، الجدول (2) يتضمن أمثلة عليها:

الجدول (2): أسماء شائعة لبعض هاليدات الألكيل.

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$	$\text{CHCl}_3$	$\text{CH}_3\text{F}$	الصيغة البنائية
بروميد الإيثيل	ثلاثي كلوريد الميثيل (الكلوروفورم)	فلوريد الميثيل	الاسم الشائع

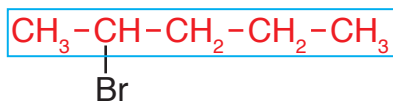
وتُسمّى هاليدات الألكيل وفق نظام التسمية الدولي الأيوباك IUPAC بالطريقة نفسها التي تُسمّى بها الألكانات؛ إذ يُعاملُ الهالوجين بوصفه تفرُّعاً على سلسلة الألكان، ويكون الاسم العام لها هالو ألكانات. والأمثلة الآتية توضح الخطوات المُتّبعة في التسمية:

## المثال 1



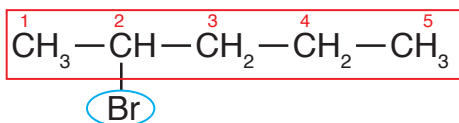
الحلُّ:

1 - أحدّد أطول سلسلة كربونيّة تتضمن ذرة الكربون المرتبطة بذرة الهالوجين، وأسمّيها حسب عدد ذرات الكربون فيها.

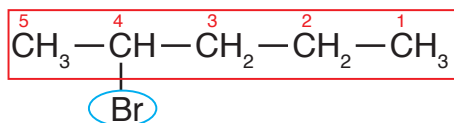


ألاحظ وجود سلسلة كربونيّة واحدةٍ عدد ذرات الكربون فيها (5)؛ فأسمّيها بنتان.

2 - أحدّد ذرة الهالوجين وموقعها على السلسلة؛ بحيث أرقّم السلسلة من الجهة التي يكون فيها لذرة الكربون المرتبطة بذرة الهالوجين أقلّ رقمٍ ممكن، لمعرفة ذلك؛ أرقّم السلسلة بدءاً من جهة اليمين، ومرة أخرى بدءاً من جهة اليسار:



الترقيم الثاني

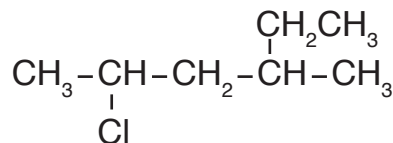


الترقيم الأول

ألاحظ أن المركّب يحتوي على ذرة بروم واحدة؛ وفي الترقيم الأول يكون رقم ذرة الكربون المرتبطة بذرة البروم 4، وفي الترقيم الثاني يكون رقمها 2، والصحيح هو الترقيم الثاني.

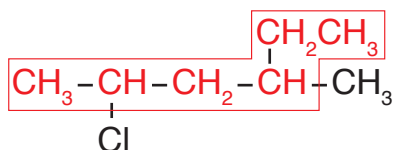
3 - لكتابة اسم المركّب؛ أكتب رقم ذرة الكربون المرتبطة بذرة البروم متبوعاً بشرطة ( - ) لفصل الأرقام عن الكلمات ( -2 )، ثم أسمّي الهالوجين على وزن (هالو)؛ فيكون (2- برومو)، ثم أكتب اسم الألكان الذي يُمثّل سلسلة الكربون وهو بنتان؛ فيكون الاسم: 2- برومو بنتان.

أسمي المركب الآتي وفق نظام الأيوباك:



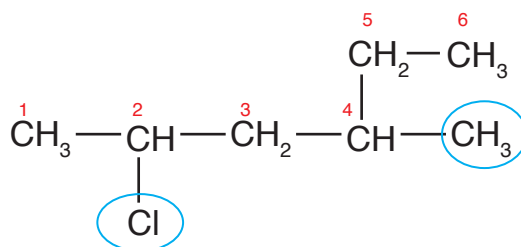
الحل:

1 - أحدد أطول سلسلة كربونية مستمرة تتضمن ذرة الكربون المرتبطة بذرة الهالوجين (الكلور)، وأسميها حسب عدد ذرات الكربون فيها.



ألاحظ أن أطول سلسلة مكونة من ست ذرات كربون؛ فتسمى هكسان.

2 - أحدد التفرعات ومواقعها؛ بحيث أرقم السلسلة من الجهة التي يكون فيها لذرات الكربون المرتبطة بكل من ذرة الكلور أو مجموعة الميثيل أقل أرقام ممكنة.



ألاحظ وجود ذرة كلور واحدة مرتبطة بذرة كربون رقم 2، ومجموعة ميثيل واحدة مرتبطة بذرة كربون رقم 4.

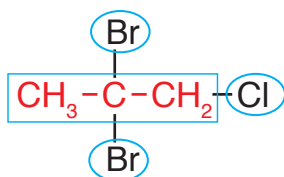
3 - أكتب اسم المركب باتباع الخطوات ذاتها في المثال السابق، مع إضافة رقم ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الميثيل واسمها (4- ميثيل)، ويراعى الترتيب الهجائي باللغة الإنجليزية عند كتابة الاسم، لذلك؛ يكتب الكلور قبل الميثيل فيكون الاسم: 2- كلورو-4- ميثيل هكسان.

### المثال 3



الحل:

1 - أعدد أطول سلسلة كربونية مستمرة تتضمن ذرة الكربون المرتبطة بذرة الهالوجين، وأحدد ذرات الهالوجين، وأرقم من الجهة التي تعطي لذرات الكربون المرتبطة بها أقل أرقام ممكنة.



ألاحظ أن المركب يتكوّن من سلسلة مكونة من 3 ذرات كربون فتسمى بروبان، أرقمها من الطرف الأقرب لذرة الكلور؛ فتأخذ ذرة الكربون الرقم 1، وتأخذ ذرة الكربون المرتبطة بذرتي البروم الرقم 2.

2 - أكتب اسم المركب مراعيًا أن يكتب البروم قبل الكلور حسب الترتيب الأبجدي، وأفصل بين الأرقام المتتالية بفاصلة، وبين الأرقام والكلمات بشرطة (-)، ونظرًا لوجود ذرتي بروم تُستخدم البادئة (ثنائي) للدلالة على عددها فيكون الاسم:

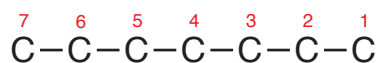
2، 2- ثنائي برومو - 1 - كلوروبروبان

### المثال 4

أكتب الصيغة البنائية للمركب: 3- إيثيل - 5 - فلورو هبتان

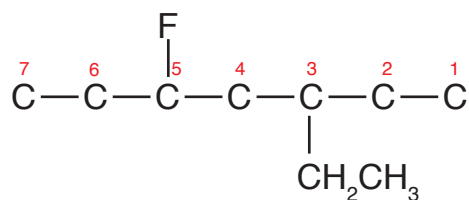
الحل:

1 - أكتب عدد ذرات الكربون التي تمثل الألكان أو أطول سلسلة كربونية مستمرة، وهو هبتان أي 7 ذرات كربون، وأرقمها من أي طرف:

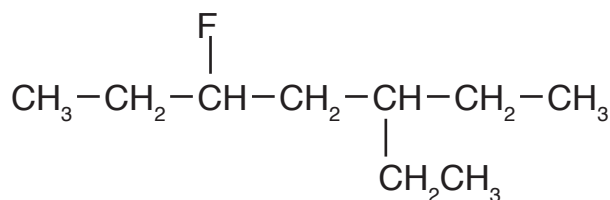




2 - أربط كلاً من مجموعة الإيثيل وذرة الفلور بذرة الكربون التي تُمثّل موقعها على السلسلة الكربونية كما تظهر في اسم المركب:

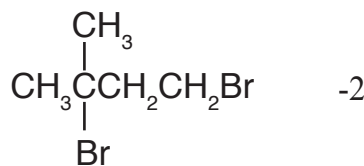
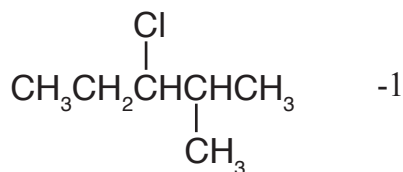


3 - أكمل عدد روابط الكربون مع الهيدروجين؛ بحيث يصبح مجموع الروابط حول كل ذرة كربون 4 روابط كالاتي:

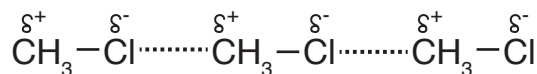


ألاحظ - في هذا المثال - أن مجموعة الإيثيل وذرة الفلور تأخذان الأرقام ذاتها عند الترقيم من طرفي سلسلة الكربون، لذا اعتمد الترتيب الهجائي لبداية الترقيم.

✓ **أتحقّق:** أسمي المركبات الآتية وفق نظام الأيوباك:



الشكل (3): قوى ثنائية القطب بين جزيئات كلورو ميثان.



## الخصائص الفيزيائية لهاليدات الألكيل

### Physical Properties of Alkyl Halides

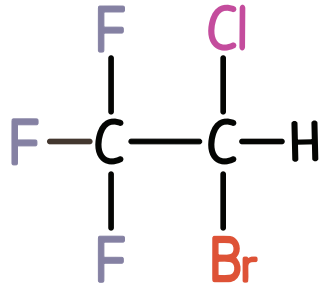
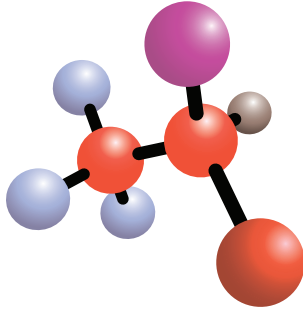
تُعدُّ الرابطة بين ذرة الهالوجين وذرة الكربون في هاليدات الألكيل رابطةً قُطبيةً، حيث إنَّ معظم الهالوجينات لها سالبيةٌ كهربائيةٌ أعلى من ذرة الكربون، لذلك فهاليدات الألكيل مُركَّباتٌ قطبيةٌ تترايط بقوى تجاذبٍ ثنائية القطب، ويوضح الشكل (3) قوى ثنائية القطب بين جزيئات كلورو ميثان.

تتأثر الخصائص الفيزيائية لهاليدات الألكيل بقوى التجاذب بين جزيئاتها، ويوضح الجدول (3) درجات غليان الإيثان وعددًا من هاليدات الألكيل، يلاحظُ أن درجة غليان الإيثان أقلُّ منها لفلورو إيثان؛ فجزيئاته غيرُ قطبيَّةٍ تترايط بقوى لندن الضعيفة، بينما فلورو إيثان جزئٌ قطبيٌّ تترايط جزيئاته بقوى ثنائية القطب، لذلك درجة غليانه أعلى. وعند مقارنة درجات غليان هاليدات الإيثيل الواردة في الجدول يُلاحظُ ازدياد درجة الغليان بالانتقال من فلورو إيثان إلى برومو إيثان، وتفسير ذلك؛ أنَّه بزيادة الكتلة الذرية للهالوجين تزداد الكتلة المولية لهاليد الألكيل، فتزدادُ قوى التجاذب بين جزيئاته، وتزداد درجة غليانه.

توجد غالبية هاليدات الألكيل بالحالة السائلة أو الصلبة عند درجة الحرارة العادية (25 °C). وغالبًا لا تذوب هاليدات الألكيل في الماء رغم قُطبيَّتها؛ وذلك لأنَّ 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.

الجدول (3): درجات غليان بعض هاليدات الألكيل.

درجة الغليان (°C)	المُركَّب
- 89	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>
- 37	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F
12	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl
38	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Br



الشكل (4): الصيغة  
البنائية للهالوثان.

ولهاليدات الألكيل أهمية في الصناعة فقد تستخدم مباشرة أو تُحضّر منها مركبات مهمة، فمثلاً؛ استخدم الكلوروفورم  $\text{CHCl}_3$  قديماً مادة مخدّرة في العمليات الجراحية، وبسبب آثاره الجانبية حلّ محلّه هاليد الألكيل آخر سمي الهالوثان، أنظر الشكل (4). وتستخدم هاليدات الألكيل أيضاً كمذيبات عضوية، مثل ثلاثي كلورو إيثين  $\text{C}_2\text{HCl}_3$  حيث يُستخدم في الصناعات الإلكترونية، واستخدم ثلاثي كلورو فلورو ميثان  $\text{CCl}_3\text{F}$  كمادة نفخ في صناعة البلاستيك الرغوي (الفوم)، أنظر الشكل (5)، ويدخل كلورو إيثين في صناعة أكثر أنواع البلاستيك استخداماً، حيث يُستخدم في شبكات المياه والصرف الصحي، أنظر الشكل (6)، كما تستخدم بعض المركّبات الهيدروفلورو كربونية غازات مُبرّدة في الثلاجات وأجهزة التبريد.



الشكل (5): البلاستيك  
الرغويّ (الفوم).

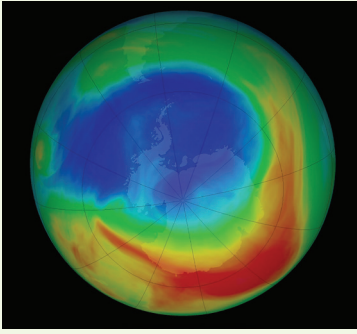
✓ **أتحقّق:** أتوقع: أي المرّكبين له أعلى درجة غليان:  
2- كلورو بيوتان أم 2- أيودو بيوتان

**أفكر:** أفسر: درجة غليان

1- برومو بروبان أعلى من درجة  
غليان برومو إيثان.

الشكل (6): البلاستيك  
المستخدم في التمديدات  
الصحية.





أدى الاستخدام الواسع للمركبات الكلوروفلوروكربونية CFCs مثل  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  إلى الإضرار بطبقة الأوزون، لأنها تتحلل بفعل الأشعة فوق البنفسجية مُحررة ذرة كلور منفردة تتفاعل مع الأوزون وتُفكّكه، ويمكن لذرة كلور واحدة أن تسبب في تفكك مئات الآلاف من جزيئات الأوزون. وقد حلت المركبات الهيدروفلوروكربونية HFCs، ومنها  $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$  محلها. تُظهر الصور الملتقطة تحسناً واضحاً على طبقة الأوزون وعلى صغر حجم ثقب الأوزون حسب وكالة ناسا الفضائية.

## الكحولات Alcohols

أصبح استخدام مُعقّمات الأيدي شائعاً في الأماكن العامة مثل المستشفيات، والمطاعم، والأسواق التجارية، وغيرها؛ إذ تحتوي هذه المُعقّمات على مواد تؤدي للقضاء على الميكروبات للحدّ من انتقال الأمراض، ورغم اختلاف المُعقّمات في بعض مكوناتها؛ إلا أنّ معظمها يشترك في المادة الفعالة فيها وهي الكحول، أنظر الشكل (7).

فما الكحولات؟ وكيف تجري تسميتها؟

تُعرّف الكحولات Alcohols بأنها مركبات عضوية صيغتها العامة R-OH، حيث تُمثل مجموعة الهيدروكسيل (-OH) المجموعة الوظيفية المميزة لها وتُمثل R مجموعة ألكيل.

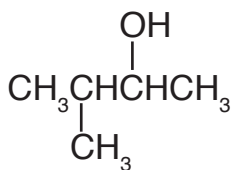
## تسمية الكحولات Nomenclature of Alcohols

تُسمّى الكحولات وفق نظام الأيوباك بإضافة المقطع (ول) إلى اسم الألكان المقابل فيصبح الاسم العام له (ألكانول)، والأمثلة الآتية توضح الخطوات المُتّبعة في التسمية.



الشكل (7): مواد مختلفة تحتوي على الكحولات.

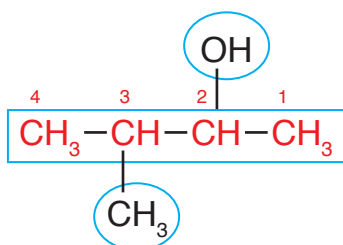
## المثال 5



أُسْمِي المُرْكَب الآتي وفق نظام الأيوباك:

الحل:

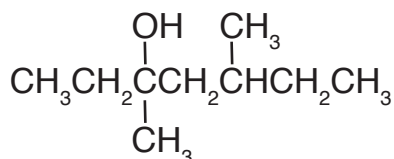
أحدّد أطول سلسلة كربونيّة مستمرة تتضمّن المجموعة الوظيفية (OH-) وأسمّيها، ثم أرقّمها من الجهة الأقرب للمجموعة الوظيفية، ثم أحدّد موقع ارتباط مجموعة الهيدروكسيل، وأحدّد موقع مجموعة الألكيل وأسمّيها.



ألاحظ أن أطول سلسلة كربونيّة مكوّنة من 4 ذرات كربون، وأن مجموعة الهيدروكسيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 2، وأن مجموعة ميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 3 فيكون اسم المُرْكَب:

3- ميثيل -2- بيوتانول

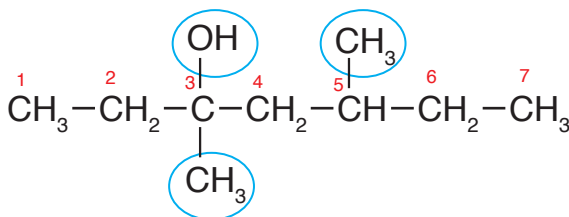
## المثال 6



أُسْمِي المُرْكَب الآتي وفق نظام الأيوباك:

الحل:

أحدّد أطول سلسلة كربونيّة مستمرة تتضمن مجموعة الهيدروكسيل وأسمّيها، ثم أرقّمها من الجهة الأقرب للمجموعة الوظيفية، ثم أحدّد موضع ارتباط مجموعة الهيدروكسيل، وأحدّد موقع مجموعات الألكيل وأسمّيها.



ألاحظ أن أطول سلسلة كربونيّة مكوّنة من 7 ذرات كربون، وأرقّم السلسلة من جهة اليسار الأقرب لمجموعة OH؛ فيكون رقم ذرة الكربون المرتبطة بها 3، وترتبط مجموعتا ميثيل بذرتي الكربون رقم 3 و 5؛ فيكون اسم المُرْكَب: 3، 5- ثنائي ميثيل -3- هبتانول.



الجدول (4): بعض أنواع الكحولات وفق عدد مجموعات الهيدروكسيل.

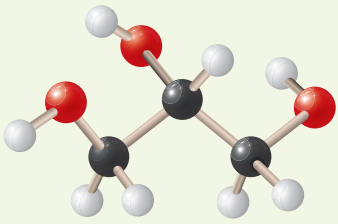
نوع الكحول	مثال	الاسم الشائع	الاسم النظامي
أحادي الهيدروكسيل	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	كحول الإيثيل	إيثانول
ثنائي الهيدروكسيل	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	جلايكول الإيثلين	1،2- إيثان دايلول
ثلاثي الهيدروكسيل	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	الجليسرول	1،2،3- بروبان ترايول

### الربط بالحياة



### كحول الجليسرول

يتميز كحول الجليسرول بدائيته الشديدة في الماء، وله القدرة على امتصاص الماء من الوسط المحيط، لذلك يدخل في صناعة المواد المرطبة للجلد والبشرة وغيرها من مواد التجميل.



إحدى طرائق تصنيف الكحولات تعتمد على عدد مجموعات الهيدروكسيل (-OH) المرتبطة بسلسلة الكربون، والجدول (4) يوضح بعض أنواع الكحولات وأمثلة عليها.

✓ **أنحَقِّقْ:**

1- أُسَمِّي المُرَكَّب الآتي وفق نظام الأيوباك:  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$

2- أكتب الصيغة البنائية للمُرَكَّب الآتي:

3- إيثيل -2- هكسانول

### الربط بالحياة



يُستخدم جلايكول الإيثلين مضاداً للتجمُّد؛ حيث ترشُّ به الطائرات قبل إقلاعها، وتبلغ درجة غليانه  $197^\circ\text{C}$ ، وعندما يخلط بالماء بنسبة 50% فإن درجة تجمُّده تنخفض إلى  $-36^\circ\text{C}$ . ويوضع في مشع (راديتور) السيارة لمنع تجمُّد الماء فيه في فصل الشتاء.





الشكل (8): الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الكحول.

### الخصائص الفيزيائية للكحولات Physical Properties of Alcohols

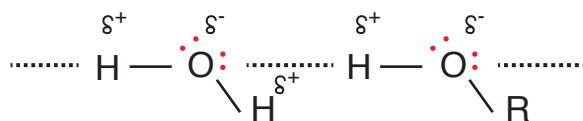
تحتوي الكحولات على مجموعة الهيدروكسيل (OH-); وهي مجموعة شديدة القطبية نظراً للسالبية الكهربائية العالية لذرة الأكسجين، لذلك؛ فإن الرابطة C-O رابطةً قطبية، وكذلك الرابطة O-H، ونظراً لارتباط ذرة الهيدروجين مباشرةً بذرة الأكسجين؛ فإن جزيئات الكحول تترايط في ما بينها بروابط هيدروجينية كما يوضح الشكل (8).

تتأثر الخصائص الفيزيائية للكحولات بقوى التجاذب بينها، ويُبين الجدول (5) درجات غليان بعض الكحولات والألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية، حيث يلاحظ ارتفاع درجة غليان الكحولات مقارنةً بالألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية؛ إذ تبلغ درجة غليان الميثانول  $65^{\circ}\text{C}$ ، أما الإيثان فدرجة غليانه  $89^{\circ}\text{C}$ ؛ وذلك بسبب قوة الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الكحول مقارنةً بقوى لندن بين جزيئات الإيثان. ويتبين من الجدول -أيضاً- زيادة درجة غليان الكحولات بزيادة عدد ذرات الكربون (أي بزيادة كتلتها المولية)؛ وتفسير ذلك أنه يكون لجزيء الكحول طرفان أحدهما قطبي (OH-) يرتبط مع الجزيئات الأخرى بروابط هيدروجينية والآخر غير قطبي (R)، يرتبط مع الجزيئات الأخرى بقوى لندن التي تزداد قوتها بزيادة الكتلة المولية.

الجدول (5): درجات غليان بعض الكحولات والألكانات المقاربة لها.

المركب	الصيغة البنائية	الكتلة المولية g/mol	درجة الغليان (°C)
ميثانول	CH <sub>3</sub> OH	32	65
إيثان	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30	-89
إيثانول	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	46	78
بروبان	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	44	-42
1-بربانول	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	60	97
بيوتان	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	58	-0.5

الشكل (9): الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الكحول الماء.



أمّا في ما يتعلق بذائبية الكحولات في الماء؛ فإنّ قدرة جزيئات الكحولات على صنع روابط هيدروجينية مع الماء تُفسّر ذائبيتها فيه، كما يوضّح الشكل (9).

وتقلُّ ذائبية الكحولات في الماء بزيادة عدد ذرات الكربون فيها. أنظر الجدول (6)، وتفسير ذلك أن زيادة عدد ذرات الكربون يزيد من طول السلسلة الكربونية R في المركّب، وهي طرف غير قطبي لا يذوب في الماء؛ لذلك تقلُّ ذائبية الكحولات.

الجدول (6): ذائبية بعض الكحولات في الماء.

الاسم	الصيغة البنائية	الذائبية (g/100g H <sub>2</sub> O)
إيثانول	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	يدوب بأي نسبة
1- بروبانول	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	يدوب بأي نسبة
1- بيوتانول	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	7.9
1- بنتانول	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	2.7

✓ **أتحقّق:**

1- أتوقّع المركب الذي له أعلى درجة غليان:

2- بيوتانول أم 2- هكسانول

1- أي الكحولين الآتين يعدُّ أقلُّ ذائبية في الماء:

1- بيوتانول أم 1- هبتانول. أفسّر إجابتي.

**أفكر:** أتوقّع المركب الذي له أعلى درجة غليان، وأبرر إجابتي:

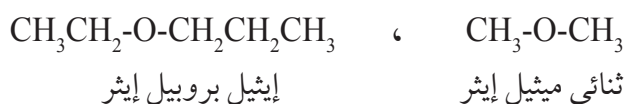
1- بروبانول ، 2- بروبانول

## الإثيرات Ethers

**الإثيرات Ethers** مُركّباتٌ عضويّةٌ صيغتها العامة  $R-O-R$  ترتبط فيها ذرة الأكسجين التي تُمثّل المجموعة الوظيفية بمجموعتي ألكيل متشابهتين أو مختلفتين.

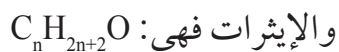
### تسمية الإثيرات Nomenclature of Ethers

تُسمّى الإثيرات بتسمية مجموعتي الألكيل تتبعها كلمة إثير، وتُرتّب مجموعات الألكيل أبجدياً، فإذا كانت مجموعتا الألكيل متماثلتين؛ تستخدم البادئة (ثنائي). والأمثلة الآتية توضح الصيغ البنائية لبعض الإثيرات وأسماءها:

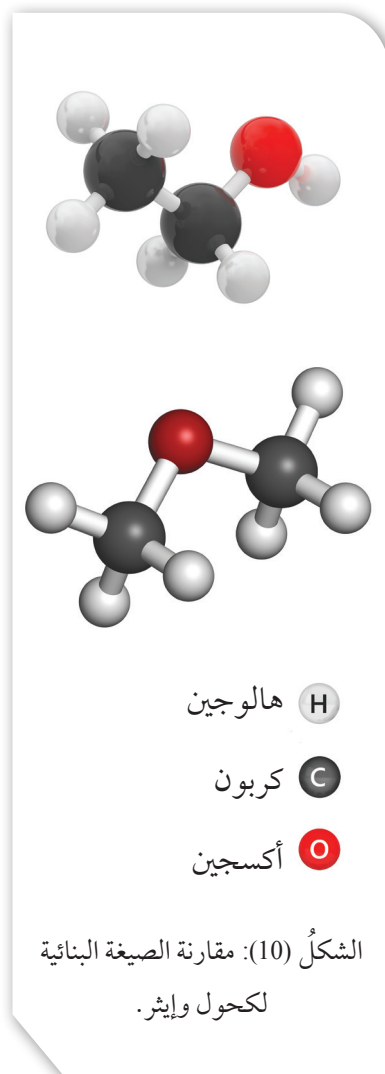
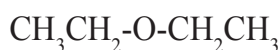


درست في الوحدة السابقة مفهوم التصاوغ وبعض أنواعه، فهل هناك أنواع أخرى له؟

تشابه الإثيرات والكحولات في الصيغة الجزيئية؛ ولكنها تختلف في الصيغة البنائية، ويوضح الشكل (10) نموذجين لجزيئين مختلفين لأحد الكحولات والإثيرات، يلاحظ من الشكل أن كلا المركبين يتكون من ذرتي كربون و 6 ذرات هيدروجين وذرة أكسجين واحدة، فالصيغة الجزيئية لهما  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ، ويمكن كتابة الصيغة البنائية لكل منهما كالآتي: المركب الأول صيغته  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ؛ فهو كحول الإيثانول، أما الثاني فصيغته  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ، ويُسمى ثنائي ميثيل إثير، وبالتالي فالمركبان متشابهان بالصيغة الجزيئية، ويختلفان في المجموعة الوظيفية أي أنهما متصاوغان، ويُسمى التصاوغ من هذا النوع **التصاوغ الوظيفي Functional Isomerism**، أمّا الصيغة الجزيئية العامة للكحولات



✓ **أتحقّق:** أسمى المركب الآتي:



الجدول (7): مقارنة درجة غليان بعض الإيثرات والألكانات المقاربة لها الكتلة المولية.

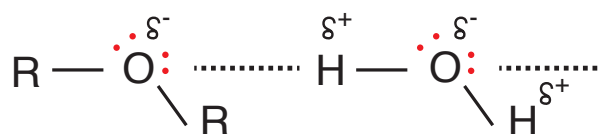
الاسم	الصيغة	الكتلة المولية g/mol	درجة الغليان (°C)
بيوتان	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	58	- 0.5
إيثيل ميثيل إيثر	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>	60	7.4
بنتان	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	72	36.1
ثنائي إيثيل إيثر	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	74	34.6

### الخصائص الفيزيائية للإيثرات Physical Properties of Ethers

تتميز الإيثرات بأن روابط المجموعة الوظيفية فيها قطبيّة، والرابطة C-O-C تُشكّلان مُنحني زاوي؛ لذلك فإنّ جزيئات الإيثر قطبيّة 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 يسمح لجزيئات الماء بتكوين روابط هيدروجينية معها، وهو ما يفسر ذائبية الإيثرات في الماء والشكل (11) يوضّح ذلك.

الشكل (11): الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الماء والإيثر.





الذائبية (g/100g H <sub>2</sub> O)	الصيغة	الاسم
70	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	ثنائي ميثيل إيثر
يدوب بأي نسبة	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	إيثانول
6.7	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	ثنائي إيثيل إيثر
7.9	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	1-بيوتانول

ويُوضَّح الجدول (8) مقارنة ذائبية بعض الإيثرات بالكحولات وكيفية تغييرها 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 ذائبته نسبياً. وكذلك يلاحظ نقصان ذائبية الإيثرات بزيادة عدد ذرات الكربون فيها؛ وذلك لزيادة طول السلسلة الكربونية R وهي طرفٌ غيرٌ قطبيٌّ لا يذوب في الماء فتقل الذائبية. وتستخدم الإيثرات مذيباتٍ عضويّة.

**أفكر:** أيُّ المُركَّبين الآتيين له أقلُّ درجة غليان؟ أبررْ إجابتي.  
1- بنتانول أم إيثيل بروبييل إيثر.

✓ **أتحقَّق:** أقارن بين المُركَّبين الآتيين من حيث درجة الغليان والذائبية في الماء:  
ثنائي ميثيل إيثر، ميثيل بروبييل إيثر.

#### الربط بالطب



يُعدُّ ثنائي إيثيل إيثر من أوائل المُركَّبات التي استُخدمت في التخدير العام في الطب، وقد استمرَّ استخدامه لمدة تزيد عن قرنٍ، ولكن بسبب بعض الآثار الجانبية له وقابليته للاشتعال؛ فقد حلَّت محلُّه مواد تخديرٍ أخرى، مثل ميثيل بروبييل إيثر.

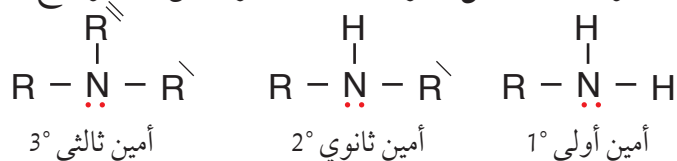


الشكل (12): يستخدم الأنيلين  
C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub> في صناعة أصباغ  
الملابس.



## الأمينات Amines

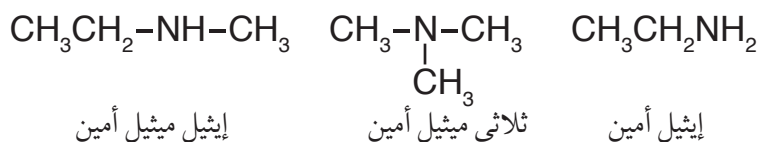
تشتق الأمينات Amines من الأمونيا NH<sub>3</sub>؛ حيث تحل مجموعة ألكيل أو أكثر محل ذرة هيدروجين أو أكثر. وتُصنّف إلى أمينات أولية وثنائية وثالثية وفق عدد مجموعات الألكيل المرتبطة بذرة النيتروجين كما يوضح الشكل:



تنتشر الأمينات في الطبيعة، ولها رائحة تشبه السمك الفاسد، وتستخدم الأمينات في مجالات متنوعة مثل صناعة البلاستيك، والأدوية، والمبيدات الحشرية، وأصباغ الملابس، كما يظهر في الشكل (12).

## تسمية الأمينات Nomenclature of Amines

تسمى مجموعة أو مجموعات الألكيل المتصلة بذرة النيتروجين تتبعها كلمة أمين، وترتب مجموعات الألكيل أبجدياً؛ وإذا احتوى الأمين على مجموعات ألكيل متماثلة تُستخدم البادئة (ثنائي أو ثلاثي). الأمثلة الآتية توضح الصيغ البنائية لبعض الأمينات وأسماءها:



والأمثلة الآتية توضح طريقة تسمية الأمينات الأولية وفق نظام الأيوباك:



تتكون الشوكولاتة من مزيج من المواد الكيميائية المعقدة أحدها ينتمي إلى الأمينات وهو 2-فينيل-1-أمينوإيثان؛ ويُعتقد أنه المسؤول عن الرغبة المتكررة في تناولها.

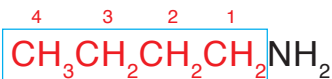


## المثال 7

أُسْمِي المُرْكَب الآتِي وَفَقَ تَظَام الأيُوبَاك:  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$

الحل:

- أُحَدِّدُ أَطْوَلَ سِلْسِلَةٍ كَرْبُونِيَّةٍ تَتَضَمَّنُ مَجْمُوعَةَ الأَمِينِ، ثُمَّ أُرَقِّمُ السِّلْسِلَةَ مِنَ الجِهَةِ الأَقْرَبِ لَهَا.



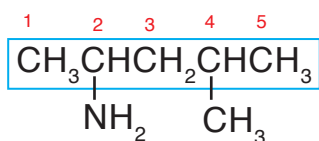
- أَكْتُبُ رَقْمَ ذَرَةِ الكَرْبُونِ الَّتِي تَتَّصِلُ بِهَا مَجْمُوعَةُ الأَمِينِ تَتْبَعُهَا كَلِمَةُ أَمِينُو، ثُمَّ أُسْمِي الأَلْكَانَ الَّتِي يُمَثِّلُ سِلْسِلَةَ الكَرْبُونِ. فيكون الاسم: 1-أمينوبيوتان

## المثال 8

أُسْمِي المُرْكَب الآتِي وَفَقَ تَظَام الأيُوبَاك:  $\text{CH}_3\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}\text{CH}_2\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}\text{CH}_3$

الحل:

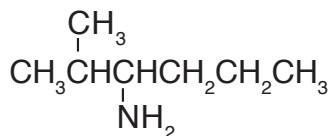
- أُحَدِّدُ أَطْوَلَ سِلْسِلَةَ كَرْبُونِيَّةٍ تَتَضَمَّنُ مَجْمُوعَةَ الأَمِينِ، وَأُرَقِّمُ السِّلْسِلَةَ مِنَ الجِهَةِ الأَقْرَبِ لَهَا، ثُمَّ أُحَدِّدُ مَوْضِعَ ارْتِبَاطِ مَجْمُوعَةِ الأَمِينِ وَكَذَلِكَ مَجْمُوعَاتِ الأَلْكَيلِ وَأُسْمِيهَا، ثُمَّ أُسْمِي الأَلْكَانَ الَّتِي يُمَثِّلُ سِلْسِلَةَ الكَرْبُونِ.



فيكون الاسم: 4-ميثيل-2-أمينوبنتان

✓ **أَتَحَقَّقُ:**

1- أُسْمِي المُرْكَب الآتِي وَفَقَ تَظَام الأيُوبَاك:



2- أَكْتُبُ الصِّيغَةَ البَنَائِيَةَ لِلْمُرْكَب: 2-أمينوبيوتان

**أَبْحَثُ:** تصنف الأمينات إلى أولية وثانوية وثالثية اعتماداً على عدد ذرات الكربون المرتبطة بذرة النيتروجين، أراجع إلى مواقع إلكترونية مناسبة عبر شبكة الإنترنت، وأبحث في كيفية تسمية الأمينات الثانوية والثالثية وفق نظام الأيوباك، وأكتب تقريراً بذلك أو أصمم عرضاً تقديمياً عن الموضوع وأناقشه مع زملائي/ زميلاتي في الصف.

الجدول (9): درجة غليان بعض الأمينات والألكانات والكحولات.

الاسم	الصيغة	الكتلة المولية g/mol	درجة الغليان (°C)
إيثان	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30	-89
ميثيل أمين	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31	-6
إيثيل أمين	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	45	16
إيثانول	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	46	78

### الخصائص الفيزيائية للأمينات Physical Properties of Amines

تُعدُّ الأمينات مُركَّباتٍ قطبيَّةً نظرًا لاحتوائها على مجموعة الأمين القطبية، وتترابط جزيئات الأمينات الأولية بروابط هيدروجينية، حيث تحتوي على ذرة هيدروجين مرتبطة مباشرة بذرة نيتروجين ذات سالبية كهربائية عالية، وهو ما يُفسِّر ارتفاع درجات غليانها مقارنة بالألكانات المقاربة لها في الكتلة المولية؛ كما يوضح الجدول (9)، فمثلاً؛ 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 تتضح زيادة درجة غليان الأمين بزيادة عدد ذرات الكربون فيه، أمَّا عند مقارنة درجة غليان الأمين مع الكحول المُقارب له في الكتلة المولية، كما في إيثيل أمين والإيثانول؛ فيلاحظ ارتفاع درجة غليان الكحول مقارنة بالأمين؛ وذلك لأن قطبيَّة الرابطة (O-H) أكبر من قطبيَّة الرابطة (N-H)، وبالتالي فإنَّ الرابطة الهيدروجينية في الكحولات أقوى منها في الأمينات الأولية والطاقة اللازمة لتغلب عليها أكبر، وبالتالي درجة غليان الكحولات أعلى. ونظرًا لقدرة الأمينات الأولية والثانوية على الترابط مع الماء بروابط هيدروجينية؛ فإنَّها تذوب في الماء كما يوضِّح الشكل (13)، وتقلُّ الذائبية بزيادة عدد ذرات الكربون بسبب زيادة تأثير مجموعة الألكيل غير القطبية التي لا تذوب في الماء.

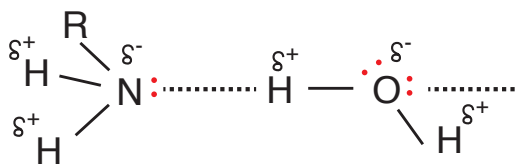
✓ **أتحقّق:** أيُّ المُركَّبين الآتيين

له أعلى درجة غليان:

2- بيوتانول أم

2- أمينو بيوتان

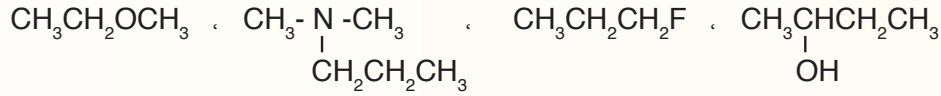
الشكل (13): الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الأمينات الأولية والماء.



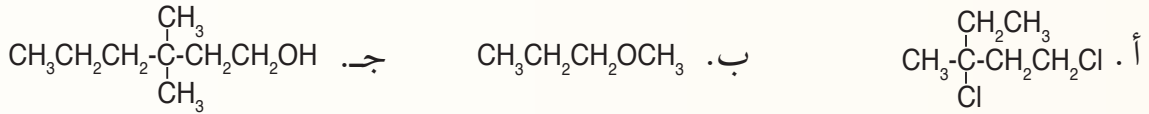
## مراجعة الدرس

1 - الفكرة الرئيسة: ما الأساس المعتمد في تصنيف مشتقات المركبات الهيدروكربونية؟

2 - أصنّف المركبات العضوية الآتية، وأحدّد المجموعة الوظيفية في كلّ مركّب:



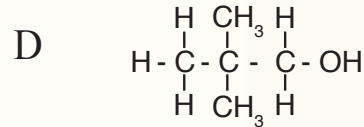
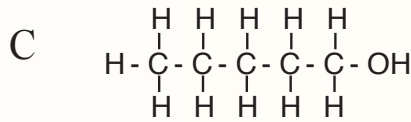
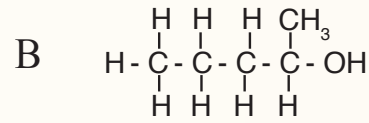
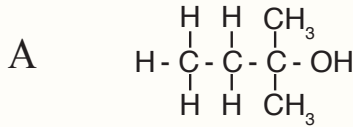
3 - أطبق: أسمّي المركبات الآتية:



4 - أطبق: أكتب الصيغ البنائية للمركبات العضوية الآتية:

أ. 1- برومو -1- كلورو -2، 2- ثنائي فلورو بروبان  
ب. 2- أيودو -3- بنتانول

5 - للصيغة الجزيئية  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$  متساوغات عدّة من الكحولات أعطيت أربعا منها، وأعطيت الرموز (A، B، C، D)، والأشكال الآتية توضح الصيغة البنائية المفصلة لها:



1. أطبق: أكتب صيغاً بنائية مختصرة للكحولين B و D.

2. أطبق: أسمّي المركّب A.

3. أتوقع: أي هذه الكحولات له أعلى درجة غليان؟ أفسّر إجابتي.

6 - أقيم: أحدد الخطأ في أسماء المركبات الآتية وأعيد تسميتها:

أ. 3- برومو -4، 6- ثنائي ميثيل هبتان  
ب. 4- إيثيل -4- ميثيل -2- بنتانول

ج. إيثيل بيوتيل إيثر  
د. 3- بروبيل -2- أمينو بنتان

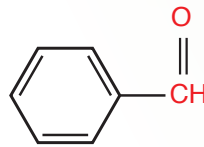
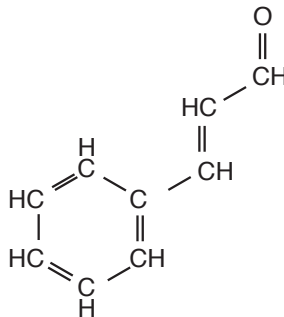


### الألديهايدات Aldehydes

تعود الروائح المميزة لبعض الفواكه والورود، والطعم الخاص بمنكهات الطعام المتنوعة إلى وجود مُرَكَّبَاتِ عضوية في تركيبها هي المسببة لتلك الروائح، تنتمي هذه المُرَكَّبَاتِ إلى الألديهايدات، والكيتونات، والحموض الكربوكسيلية، والإسترات التي سأتعرفها في هذا الدرس.

تعرفُ **الألديهايدات Aldehydes** بأنها مُرَكَّبَاتُ عضويّة

صيغتها العامة  $R - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} - \text{H}$ ، ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بذرة هيدروجين واحدة على الأقل؛ تُمثّل أحد طرفي السلسلة الكربونية للمُركَّب، وتُمثّل R مجموعة ألكيل أو ذرة هيدروجين. ويحتوي الشكل (14) على بعض المواد ذات النكهة المميزة والألديهايد المسؤول عن كل منها.



الشكل (14): النكهات المميزة للقرفة، واللوز، لاحتوائها على

مُرَكَّبَاتِ تنتمي للألديهايدات.

### الفكرة الرئيسة:

تتكوّن مجموعة الكربونيل من ذرة كربون مرتبطة برابطة ثنائية مع ذرة أكسجين، وتعدّ مجموعةً وظيفية رئيسة في بعض المُرَكَّبَاتِ، وجزءاً من مجموعاتٍ وظيفية في مُرَكَّبَاتٍ أخرى.

### نتائج التعلم:

- أُميِّزُ الألديهايدات والكيتونات والحموض الكربوكسيلية والإسترات بناءً على المجموعة الوظيفية لكل منها.
- أُسمِّي مُرَكَّبَاتٍ كيميائيةً تنتمي للألديهايدات والكيتونات والحموض الكربوكسيلية والإسترات وأكتبُ صيغاً بنائية لها.
- أفسّر بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات الكربونيل والكربوكسيل ومشتقاتها بناءً على تركيبها البنائي.
- أتوصل إلى أهمية مركبات المشتقات الهيدروكربونية في الحياة اليومية.

### المفاهيم والمصطلحات:

Aldehydes	الألديهايدات
Ketones	الكيتونات
	الحموض الكربوكسيلية
Carboxylic Acids	
Esters	الإسترات

## تسمية الألدیهيدات Nomenclature of Aldehydes

اشتهرت بعض الألدیهيدات بأسماءٍ شائعةٍ ما زالت مستخدمة حتى الآن منها:



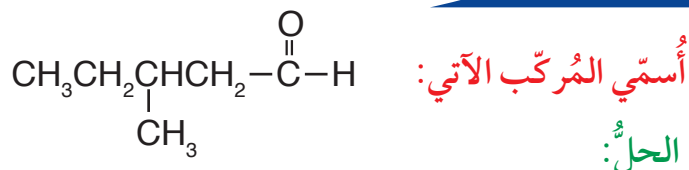
الجدول (10): أسماء بعض الألدیهيدات وصيغها البنائية.

الصيغ البنائية	الاسم
$\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	ميثانال
$\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	إيثانال
$\text{CH}_3\text{CH}_2\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	بروبانال

أمّا الطريقة المُتبعة لتسمية الألدیهيدات وفق نظام الأيوباك؛ فتجري بإضافة المقطع (ال) إلى اسم الألكان المقابل فيصبح (ألكانال)، والجدول (10) يتضمن أسماء المُركّبات الثلاثة الأولى من الألدیهيدات: ألاحظُ من الجدول أن ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل جزءٌ من سلسلة الكربون، لذلك فإن أصغر الألدیهيدات مكون من ذرة كربون واحدة مرتبطة بذرتي هيدروجين وهو الميثانال، ويمكن كتابة صيغته البنائية أيضًا HCHO، حيث تكتب صيغة مجموعة الكربونيل في الألدیهيد بصورة مختصرة (-CHO).

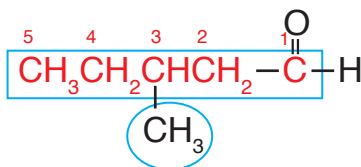
والأمثلة الآتية توضح الخطوات المُتبعة عند تسمية الألدیهيدات وفق نظام الأيوباك:

## المثال 9



الحل:

أحدُّ أطول سلسلة كربونيّة تتضمّن مجموعة الكربونيل الوظيفية  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ ، وأرقّمها بدءًا من مجموعة الكربونيل؛ أي أنها تأخذ الرقم 1 دائمًا، لذلك لا يُشار إلى الرقم عند كتابة الاسم، وأحدُّ المجموعات الفرعية أيضًا.

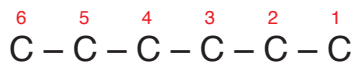


ألاحظُ أن أطول سلسلة كربونيّة تتضمّن مجموعة الكربونيل مكونة من 5 ذرات كربون، فتُسمّى بنتانال، وأن مجموعة الميثيل مُرتبطة بذرة الكربون رقم 3. فيكون اسم المُركّب: 3-ميثيل بنتانال

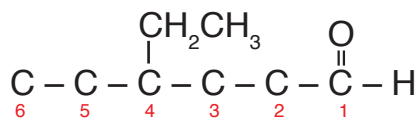
أكتب الصيغة البنائية للمركب: 4 - إيثيل هكسانال

الحل:

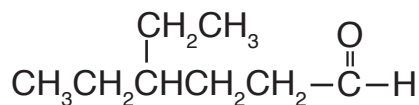
1 - أكتب ذرات الكربون التي؛ تمثل أطول سلسلة كربونية في المركب، وهي مكونة من 6 ذرات كربون وأرقمها من أي طرف:



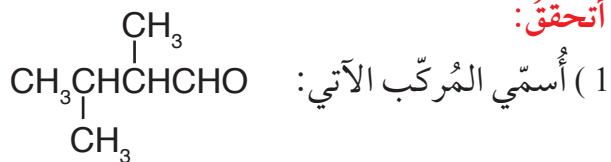
2 - بما أن المركب ألدهيد فإن مجموعة الكربونيل الوظيفية تمثل ذرة الكربون رقم 1، ثم أكتب مجموعة الإيثيل متصلةً بذرة الكربون رقم 4 كما يظهر في اسم المركب.



3 - أكمل عدد روابط الكربون مع الهيدروجين؛ بحيث يصبح مجموع الروابط حول كل ذرة كربون 4 روابط كما يلي:



✓ أتتحقق:



(2) أكتب الصيغة البنائية للمركب الآتي:

3، 3، 4 - ثلاثي ميثيل بنتانال

**أفكر:** أحدد الخطأ في اسم المركب الآتي وأعيد تسميته: 6 - إيثيل هبتانال.

## الكيتونات Ketones

تُعرّف الكيتونات Ketones بأنها مركّبات عضوية صيغتها العامة  $R - \overset{\text{O}}{\parallel}{C} - R'$ ، ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بمجموعتي الكيل، ويمكن كتابة صيغة مجموعة الكربونيل بطريقة مختصرة كالآتي: (-CO-).  
ألاحظ أن مجموعة الكربونيل (-C=O) مُميّزة للألديهايدات والكيتونات، لذلك؛ فإنّها تشترك في الصيغة الجزيئية العامة  $C_nH_{2n}O$ ، ولكنها تختلف في الصيغة البنائية.

### تسمية الكيتونات Nomenclature of Ketones

يتكون أصغر الكيتونات من 3 ذرات كربون، وقد اشتهر باسم الأسيتون وهو نفسه المستخدم لإزالة طلاء الأظافر، والأمثلة الآتية تُمثل بعض الكيتونات وأسمائها الشائعة:



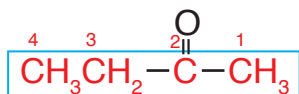
ثنائي إيثيل كيتون      إيثيل ميثيل كيتون      ثنائي ميثيل كيتون (الأسيتون)  
أمّا الطريقة المُتبعة لتسمية الكيتونات وفق نظام الأيوباك؛ فتجري بإضافة المقطع (ون) إلى اسم الألكان المقابل فيصبح (ألكانون)، والأمثلة الآتية توضح الخطوات المُتبعة عند التسمية:

## المثال 1



الحل:

أحدّد أطول سلسلة كربونية مستمرة في المركب، وأرقمها من الجهة الأقرب لمجموعة الكربونيل.



ألاحظ أن السلسلة غير مُتفرّعة وأنها مكونة من 4 ذرات كربون؛ أي مشتقة من البيوتان، وأن مجموعة الكربونيل تُمثل ذرة الكربون رقم 2؛ فيكون اسم المركب 2-بيوتانون، ولأن مجموعة الكربونيل ليس لها إلا موقع واحد هو ذرة كربون رقم 2؛ فيكتب اسم المركب: بيوتانون.

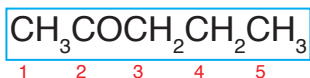
أمّا في الكيتونات التي تحتوي السلسلة الكربونية فيها على أكثر من 4 ذرات كربون؛ فإنه يُكتبُ رقم ذرة كربون مجموعة الكربونيل كما في المثال الآتي:

## المثال 12

أُسْمِي المُرْكَب الآتي وفق نظام الأيوباك:  $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$

الحلُّ:

أحدُّ أطول سلسلة كربونيّة مستمرة في المُرْكَب وأرقمها من الجهة الأقرب لمجموعة الكربونيل.



ألاحظُ أن السلسلة غير متفرّعة وأنها مُكوّنة من 5 ذرات كربون؛ أي مشتقة من البنتان، وأن مجموعة الكربونيل تُمثّل ذرة الكربون رقم 2؛ فأسمي المُرْكَب: 2-بتانول.

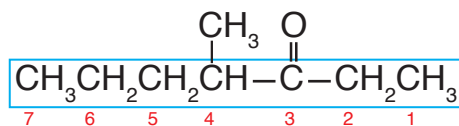
## المثال 13

أُسْمِي المُرْكَب الآتي وفق نظام الأيوباك:

$$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\overset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{CH}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2\text{CH}_3$$

الحلُّ:

أحدُّ أطول سلسلة كربونية مستمرة في المُرْكَب، وأرقمها من الجهة الأقرب لمجموعة الكربونيل، وأحدُّ المجموعات الفرعية وموقعها على السلسلة.



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 المُرْكَب: 4-ميثيل-3-هبتانول.

✓ أتحقّق:

أكتبُ الصيغة البنائية للمُرْكَب الآتي:  
4,3-ثنائي ميثيل-2-هكسانول

**أفكر:** أكتبُ الصيغة البنائية

لمتصاوغات الصيغة الجزيئية  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  وأسميها.



الجدول (11): درجة غليان بعض الألددهايدات والكيتونات مقارنة بالألكانات والكحولات.

الاسم	الصيغة	درجة الغليان (°C)
بتتان	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	36
بيوتانال	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$	76
بيوتانون	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$	80
1- بيوتانول	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$	118

أتوقعُ المُركَّب الأكثر ذائبيّة في الماء:



### الخصائص الفيزيائية للألددهايدات والكيتونات

#### Physical Properties of Aldehydes and Ketones

تعدُّ الألددهايدات والكيتونات مركباتٍ قطبيّةً بسبب احتوائها على مجموعة الكربونيل  $\text{C}=\text{O}$ ، وتترابط جزيئاتها في ما بينها بقوى ثنائيّة 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 الألددهايدات والكيتونات في الماء بسبب الروابط الهيدروجينية التي يُكوّنها الماء مع جزيئاتها، وتقلُّ ذائبيّتها في الماء بزيادة عدد ذرات الكربون في كلّ منها، كما تذوب الألددهايدات والكيتونات في المذيبات العضوية؛ وتستخدم مذيباتٍ عضويّةً بوصفها مذيبات عضوية أيضاً، والجدول (12) يوضّح بعض استخدامات الألددهايدات والكيتونات:

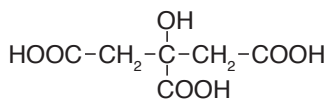
✓ **أتحقّقُ:** أحمّدُ المُركَّب الذي له أعلى درجة غليان: 2- بتتانون

أم 2- بتتانول

الجدول (12): بعض استخدامات الألددهايدات والكيتونات.

	يُستخدمُ محلول الفورمالدهايد المائي لحفظ أجسام بعض الكائنات الحيّة أو أجزاء منها.		يستخدم البروبانول بوصفه مذيباً في صناعة الموادّ اللاصقة.
	يستخدم البروبانول مادّة خام لتصنيع نوع من البلاستيك له استخداماتٌ متنوّعة. مثل صناعة أضوية السيارات.		يستخدم الميثانال في تحضير نوع من البلاستيك الصلب الذي يستخدم في صناعة أجزاء من السيارة مثل المقود ومبدل السرعة.

الشكل (15): تحتوي الحمضيات على حمض الستريك وصيغته البنائية.



الجدول (13): أسماء وصيغ بعض الحموض الكربوكسيلية.

الصيغة البنائية	اسم الحمض
HCOOH	حمض الميثانويك
CH <sub>3</sub> COOH	حمض الإيثانويك
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	حمض البروبانويك

### الربط بالعلوم الحياتية

قد تُسبب لسعة النملة إحساسًا بالألم ناتجًا عن إفرازها لحمض الميثانويك الذي يسبب هذا الألم؛ لذلك يُطلق عليه اسم حمض النمليك، ومن أسمائه الشائعة أيضًا حمض الفورميك. ويمكن معالجة هذا الألم باستخدام محلول قاعدي من كربونات الصوديوم الهيدروجينية.



## 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 اللاكتيك، وفي الخل حمض الأستيك وغيرها. فما الحموض الكربوكسيلية؟ وكيف تجري تسميتها؟

**الحموض الكربوكسيلية Carboxylic Acids**: حموض عضوية، صيغتها العامة R-COOH حيث R هي مجموعة ألكيل، وقد تكون H، و  $\text{O} \parallel \text{C} - \text{OH}$ ؛ هي مجموعة الكربوكسيل الوظيفية.

### تسمية الحموض الكربوكسيلية

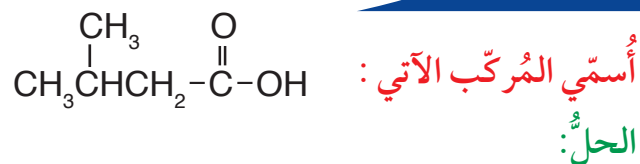
#### Nomenclature of Carboxylic Acids

تُسمى الحموض الكربوكسيلية وفق نظام الأيوباك بإضافة المقطع (ويك) إلى اسم الألكان المقابل، وكلمة حمض في بداية الاسم فيصبح الاسم العام لها حمض ألكانويك، والجدول (13) يتضمن بعض الحموض الكربوكسيلية وأسمائها.

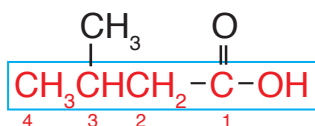
يلاحظ من الجدول أن أصغر الحموض الكربوكسيلية يتكون من ذرة كربون واحدة فقط هي ذرة كربون مجموعة الكربوكسيل، ويلاحظ أيضًا أن مجموعة الكربوكسيل هي مجموعة طرفية، لذلك؛ يبدأ منها ترقيم السلسلة الكربونية دائمًا في أي حمض كربوكسيلي، أي أن رقمها (1)، وبالتالي لا يُشار إليه في الاسم.

.....  
والأمثلة الآتية توضِّح الخطوات المتبَّعة لتسمية الحموض  
الكربوكسيلية وفق نظام الأيوباك:

## المثال 14



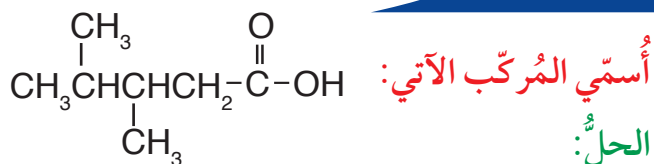
أُحدِّدُ أطول سلسلَةٍ كربونيَّةٍ مستمرة في المُرْكَب وأُرَقِّمها بدءًا من ذرة كربون مجموعة الكربوكسيل،  
وأُحدِّدُ المجموعات الفرعية ومواقعها على السلسلَة.



ألاحظُ أن أطول سلسلَةٍ كربونيَّةٍ متضمَّنة ذرة كربون مجموعة الكربوكسيل مكوَّنة من 4 ذرات كربون أيُّ  
مُشتقة من البيوتان، وأن مجموعة الميثيل مرتبطة بذرة الكربون رقم 3 فيكون اسم المُرْكَب:

حمض 3 - ميثيل بيوتانويك

## المثال 15



أُسْمِي المُرْكَب بالطريقة السابقة نفسها؛ فألاحظُ أن أطول سلسلَةٍ كربونيَّةٍ متضمَّنة ذرة كربون مجموعة  
الكربوكسيل مكوَّنة من 5 ذرات كربون؛ أي مشتقة من البنتان، وأن ذرة الكربون رقم 3 مرتبطة بمجموعة  
ميثيل وذرة كربون رقم 4 أيضًا، فيكون الاسم:

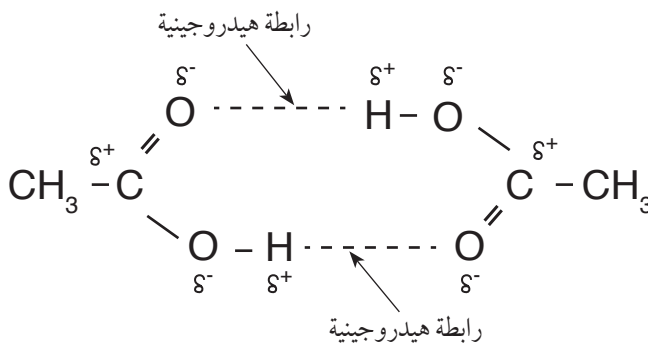
حمض 3، 4 - ثنائي ميثيل بنتانويك.

✓ أتحقَّق:

أكتبُ الصيغة البنائية للمُرْكَب الآتِي:

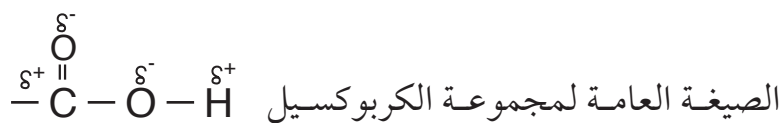
حمض 4 - إيثيل هكسانويك.

الشكل (16): الرابطة  
الهيدروجينية بين جزيئين من  
الحموض الكربوكسيلية.



## الخصائص الفيزيائية للحموض الكربوكسيلية

### Physical Properties of Carboxylic Acids



تحتوي مجموعة الكربوكسيل على مجموعة كربونيل قطبية ومجموعة هيدروكسيل قطبية أيضاً، وهي قادرة على تكوين روابط هيدروجينية، ويوضح الشكل (16) ترابط جزيئين من حمض الإيثانويك، يُلاحظ أن ذرة الهيدروجين في مجموعة الهيدروكسيل من أحد الجزيئين ترتبط برابطة هيدروجينية مع ذرة أكسجين مجموعة الكربونيل من الجزيء الآخر والعكس في الترابط الثاني، أي أن كل جزيئين يرتبطان برابطتين هيدروجينيتين ويُشكّلان ثنائياً (dimer)، ترتبط هذه الثنائيات بقوى لندن.

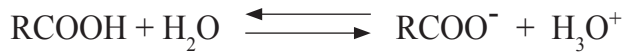
ولكن ما تأثير ذلك على الخصائص الفيزيائية للحموض الكربوكسيلية؟ لمعرفة ذلك؛ يُوضّح الجدول (13) درجة غليان حمض البروبانويك ودرجة غليان 1-بيوتانول، يُلاحظ ارتفاع درجة غليان حمض البروبانويك مقارنةً بكحول 1-بيوتانول مع أن قوى التجاذب بين جزيئات كل منهما هي الروابط الهيدروجينية؛ والسبب في ذلك هو أن عدد الروابط الهيدروجينية التي يكوّنها الحمض ضعف عددتها في الكحول.

الجدول (13): مقارنة درجة غليان حمض كربوكسيلي وكحول.

درجة الغليان (°C)	الكتلة المولية g/mol	المركب
141	74	حمض البروبانويك
118	74	1-بيوتانول

تذوب الحموض الكربوكسيلية في الماء؛ حيث ترتبط جزيئاتها بروابط هيدروجينية مع جزيئات الماء، وكلّما زاد عدد ذرات الكربون في مجموعة الألكيل R في الحمض قلّت الذائبيّة.

تتأين الحموض الكربوكسيلية عند ذوبانها في الماء حسب المعادلة:

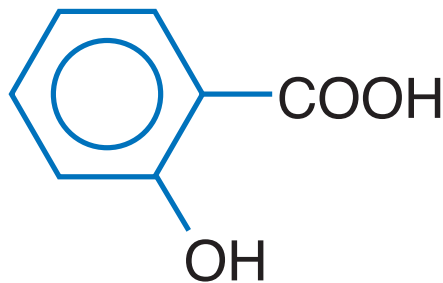


وتدخل الحموض الكربوكسيلية في صناعة العصائر، وتستعمل أملاحها في مجالات عدّة، منها ملح بنزوات الصوديوم  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$  الذي يستعمل مادة حافظة تُضاف إلى بعض الموادّ الغذائية المُصنّعة، كذلك يُستخدم حمض الساليسليك في صناعة الأسبرين. أنظر الشكل (17).

**أفكر:** بالرجوع إلى الجدول (13) أفسّر: لماذا جرت مقارنة درجة غليان حمض البروبانويك بكحول 1-بيوتانول وليس 1-بروبانول؟

✓ **أتحقّق:**

أي المُركّبين له أعلى درجة غليان:  
حمض البروبانويك، أم حمض البيوتانويك؟ أفسّر إجابتي.



الشكل (17): الصيغة البنائية لحمض الساليسليك.



## الإسترات Esters

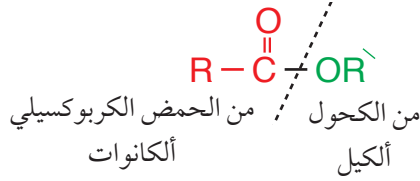
تُعرف الإسترات Esters بأنها مُركّباتٌ عضويّةٌ صيغتها العامة:



والإسترات هي رائحة الكيمياء الجميلة ونكهتها، فمعظم روائح الأزهار ونكهات الفواكه وروائحها هي إسترات طبيعية، أنظر الشكل (18). ويمكن تحضير الإسترات صناعياً من تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول؛ إذ تدخل في صناعة العطور الحلويات ومستحضرات التجميل والشموع العطرية وغيرها.

### تسمية الإسترات Nomenclature of Esters

يسمى الإستر حسب نظام الأيوباك، اعتماداً على الحمض الكربوكسيلي والكحول المكونان له، حيث يتكون الاسم من كلمتين؛ الأولى مشتقة من اسم الحمض باستخدام المقطع (وات) بدل المقطع (ويك)، والثانية تُمثّل مجموعة الألكيل المأخوذة من الكحول، فيكون اسم الإستر العام ألكانات الألكيل، كما هو موضح في الشكل الآتي:



الشكل (18): بعض أنواع الفواكه والإسترات المسؤولة عن الرائحة المميزة لها.



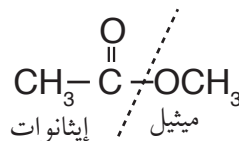
## المثال 16



أُسْمِي المُرْكَب الآتِي :

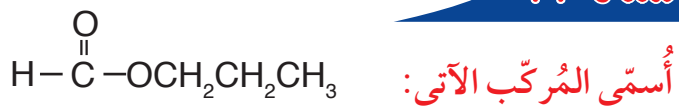
الحل:

أحدّد الشقّ من الحمض الكربوكسيلي، وهو الجزء الذي يحتوي على مجموعة الكربونيل، يُلاحظُ أنه مُكوّنٌ من ذرتي كربون؛ أي مشتق من حمض الإيثانويك فأُسْمِيه إيثانوات، أمّا الشقّ المأخوذ من الكحول فهو مجموعة الألكيل المرتبطة بذرة الأكسجين وهو مُكوّنٌ من ذرة كربون واحدة أي مجموعة ميثيل.



فيكونُ اسمُ المُرْكَب: إيثانوات الميثيل

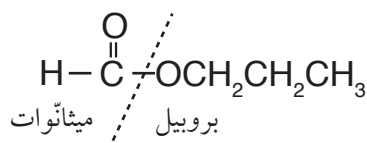
## المثال 17



أُسْمِي المُرْكَب الآتِي :

الحل:

أُكرّر الخطوات السابقة للتوصل إلى اسم المُرْكَب:



فيكونُ اسمُ المُرْكَب: ميثانوات البروبييل

**أفكر:** هل تشكل الحموض

الكربوكسيلية والإسترات المتساوية في عدد ذرات الكربون متصاوغاتٍ؟ أبرّر إجابتي.

✓ **أتحقّق:** أكتبُ الصيغة البنائية للمادة المسؤولة عن رائحة الأناناس: بيوتانوات الإيثيل.

الشكل (19): بعض  
استخدامات الإسترات.



### الخصائص الفيزيائية للإسترات Physical Properties of Esters

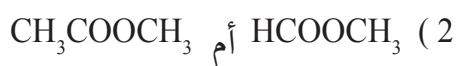
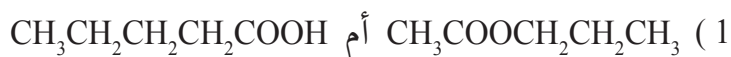
المجموعة الوظيفية المميزة للإسترات هي مجموعة الإستر - COO -؛

وهي مجموعة قطبية  $\delta^-$  -  $\text{O}^-$  -  $\text{C}^{\delta+}=\text{O}$  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 ذائبيتها في الماء، فالإسترات التي يزيد عدد ذرات الكربون فيها على (5) لا تذوب في الماء.

وتُعدُّ الإسترات مذيباتٍ جيدةً للمُركّبات العضوية، منها ما يستخدم لإذابة الدهون. وتدخل الإسترات أيضا في صناعة المواد اللاصقة وتستخدم في تصنيع أكريلات النايلون والبلاستيك المستخدم للتغليف كما في الشكل (19).

✓ **أتحقّق:**

أحدُّ المُركّب الذي له أعلى درجة غليان



## 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) وأرقامها بحيث تشير الأرقام إلى المُركّبات العضوية المستخدمة بالترتيب، قطارة مُدرّجة، حامل أنابيب اختبار.

### إرشادات السلامة:

- اتّبِعْ إرشادات السلامة العامّة في المختبر.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات والكمامة.
- أبعِدْ المُركّبات العضوية عن مصدر اللهب.
- أحذِرْ من استنشاق الموادّ العضويّة على نحوٍ مباشر.

### خطوات العمل:

- 1- أقيس (1 mL) من الماء المقطر باستخدام القطارة وأضعها في أنبوب الاختبار رقم (1).
- 2- أقيس (1 mL) من كحول الإيثانول باستخدام القطارة وأضيفها إلى أنبوب الاختبار رقم (1) قطرةً بعد قطرة، وأطرق 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- أسجّل بياناتي كالآتي: يمتزج كليًا، يمتزج جزئيًا، لا يمتزج.
- 5- أكرّر الخطوات السابقة باستخدام المُركّبات العضوية المتبقية وأسجّل ملاحظاتي.
- 6- **أنظّم البيانات:** أسجّل ملاحظاتي حول ذوبان كلّ مُركّب جدول.

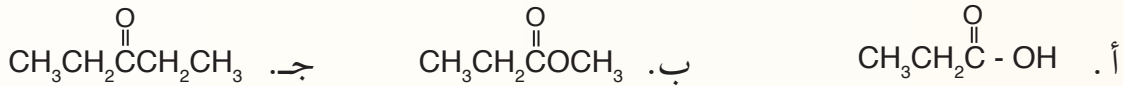
### التحليل والاستنتاج:

- 1- **أصنّف** المُركّبات العضوية حسب ذوبانها في الماء.
- 2- أحدّد نوع قوى التجاذب بين جزيئات كلّ مُركّب.
- 3- **أستنتج** العلاقة بين نوع قوى التجاذب بين جزيئات السائل وذوبانه في الماء.
- 4- **أستنتج** العلاقة بين عدد ذرات الكربون في المُركّب وذوبانه في الماء.
- 5- **أفسّر:** يذوب الإيثانول تمامًا في الماء، في حين لا يذوب 1-هكسانول تمامًا فيه.

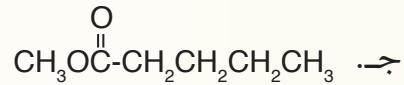
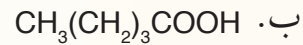
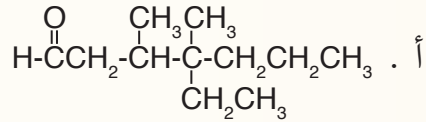
المُركّب العضوي	الحالة	صفة الذوبان في الماء
	يمتزج كليًا، يمتزج جزئيًا، لا يمتزج	ذائب، ذائب جزئيًا، لا يذوب

## مراجعةُ الدرس

- 1 - الفكرةُ الرئيسةُ: **أفسر**: على الرغم من تشابه الألديهيدات والكيتونات في المجموعة الوظيفية؛ إلا أنهما صُنفا بوصفهما نوعين مختلفين من المُركّبات العضوية.
- 2 - أوّضح المقصود بكلّ من: • الحموض الكربوكسيلية • الإسترات
- 3 - **أفسر** استخدام عددٍ من مُركّبات المُشتقّات الهيدروكربونية، مثل الإثيرات والكيتونات مذيّبات عضويّة.
- 4 - **أصنّف** المُركّبات العضوية الآتية، وأحدّد المجموعة الوظيفية في كلّ مُركّب:



- 5 - **أطبّق**: أَسْمِي المُركّبات الآتية وفق نظام الأيوباك:



- 6 - **أطبّق**: أكتب الصيغ البنائية للمُركّبات العضوية الآتية:

أ. الإستر المكون من الميثانول وحمض الميثانويك

ب. 3،3-ثنائي كلورو بيوتانال

- 7 - **أقارن**: أحدّد المُركّب الذي له أعلى درجة غليان في كلّ زوج من المُركّبات الآتية:

الرقم	الصيغ البنائية للمركبات
1	$\text{HCOOH}$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$
2	$\text{CH}_3\text{COCH}_3$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
3	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
4	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$



## المبلمرات Polymers

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 المبلمرات؟ وكيف تتكون؟ ولماذا تختلف في خصائصها؟ هذا ما سأتعرّفه في هذا الدرس.

تعرّف **المبلمرات Polymers** بأنها؛ جزيئات ضخمة ذات كتلة جزيئية كبيرة جداً، وتتكون من اتحاد عددٍ كبيرٍ من جزيئات صغيرة تُشكل وحدة البناء الأساسية للمبلمر وتُسمى **مونومر Monomers**. وتتجّ المبلمرات عن تفاعلٍ كيميائيٍّ يُسمى تفاعل **البلمرة Polymerization** تتحدُّ فيه وحدات البناء الأساسية المكوّنة للمبلمر ضمن ظروفٍ مناسبةٍ من: الضغط، ودرجة الحرارة، ووجود عوامل مساعدة، وللمبلمر خصائص فيزيائية وكيميائية تختلف عن خصائص المونومر المكوّن له. وتُصنّف المبلمرات إلى نوعين هما: مبلمرات صناعية ومبلمرات طبيعية، وقد يتكوّن المبلمر من وحدة بناءٍ أساسيةٍ واحدةٍ أو وحدتين أساسيتين أو أكثر.

## المبلمرات الصناعية Industrial Polymers

جزيئات ضخمة تُحضر صناعياً مثل مبلمر مُتعدد الإيثين ومُتعدد البروبين، وتُستخدم في صناعة البلاستيك، والألياف الصناعية، وغيرها. أنظر الشكل (20).



الشكل (20): أمثلة على مواد بلاستيكية.

### الفكرة الرئيسة:

المبلمرات مُركّباتٌ ضخمةٌ طبيعيةٌ أو صناعية، لكلٍ منها أهميته واستخداماته المرتبطة بتركيبه وخصائصه.

### نتائج التعلّم:

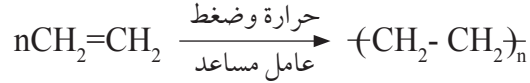
- أعرّف العلاقة بين المونومرات والمبلمرات.
- أفسّر أثر الاختلاف في التركيب البنائي للمبلمرات على خصائصها واستخداماتها.
- أكتب معادلات كيميائية توضح كيفية تكوّن بعض المبلمرات من مكوناتها الأساسية.
- أتوصل إلى أهمية المبلمرات في أجسام الكائنات الحية وفي الحياة اليومية.

### المفاهيم والمصطلحات:

Polymers	مبلمرات
Monomers	مونومرات
Polymerization	البلمرة
Industrial Polymers	المبلمرات الصناعية
Natural Polymers	المبلمرات الطبيعية
Proteins	البروتينات
Amino Acids	الحموض الأمينية
	تكنولوجيا المبلمرات
Polymer's Technology	

## مبلمر مُتعدّد الإيثين (بولي إيثيلين) Polyethene

من أشهر المُبلمرات التي تتكون من الكربون والهيدروجين فقط، مبلمرُ مُتعدّد الإيثين، أو ما يُعرف باسم (بولي إيثيلين)، حيث إنّ كلمة بولي هي كلمة لاتينية تعني متعدّد. يتكوّن مبلمر متعدّد الإيثين عند تسخين غاز الإيثين تحت ضغوطٍ كبيرة، وبوجود عامل مُساعدٍ؛ فترتبط جزيئات الإيثين نتيجةً لكسر الرابطة الثنائية ( $\pi$ ) مُكوّنةً سلسلةً طويلةً من مبلمر متعدّد الإيثين حسب المعادلة الآتية:



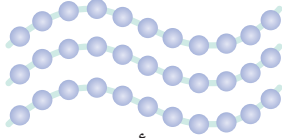
متعدد الإيثين (بولي إيثين) الإيثين

حيث تُمثّل ( $n$ ) عددًا كبيرًا من جزيئات الإيثين. وبذلك ينتج عن بلمرة غاز الإيثين مبلمرُ متعدّد الإيثين؛ وهو مادةٌ صلبةٌ يمكن تشكيلها بأشكالٍ متعدّدة يُطلَقُ عليها اسم البلاستيك.

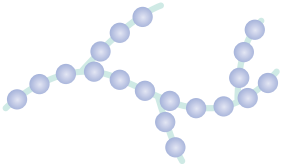
ويمكنُ التحكمُ بالخصائص الفيزيائية لمبلمر متعدّد الإيثين بالتحكم بطول سلسلة المبلمر؛ فالمُبلمر الذي يتكون من 100 مونومر أقلّ صلابةً وقساوة من المبلمر الذي يحتوي 1000 مونومر. وكذلك التحكمُ في مدى تفرُّع سلسلة المبلمر وتشابكها؛ ففي الشكل (أ/21) يُلاحظُ أنّ المُبلمر يتكون من سلاسل غير متفرّعةٍ ما يتيحُ لها التقارب والتراصُّ؛ فيكتسب قوةً وصلابةً، ويسمى هذا النوع مُبلمر متعدّد الإيثين عالي الكثافة (HDPE)، ويستخدم في صناعة خراطيم المياه والحاويات البلاستيكية والأدوات المنزلية وفي تغليف الاسلاك الكهربائية لأنه مادة عازلة. وفي الشكل (ب/21)، عندما تكون سلاسل المبلمر متفرّعةً، فهذا يعيق تقاربها وتراصُّها؛ فينتج مبلمرُ أقلّ صلابةً وقوّةً، ويسمى مبلمر متعدّد الإيثين منخفض الكثافة (LDPE)، ويستخدم في صناعة الأكياس البلاستيكية.

وفي الشكل (ج/21)؛ فإنّ سلاسل المبلمر متشابكةً (PEX)، لذلك يكونُ أكثر صلابةً وقوّة من مبلمر متعدّد الإيثين عالي الكثافة، فيستخدم في المجالات التي تحتاج منتجاتٍ بلاستيكيةً شديدة الصلابة.

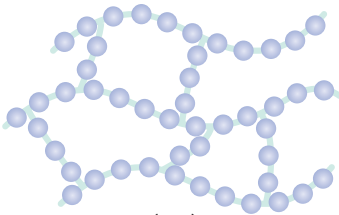
✓ **أتحقّقُ:** أقرّانُ بين مبلمر متعدّد الإيثين عالي الكثافة ومنخفض الكثافة، من حيث تفرُّع سلاسله، وقوة البلاستيك الناتج وصلابته.



(أ)



(ب)



(ج)

الشكل (21): التركيب البنائي لمبلمر متعدّد الإيثين.

## التجربة 2

### بناء نموذج لمبلمر متعدد الإيثين

#### المواد والادوات:

مجموعة نماذج الذرات (الكرات والوصلات).

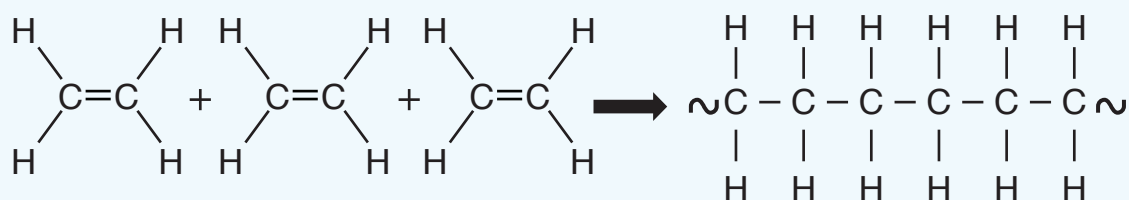


#### إرشادات السلامة:

- أتبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتدي المعطف والنظارات الواقية والقفازات.

#### خطوات العمل:

- 1- **أجرب:** أصمم 3 نماذج لجزيء الإيثين  $C_2H_4$  مستخدمًا الكرات والوصلات كما في الشكل.
- 2- **أجرب:** أفكّ الرابطة الثنائية في كل نموذج، وأربط إحدى ذرتي كربون من كل نموذج مع ذرة كربون من نموذج آخر.
- 3- **ألاحظ:** تكونت سلسلة من 6 ذرات كربون تمثل جزءًا من مبلمر متعدد الإيثين كما في الشكل الآتي:

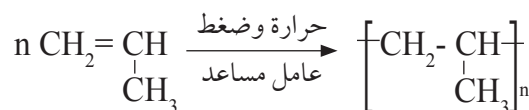


#### التحليل والاستنتاج:

- 1- أوضح: 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

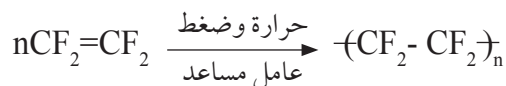
مُبلمر متعدّد البروبين (أو ما يعرف بولي بروبلين) ينتج من اتحاد عدد كبير من جزيئات البروبين  $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$  حيث يُمثّل وحدة البناء الأساسية في هذا المبلمر، والرابطة الثنائية تُمكن جزيئات البروبين من الارتباط معًا بأعداد كبيرة. تجري عملية البلمرة عند تسخين غاز البروبين تحت ضغوطٍ كبيرةٍ وبوجود عاملٍ مُساعد؛ فترتبط جزيئاته نتيجة لكسر الرابطة الثنائية ( $\pi$ ) مُكوّنةً سلسلةً طويلةً من مُبلمر متعدّد البروبين. يشبه مُبلمرُ متعدّد البروبين في خصائصه مبلمرَ متعدّد الإيثين؛ ولكنه أكثر صلابةً وسلاسله أطول؛ لذلك يستخدم في صناعة الأكواب والأطباق والعبوات البلاستيكية وفي صناعة السيارات؛ إذ يدخل في صناعة المصدات (مُخفّفات التصادم) في مقدمة السيارات، والمعادلة الآتية تُمثّل بلمرة البروبين للحصول على مبلمر متعدّد البروبين:



حيث تُمثّل  $n$  عددًا كبيرًا من جزيئات البروبين.

## مبلمرُ متعدّد رباعي فلورو إيثين (التفلون) Teflon

ينتج مبلمر التفلون من اتحاد عددٍ كبيرٍ من جزيئات رباعي فلورو إيثين  $\text{CF}_2=\text{CF}_2$  حيث يُمثّل وحدة البناء الأساسية في هذا المبلمر حسب المعادلة الآتية:



ويتميز التفلون بأنه لا يحترق، ولا يتآكل، ولا يتفاعل مع المواد الكيميائية، لذلك يستخدم في فرش ملاعب التزلج، وصنع الأواني المنزلية التي لا يلصق بها الطعام، وصنع الصمامات التي لا يلزمها التشحيم وعزل الأسلاك والكوابل.

### الربط بالصناعة



يتميزُ مبلمر متعدّد البروبين بأنّه حبيباتٌ بيضاء اللون؛ يجري تشكيلها بالضغط والحرارة وبوجود عوامل مساعدةٍ للحصول على المنتجات البلاستيكية المختلفة.



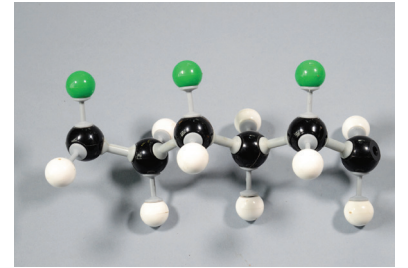
الاستخدام	اسم المبلمر	اسم المونومر	الصيغة البنائية للمونومر
الأنابيب البلاستيكية	متعدّد كلوريد الفينيل PVC	كلوريد الفينيل (كلورو إيثين)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$
الأقمشة	الإكريلان	بروبين نيتريل	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$
العزل الحراري	متعدّد الستايرين	الستايرين	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$

ويوضّح الجدول (14) بعض المبلمرات، ووحدات البناء الأساسية المكوّنة لها، واستخداماتها.

### ✓ أتحقّق:

الشكل المجاور يُمثّل جزءاً من مبلمر متعدّد كلوريد الفينيل، حيث تُمثّل الكرات البيضاء ذرات الهيدروجين، والكرات الخضراء ذرات الكلور والكرات السوداء ذرات الكربون:

- 1- أكتب الصيغة البنائية لهذا الجزء من المبلمر.
- 2- أكتب الصيغة البنائية للمونومر المكوّن له.



### المبلمرات الطبيعية Natural Polymers

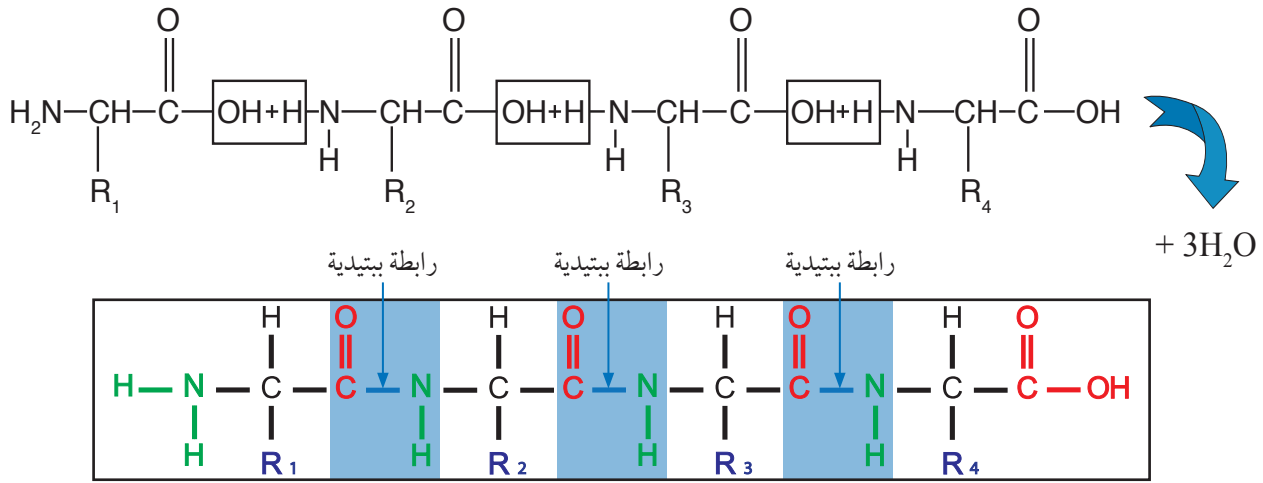
تعرّف **المبلمرات الطبيعية Natural Polymers** بأنها؛ جزيئات ضخمة تتكون من وحدات بناء أساسية تختلف باختلاف المبلمر، مثل البروتين، والنشا، والحريز، والصوف، وغيرها.

#### البروتينات Protiens

تعدّ البروتينات من المركّبات الحيوية المهمّة في أجسام الكائنات الحيّة، إذ تدخل في تركيب الخلايا الحيّة جميعها، وتؤدي وظائف حيوية متنوّعة في الجسم؛ فبوصفها أنزيمات وهرمونات تحفّز التفاعلات 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 الكيميائي؟

**أبحث:** أراجع إلى مواقع إلكترونية مناسبة عبر شبكة الإنترنت، وأبحث عن (المشكلات البيئية التي يسببها الاستخدام الكثيف للبلاستيك)، وأكتب تقريراً بذلك، أو أعدّ عرضاً تقديمياً حول الموضوع وأناقشه مع زملائي/ زميلاتي في الصف.



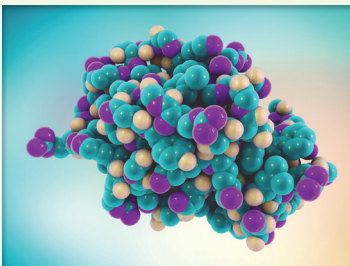
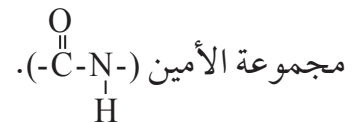


الشكل (22): الرابطة الببتيدية بين عدد من الحموض الأمينية.

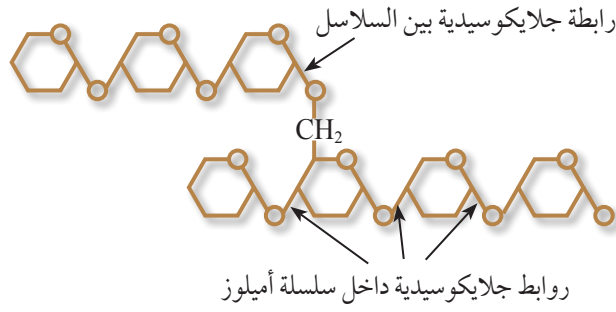
تُعرّف **البروتينات** **Protiens** بأنها مبلمراتٌ طبيعية تتكون من اتحاد عددٍ كبيرٍ من وحدات بناءٍ أساسيةٍ تُسمّى الحموض الأمينية.

تُعرّف **الحموض الأمينية** **Amino Acids** بأنها مُركّبات عضوية صيغتها العامة  $\text{R}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$ ، تحتوي على مجموعة كربوكسيل ( $-\text{COOH}$ )،

ومجموعة أمين ( $-\text{NH}_2$ )، وطرف هيدرو كربوني R يختلف باختلاف الحمض الأميني، ويحتوي البروتين على حموض أمينية عدّة تشكل وحدات البناء المكونة له، وتترابط في ما بينها بروابط ببتيدية (أמידية)، كما يوضح الشكل (22)، حيث تتفاعل مجموعة الكربوكسيل من حمضٍ أمينيٍّ ومجموعة الأمين من حمضٍ أمينيٍّ آخر بحذف جزيء ماء، وتنشأ الرابطة الببتيدية بين ذرة كربون مجموعة الكربونيل وذرة نيتروجين



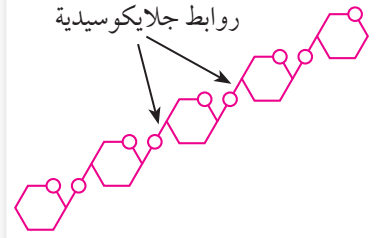
**الربط بالعلوم الحياتية** يعدُّ أنزيم الليزوزيم بروتينًا صغيرًا نسبيًا؛ إذ تبلغ الكتلة المولية له 14600 g/mol، ويوجد في الثدييات في الدموع، والعرق، والخلايا البيضاء، كمضادٍّ حيويٍّ يعمل على تحليل خلايا البكتيريا، ويوجد في بعض أنواع الفواكه مثل البابايا. ويوضح الشكل المجاور نموذجًا لهذا البروتين.



الشكل (23): الأميلوبكتين.

## النشا Starch

يوجد النشا في الكثير من المواد الغذائية، مثل البطاطا، والأرز، والقمح، والذرة، ويتكوّن من 3 عناصر رئيسية هي الكربون، والهيدروجين، والأكسجين، ويعدّ النشا Starch بلمراً طبيعياً يتكون من اتحاد عدد كبير من وحدات بناء أساسية هي سكر الجلوكوز  $C_6H_{12}O_6$ ، وتترابط في ما بينها بروابط إثيرية (C-O-C) تُسمى روابط جلايكوسيدية. ويتكون النشا من جزأين، الأميلوز الذي تترابط جزيئات السكر فيه بصورة سلاسل مستمرة تشكل 20% - 10% من كتلة النشا، والأميلوبكتين الذي يتكون من اتحاد سلاسل الأميلوز معاً بروابط جلايكوسيدية مكوناً سلاسل متفرعة تشكّل ما يقارب 80% - 90% من كتلة النشا. ويبيّن الشكل (23) اتحاد جزء من سلاسل الأميلوز مُكوّنة الأميلوبكتين.



الشكل (24): بلمر السليلوز.

## السليلوز Cellulose

يدخل السليلوز في تركيب جدران الخلايا النباتية، ويستخدم في الكثير من الصناعات، مثل الورق، والحبر الصناعي، والألبسة القطنية. ويُعدّ السليلوز Cellulose بلمراً طبيعياً وحدة بنائه الأساسية سكر الجلوكوز، وتترابط جزيئات الجلوكوز فيه بروابط جلايكوسيدية على صورة سلاسل غير متفرعة، أنظر الشكل (24).

✓ **أتحقّق:**

- 1- أوضّح المقصود بالرابطة الببتيدية (الأميدية).
- 2- أقرّن بين الأميلوز والأميلوبكتين من حيث:
  - وحدة البناء الأساسية.
  - تفرّع السلاسل.



## تكنولوجيا المبلمرات

### Polymer's Technology

يعدُّ علم المبلمرات وتقنياته  
Polymer's Technology أحدَ  
مجالاتِ الكيمياءِ المهمّةِ التي  
يجري تطوِيرُها من قبل المراكز  
البحثيّةِ ومُختبرات الجامعات،

مواد أولية لصناعة المبلمرات القابلة  
للتحلُّل.

ويهتمُّ بدراسة خصائص المبلمرات وتركيبها وتطبيقاتها في  
المجالات المختلفة، مثل تطوير مبلمرات ذات خصائص توصيلٍ  
كهربائيٍّ للاستخدام في التطبيقات الإلكترونية، وكذلك في صناعة  
الدهانات وتطوِيرها؛ وذلك بإضافة موانع التآكلِ ومواد تمنع نموَّ  
البكتيريا والفطريات. وفي مجال الطب تُستخدمُ المبلمرات القابلةُ  
للتحلُّل الحيوي لإيصالِ الدواء إلى المكان المُستهدف والسيطرة  
على إفرازه فيه؛ وذلك بتحميلِ الدواء على موادَّ لاصقةٍ فيمتصُّه  
الجلدُ، أو وضعُ الدواء داخلَ كبسولةٍ مصنوعةٍ من مبلمراتٍ خاصّةٍ  
تُغرسُ في المكان المُستهدف من الجسم؛ حيث تتحلَّل ببطءٍ وتُفرِّزُ  
الدواء خلال فترة معلومة. وتدخل المبلمرات في صناعة الخيوطِ  
الجراحيةِ وأجهزة تقويم العظام، مثل البراغي؛ إذ تتحلَّل بعض  
أنواعها بعد مدة زمنيّة.

ويُشترطُ في هذه المبلمرات؛ أن لا يرفضها الجسمُ وأن لا تسبِّبَ  
التهابًا، وأن تكونَ الموادُّ الناتجة عن تحلُّلها غيرَ ضارّةٍ، وأن يتمكنَ  
الجسم من التخلُّص منها بسهولةٍ.

✓ **أتحقّقُ:** أذكرُ أمثلةً على استخداماتِ المبلمراتِ في مجال  
الصناعة.

## مراجعةُ الدرس

1 - الفكرةُ الرئيسةُ: أوضِّح المقصود بالمبلمرات.

2 - **أفسِّر:**

- أ . استخدامُ البروبين في صناعة مبلمر متعدّد البروبين، في حين لا يمكن استخدام البروبان في ذلك.  
ب . استخدامُ مبلمر متعدّد الإيثين منخفض الكثافة في صناعة الأكياس البلاستيكية.  
ج . أهمية أبحاث تكنولوجيا المبلمرات في المجال الطبي.

3 - **أطبّق:**

- يُستخدم مبلمر الإكريلان في صناعة الأقمشة، وينتج عن بلمرة بروبين نيتريل وصيغته البنائية:  
 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ ، أجب عن الأسئلة الآتية:  
أ . ما نوع التفاعل بين جزيئات بروبين نيتريل لتكوين المبلمر؟  
ب . أرسم جزءاً من الصيغة البنائية لمبلمر الإكريلان مستخدماً جزيئين من بروبين نيتريل.

4 - **أقارن** بين السليلوز والبروتين من حيث:

- أ . وحدة البناء الأساسية.  
ب . نوع الرابطة بين وحدات البناء.  
ج . وظيفة حيوية واحدة لكلّ منها.

5 - اعتماداً على الجدول الآتي الذي يتضمّن قيم طاقة الرابطة لبعض الروابط:

طاقة الرابطة kJ/mol	الرابطة
413	C-H
348	C-C
485	C-F
385	C-O
327	C-Cl

**أفسِّر:** ثبات مبلمر التفلون مقارنةً بغيره من المبلمرات سواها الطبيعية أو الصناعية.

تُمثل المخلفات البلاستيكية التقليدية مُشكلةً بيئيةً معقدة؛ نظرًا لثباتها ومقاومتها للتحلل بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الطبيعة؛ ما يؤدي إلى تراكم كميات هائلة منها، سواء على اليابسة أو في مياه البحار والمحيطات، وهو ما يُشكل خطرًا على الكائنات الحية والبيئة. فكيف يمكن حل هذه المشكلة؟

نشطت الجامعات ومراكز الأبحاث في مختلف دول العالم في البحث عن حل لهذه المشكلة، وقد طور الكيميائيون أنواعًا مختلفة من البلاستيك القابل للتحلل ومنها:

1 - البلاستيك المليء بالنشا **Starch-filled Plastic**: طور العلماء نوعًا من البلاستيك يحتوي على كميات صغيرة من حبيبات النشا، وعند دفنه تقوم البكتيريا والفطريات الموجودة في التربة الرطبة بالتغذي على النشا ما يعمل على تفتيت البلاستيك إلى أجزاء صغيرة؛ فتزيد مساحة سطح البلاستيك المعرض للتحلل وبمساعدة العوامل المؤكسدة المضافة للبلاستيك يمكن أن تزداد سرعة التحلل.

2 - البلاستيك الحراري البكتيري **Bacterial Thermoplastic**: نجحت إحدى الشركات في تطوير نوع من البلاستيك يُصنع بواسطة البكتيريا يُسمى بولي هيدروكسي بيوترات PHB، حيث يُصنع من مواد تُنتجها البكتيريا عندما تتغذى على السكريات أو الكحول؛ فتنتج حبيبات من PHB يصنع منها البلاستيك. يتميز هذا النوع من البلاستيك بقابليته للتحلل بفعل البكتيريا أو الفطريات الموجودة في التربة أو البحار والمحيطات في غضون تسعة أشهر. وقد تمكن فريق آخر من الباحثين من إنتاج هذا النوع نفسه من البلاستيك (PHB) من الذرة وقصب السكر باستخدام أنزيمات خاصة.

3 - البلاستيك القابل للتحلل الضوئي **Photodegradable Plastic**: تصمم سلاسل المُبلمرات بحيث تحتوي على مجموعات الكربونيل  $C=O$  التي تمتص الطاقة ضمن نطاق الأشعة فوق البنفسجية، وتعمل الطاقة الممتصة على تكسير الروابط المحيطة بمجموعة الكربونيل، وعندما يتفكك المُبلمر إلى أجزاء صغيرة فإنها تتحلل حيويًا بشكلٍ أسرع.

4 - البلاستيك القابل للذوبان في الماء **Water Soluble Plastic**: طُوّر نوعٌ من البلاستيك يُسمى بولي إيثينول، بحيث يمكن التحكم بدرجة ذابئته في الماء وهو ما أدى إلى تنوع استخداماته. فيصنع منه أكياس بلاستيكية تستخدم في المستشفيات لتجميع الغسيل المتسخ، وعندما تغسل تذيب الأكياس البلاستيكية ويخرج الغسيل؛ ما يقلل من مخاطر انتشار الأمراض المعدية بسبب عمليات حمل غسيل المستشفيات ونقله.



تتعرض الكائنات البحرية للاختناق بسبب تناولها للمخلفات البلاستيكية



مراحل تحلل البلاستيك المملء بالنشا.

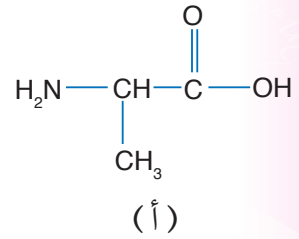
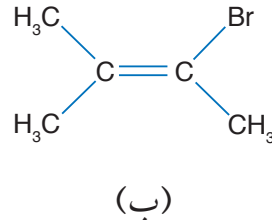
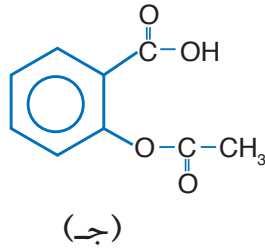
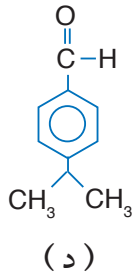


عملية دفن للمخلفات البلاستيكية القابلة للتحلل.



1. أوضح أثر اختلاف المجموعات الوظيفية للمركبات العضوية في خصائصها الفيزيائية.

2. أصنّف: أهدّد المجموعات الوظيفية في المركبات الآتية:



3. أوضح المقصود بكل من:

ج - المونومر

ب - تفاعل البلمرة

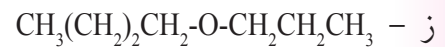
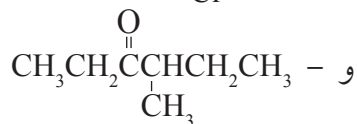
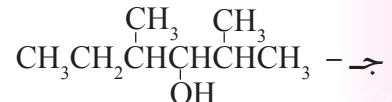
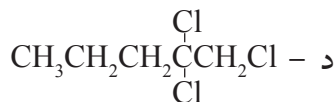
أ - التصاوغ الوظيفي

4. أفسّر:

أ - يذوب الإيثانال في الماء بينما لا يذوب الكلوروايثان.

ب - مبلمر متعدّد البروين أكثر صلابة وقوة من مبلمر متعدّد الإيثين.

5. أطبق: أسمي المركبات الآتية وفق نظام الأيوباك:



6. أطبق: أكتب الصيغ البنائية للمركبات الآتية:

ب . 2،2-ثنائي ميثيل-1-أمينو هكسان.

أ . 3،5-ثنائي ميثيل-2-هكسانون.

د . حمض 4،5-ثنائي ميثيل هبتانويك.

ج . 4-كلورو-2-بتانول.

و . 2-إيثيل-4-ميثيل بتانال.

هـ . الإستر الناتج عن تفاعل حمض البيوتانويك والإيثانول.

## مراجعة الوحدة

7. أصنّف: المُركَّبَ الآتيان يتميزان برائحة السمك الفاسد وهما:

5،1- ثنائي أمينو بنتان      4،1- ثنائي أمينو بيوتان

أ - أكتب الصيغة البنائية لكل منهما.

ب - ما نوع المُركَّب العضوي الذي يُمثّله؟

صيغة الكحول
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{OH}$

8. أدرُس الجدولَ المجاورَ الذي يتضمَّن ثلاثة كحولات؛ اعتمداً عليه أجب عن الآتي:

أ - أرتب الكحولات حسب تزايد درجة غليانها، أفسر ذلك.

ب - أتوقّع: هل تذوب المُركَّبات الثلاثة تماماً في الماء؟ أفسر إجابتي.

9. أقرن: يشترك المُركَّبان بيوتانال و 2- ميثيل بروبانال في الصيغة الجزيئية  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ .

أ - أكتب الصيغة البنائية لكل منهما.

ب - هل يُمثّل المُركَّبان متصاوغين؟ ما نوع التصاوغ بينهما؟

ج - هل يتشابه المُركَّبان في درجة غليانها؟ أفسر إجابتي.

10. الجدول الآتي يوضّح درجات الغليان لبعض المُركَّبات العضوية المتقاربة في الكتلة المولية، أدرُس

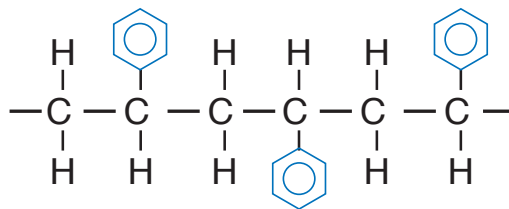
الجدول، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

درجة الغليان °C	المُركَّب العضوي
-0.5	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
50	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$
97	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
118	$\text{CH}_3\text{COOH}$

أ - أفسر ارتفاع درجة الغليان بالانتقال من البيوتان إلى حمض الإيثانويك.

ب - أفسر: ذائبية 1- بروبانول أقل من ذائبية حمض الإيثانويك في الماء.

11. أدرس الشكل الآتي الذي يُمثّل جزءاً من الصيغة البنائية لمبلمر أحد أنواع البلاستيك؛ ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

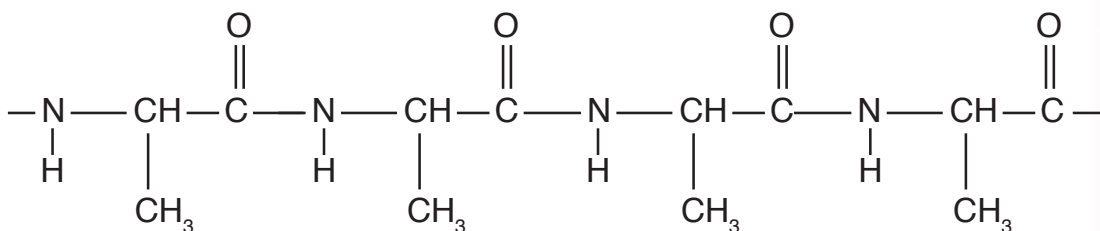


- أ - ماذا يُسمّى هذا النوع من البلاستيك؟  
 ب - أكتب الصيغة البنائية للمونومر المُكوّن له.  
 ج - ما نوع التفاعل الذي يؤدي لتكوينه؟  
 د - ما نوع قوى التجاذب التي تربط سلاسل هذا المبلمر بعضها ببعض؟

12. أقيم: أحدد الخطأ في أسماء المركبات الآتية ثم أعيد تسميتها:

- أ - 4- ميثيل -3- أمينو بنتان.  
 ب - 4- بروبييل -3- هكسانول.  
 ج - حمض 4- ايثيل -1- بنتانويك.  
 د - 3، 3- كلورو -4- ميثيل هكسان.

13. أدرس الشكل الآتي الذي يُمثّل جزءاً من سلسلة بروتين وأجب عن الأسئلة الآتية:



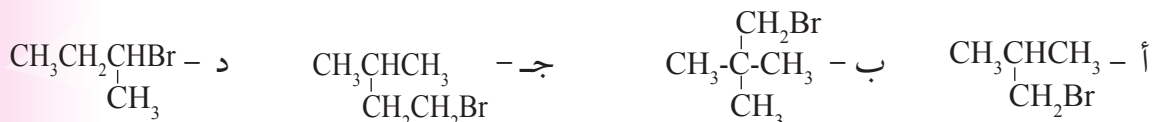
- أ - أستنتج عدد الحموض الأمينية المكونة لهذا الجزء من سلسلة البروتين.  
 ب - أكتب الصيغة البنائية للوحدات الأساسية المكونة له.  
 ج - أستنتج عدد الروابط الببتيدية بين الوحدات الأساسية المكونة له.

14. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

(1) عدد متساوغات الصيغة الجزيئية  $C_3H_6Cl_2$  يساوي:

أ - 3      ب - 4      ج - 5      د - 6

(2) أحد بروميدات الألكيل الآتية يسمى 2- برومو بيوتان:



(3) المركب الآتي  $CH_3-O-CH_2CH_3$  ينتمي إلى:

أ - الإثيرات      ب - الألديهيدات      ج - الكيتونات      د - الإسترات

(4) توجد مجموعة الكربونيل  $C=O$  في المركبات الآتية ما عدا:

أ - الألديهيدات      ب - الكيتونات      ج - الحموض الكربوكسيلية      د - هاليدات الألكيل

(5) نوع المركب الذي يُمثله الجزيء  $CH_3CH_2CH(CH_3)-NH_2$ :

أ - أمين أولي      ب - ثنائي أمين      ج - أمين ثانوي      د - أمين ثالثي

(6) أحد المركبات الآتية يمكن استخدامه وحدة أساسية لتكوين مُبلمرٍ صناعيٍّ:

أ -  $CH_3CH_3$       ب -  $CHCl=CHCl$       ج -  $CH_3CH_2OH$       د -  $CH_2ClCH_2Cl$

## مسرد المصطلحات

- الحسابات الكيميائية **Stoichiometry**: دراسة العلاقات الكمية بين المواد المتفاعلة والنااتجة في التفاعل الكيميائي.
- الأيونات المتفرجة **Spectator Ions**: الأيونات التي لم تتغير في عدد ذراتها، وشحنتها، ولم تشارك في التفاعل، ولم يحدث لها تغير كيميائي.
- المعادلة الأيونية الكاملة **Complete Ionic Equation**: المعادلة التي تظهر فيها الجسيمات التي في المحلول جميعها.
- المعادلة الأيونية النهائية **Net- Ionic Equation**: المعادلة التي تظهر فيها الأيونات المتفاعلة فقط.
- المادة المحددة للتفاعل **Limiting Reactant**: المادة التي تستهلك كلياً في التفاعل وتحدد كمية الناتج المتكوّن.
- المادة الفائضة **Excess Reactant**: المادة التي لم تستهلك كاملةً في أثناء التفاعل.
- الإحلال المزدوج **Double Displacement**: إحلال الأيون الموجب (أو السالب) من مركب محلّ الأيون الموجب (أو السالب) من مركب آخر.
- تفاعل التعادل **Neutralization Reaction**: تفاعل حمض مع قاعدة لإنتاج الملح والماء.
- تفاعل الترسيب **Precipitation Reaction**: تفاعل يظهر فيه مادة راسبة نتيجة خلط محلولين للمحيز ذائبين.
- التفاعلات غير المنعكسة **Irreversible Reactions**: تفاعلات تسري باتجاه واحد نحو تكوين المواد الناتجة.
- التفاعل الأمامي **Forward reaction**: التفاعل الذي يحدث باتجاه تكوين المواد الناتجة في التفاعل المنعكس.
- التفاعل العكسي **Reverse Reaction**: التفاعل الذي يحدث باتجاه تكوين المواد المتفاعلة في التفاعل المنعكس.
- التفاعلات المنعكسة **Reversible Reaction**: تفاعلات تحدث بالاتجاهين الأمامي والعكسي في الوقت نفسه.
- الاتزان الديناميكي **Dynamic Equilibrium**: حالة يصل إليها التفاعل ويستمر عندها حدوث التفاعل بالاتجاهين الأمامي والعكسي بالسرعة نفسها.
- سرعة التفاعل الأمامي **Forward reaction Rate**: السرعة التي تتحول فيها المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة في التفاعل المنعكس.
- سرعة التفاعل العكسي **Reverse Reaction Rate**: السرعة التي تتحول فيها المواد الناتجة إلى مواد متفاعلة في التفاعل المنعكس.
- موضع الاتزان **Equilibrium Position**: حالة الاتزان التي تكون عندها نسبة المواد الناتجة أكبر من المواد المتفاعلة، ويكون الاتزان مزاخاً جهة المواد الناتجة، أو تكون نسبة المواد المتفاعلة أكبر من المواد الناتجة، ويكون الاتزان مزاخاً نحو المواد المتفاعلة.



- مبدأ لوتشاتيليه **Le Chatelier's Principle**: مبدأ ينص على أن " أي تغيير في أحد العوامل المؤثرة في الاتزان لتفاعل كيميائي مُتزن يدفع التفاعل إلى تعديل موضع الاتزان للتقليل من أثر ذلك التغيير".
- قانون فعل الكتلة **Mass Action Law**: قانون ينص أنه " عند درجة حرارة معينة يصل التفاعل إلى حالة تكون عندها نسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة قيمة ثابتة".
- ثابت الاتزان **Equilibrium Constant**: تعبيرٌ يُمثل نسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة، مرفوعاً كل منها إلى قوة تساوي معاملاتها في المعادلة الموزونة.
- الاتزان المتجانس **Homogeneous Equilibrium**: حالة الاتزان التي تكون فيها المواد المتفاعلة والناتجة جميعها في حالات فيزيائية نفسها سواء أكانت غازات أم محاليل.
- اتزان غير المتجانس **Heterogeneous Equilibrium**: حالة الاتزان التي تكون فيها المواد المتفاعلة والناتجة في حالة فيزيائية متنوعة (صلبة، أو سائلة، أو غازية).
- الحمض الضعيف **Weak Acid**: مادة تتأين في الماء منتجةً أيون الهيدروجين ( $H^+$ )، وأيوناً سالباً آخر، تكون تراكيزهما في حالة اتزان مع تركيز جزيئات الحمض غير المتأينة.
- أيون الهيدرونيوم **Hydronium Ion ( $H_3O^+$ )**: أيونٌ ينتج عن ارتباط أيون الهيدروجين في المحلول بجزيئات الماء.
- ثابت تأين الحمض **Acid Dissociation Constant ( $K_a$ )**: ثابت الاتزان لتأين الحمض الضعيف في الماء.
- القاعدة الضعيفة **Weak Base**: مادة تتأين في الماء منتجةً أيون الهيدروكسيد ( $OH^-$ ) وأيوناً موجباً آخر، وتكون تراكيزها في حالة اتزان مع تركيز جزيئات القاعدة غير المتأينة.
- ثابت تأين القاعدة **Base Dissociation Constant ( $K_b$ )**: ثابت الاتزان لتأين القاعدة الضعيفة في الماء.
- مركبات عضوية **Organic Compounds**: المركبات التي تتكوّن بشكل رئيس من الكربون ما عدا أكاسيد الكربون والكربيدات والكربونات.
- المركبات الهيدروكربونية المشبعة **Saturated Hydrocarbons**: مركبات ترتبط ذرات الكربون فيها بروابط تساهمية أحادية فقط.
- الألكانات **Alkanes**: مركبات هيدروكربونية تحتوي على روابط تساهمية أحادية فقط.
- الألكانات ذات السلاسل المستمرة **Continuous Chain Alkanes**: الألكانات التي ترتب فيها ذرات الكربون بخط واحد.
- الألكانات المتفرعة **Branched Chain Alkanes**: الألكانات التي تحتوي على مجموعات ألكيل متفرعة من السلسلة الأطول.

- **مجموعات الألكيل Alkyl groups:** تفرعات مشتقة من الألكانات الأصلية بحذف ذرة هيدروجين واحدة؛ فتكون الصيغة العامة لها  $(C_nH_{2n+1})$  وتسمى باستبدال المقطع (يل) بالمقطع (ان) في اسم الألكان ويرمز لها بالرمز R.
- **التصاوغ Isomerism:** وجود صيغ بنائية مختلفة للصيغة الجزيئية نفسها.
- **المتصاوغات البنائية Structural isomers:** اختلاف ترتيب ذرات الكربون في الألكان عن السلسلة المستمرة.
- **ألكينات Alkenes:** مركبات هيدروكربونية تحتوي على رابطة مشتركة ثنائية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين إحداهما رابطة  $\sigma$  والأخرى  $\pi$ .
- **ألكينات Alkynes:** أحد أنواع مركبات هيدروكربونية تحتوي كل منها على رابطة ثلاثية واحدة على الأقل بين ذرتي كربون متجاورتين ولها الصيغة العامة  $C_nH_{2n-2}$ ، وينتهي اسمها بالمقطع (اين).
- **المركبات الأروماتية Aromatic Compounds:** المركبات الهيدروكربونية ذات الرائحة العظرية المميزة، ويُعدُّ البنزين أشهرها، حيث تتكون هذه المركبات من حلقة بنزين أو أكثر.
- **مشتقات المركبات الهيدروكربونية Derivatives Of Hydrocarbons:** مركبات عضوية تحتوي بالإضافة للكربون والهيدروجين على ذرة أو أكثر من عناصر أخرى؛ مثل الأكسجين، أو الهالوجين، أو النيتروجين، أو الكبريت، أو الفسفور.
- **مجموعة وظيفية Functional Group:** ذرة أو مجموعة الذرات أو الروابط المسؤولة عن الخصائص المميزة للمركب العضوي، وتُعدُّ مركز النشاط الكيميائي فيه.
- **هاليدات الألكيل Alkyl Halides:** مركبات هيدروكربونية حلت فيها ذرة هالوجين أو أكثر محل ذرة أو ذرات هيدروجين، أبسط المشتقات الهيدروكربونية، الصيغة العامة لها R-X.
- **الكحولات Alcohols:** مركبات عضوية صيغتها العامة R-OH حيث تمثل مجموعة الهيدروكسيل (-OH) المجموعة الوظيفية المميزة لها وتمثل R مجموعة ألكيل.
- **الإثيرات Ethers:** مركبات عضوية صيغتها العامة R-O-R، ترتبط فيها ذرة الأكسجين التي تمثل 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.
- **الألدهيدات Aldehydes:** مركبات عضوية الصيغة العامة لها  $R-C(=O)-H$ ، ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بذرة هيدروجين واحدة على الأقل.
- **الكيتونات Ketones:** مركبات عضوية الصيغة العامة لها  $R-C(=O)-R$  ترتبط فيها مجموعة الكربونيل بمجموعتي ألكيل، أي أنها ليست طرفية.

- **الحموض الكربوكسيلية Carboxylic Acids:** حموضٌ عضويّةٌ، صيغتها العامة R-COOH؛ حيث R هي مجموعة ألكيل وقد تكون H، و(-COOH) هي مجموعة الكربوكسيل الوظيفية التي تتكون من مجموعة كربونيل مرتبطة بمجموعة هيدروكسيل.

- **الإسترات Esters:** مُركّباتٌ عضويّةٌ صيغتها العامة:  $R - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} - \text{OR}$ ، وهي من مشتقات الحموض الكربوكسيلية؛ إذ تُنتج صناعياً من تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول.

- **مبلمرات Polymers:** جزيئاتٌ ضخمةٌ ذات كتلة جزيئية كبيرة جداً تتكون من اتحاد عددٍ كبيرٍ من جزيئات صغيرة.
- **مونومرات Monomers:** وحدة البناء الأساسية المكونة للمبلمر.

- **عملية البلمرة Polymerization:** تفاعلٌ كيميائيٌ تتحدُّ فيه وحدات البناء الأساسية المكوّنة للمبلمر ضمن ظروفٍ مناسبةٍ من: الضغط، ودرجة الحرارة، ووجود عوامل مساعدة.

- **المبلمرات الصناعية Industrial Polymers:** جزيئاتٌ ضخمةٌ تتكون صناعياً من اتحاد عددٍ كبيرٍ من وحدات بناءٍ أساسيةٍ، مثل البلاستيك والألياف الصناعية.

- **المبلمرات الطبيعية Natural Polymers:** جزيئاتٌ ضخمةٌ تتكوّن في أجسام الكائنات الحية، نباتيةً أو حيوانيةً، وتتكوّن من وحدات بناءٍ أساسيةٍ تختلف باختلاف المبلمر، مثل: البروتين، والنشا، والسليلوز، والحبر، والصوف.

- **البروتينات Proteins:** مبلمراتٌ طبيعيّةٌ تتكون من اتحاد عدد كبير من وحدات بناءٍ أساسيةٍ (مونومرات) تُسمّى الحموض الأمينية.

- **الحموض الأمينية Amino Acids:** مُركّباتٌ عضويّةٌ الصيغة العامة لها  $R - \overset{\text{NH}_2}{\text{CH}} - \text{COOH}$ ، تحتوي على مجموعتي كربوكسيل (-COOH)، وأمين (-NH<sub>2</sub>)، وهي وحدات البناء الأساسية المكوّنة للبروتين.

- **النشا Starch:** مبلمرٌ طبيعيٌّ يتكون من اتحاد عددٍ كبيرٍ من وحدات بناءٍ أساسيةٍ، هي سكر الجلوكوز C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>، وتترابط في ما بينها بروابط تُسمّى روابط جلايكوسيدية، تتكون من نوعين من المبلمرات الأميلوز والأميلوبكتين.

- **السليلوز Cellulose:** مبلمرٌ طبيعيٌّ وحدة البناء الأساسية له سكر الجلوكوز، تترابط جزيئات الجلوكوز فيه بروابط جلايكوسيدية مُشكّلة سلاسل متوازية غير متفرعة.

- **تكنولوجيا المبلمرات Polymer's Technology:** أحد مجالات الكيمياء التي تهتم بدراسة خصائص المبلمرات وتركيبها وتطبيقاتها المختلفة.

## قائمة المراجع

### أولاً- المراجع العربية:

- خليل حسام، موسوعة الكيمياء الشاملة، دار أسامة للنشر، ج 2، 2009 م
- صالح محمد، صابر محمد، عثمان عثمان، أسس ومبادئ الكيمياء، ج 2، الدار العربية للنشر، 2000 م
- إبراهيم صادق الخطيب، مصطفى تركي عبيد، الكيمياء العامة، دار المسيرة للنشر والتوزيع، عمان، 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 الدرمللي، الدليل في الكيمياء: الكيمياء العامة؛ ماهيتها، عناصرها، دار العلم والإيمان ودار الجديد للنشر والتوزيع، 2018 م.

### ثانياً- المراجع 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, New York, 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, Mtt, Waterman, 2nd Ed, Pearson Education , Inc 2012
- Lawrie Rayan, **Advanced Chemistry** for You, Nelson Thornes, 2012
- Mc Murry John, **Fundamentals of Organic Chemistry** , 5th Ed Thomson Learning Inc. 2003

