المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

الكيمياء

الصف الثاني عشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

12

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

بلال فارس محمود تيسير أحمد الصبيحات

جميلة محمود عطية

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

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

قـرَّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هذا الكتـاب في مدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعها، بنـاءً على قـرار المجلس الأعلى للمركـز الوطنـي لتطوير المناهج في جلسـته رقـم (2022/7)، تاريخ 2022/11/8 م، وقـرار مجلس التربية والتعليـم رقم (2022/113)، تاريـخ 2022/12/6 م، بـدءًا من العام الـدراسي 2022 / 2023 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2022.
- 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 - 505 - 4

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2023/5/2620)

بيانات الفهرس الأولية للكتاب:

عنوان الكتاب	الكيمياء/ كتاب الطالب الصف الثاني عشر الفصل الدراسي الثاني
إعداد / هيئة	الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج
بيانات النشر	عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج ، 2023
رقم التصنيف	375.001
الواصفات	**/ تطوير المناهج/ / المقررات الدراسية/ / مستويات التعليم/ / المناهج/**
الطبعة	الأولى

يتحمَّل المُؤلِّف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مُصنَّفه، ولا يُعبِّر هذا المُصنَّف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

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

الطبعة الأولى (التجريبية)
أُعيدت طباعته

منهاجي
متعة التعليم الهادف

1443 هـ / 2022 م
2023 م – 2024 م

قائمة المحتويات

الموضوع ..... **الصفحـة**

المقدّمة 5

الوحدة الثالثة: الكيمياء الحركية **7**

التجربة الاستهلالية: أثر زيادة تركيز المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل الكيميائي 9

الدرس الأول: سرعة التفاعلات الكيميائية 10

الدرس الثاني: قوانين سرعة التفاعلات 23

الدرس الثالث: نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل 34

الإثراء والتوسّع: تقليل تلف الأطعمة 49

مراجعة الوحدة 50

الوَحدة الرابعة: الكيمياء العضوية **53**

التجربة الاستهلاليّة: الكشف عن المجموعات الوظيفية في بعض المركبات العضوية 55

الدرس الأول: تفاعلات المركبات العضوية؛ الإضافة والحذف 56

الدرس الثاني: تفاعلات الاستبدال والتأكسد والاختزال 70

الدرس الثالث: تحضير المركبات العضوية 86

الإثراء والتوسّع: تحضير حمض الفورميك من أكسدة الكتلة الحيوية 113

مراجعة الوحدة 114

مسرد المصطلحات 118

قائمة المراجع 120

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

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

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

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

يتألَّف الكتاب من وحدتين دراسيتين، هما: الكيمياء الحركية، والكيمياء العضوية.

أُلحِقَ بكتاب الكيمياء كتابٌ للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعده على تنفيذها بسهولة، وذلك اعتمادًا على منحنى STEAM في بعضها، بدءًا بعرض الأساس النظري لكل تجربة، وبيان خطوات العمل وإرشادات السلامة، وانتهاءً بأسئلة التحليل والاستنتاج. وَتَضَمَّنَ الكتاب أيضًا أسئلة تفكير متنوعة؛ بُغْيَةَ تعزيز فهم

الطالب لموضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديه.

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

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدةُ 3

الكيمياء الحركية

Kinetic Chemistry

أتأمَّلُ الصورة

تتفاوت التفاعلات الكيميائية في زمن حدوثها، وتختلف سرعاتها تبعًا لذلك؛ فالصوديوم يتفاعل بسرعة كبيرة مع الماء كما يظهر في الصورة. هذه المشاهدة وغيرها؛ دفعت العلماء إلى البحث في اختلاف سرعة التفاعلات الكيميائية، وكيفية التحكم فيها لزيادة سرعتها أو إبطائها. فما المقصود بسرعة التفاعل الكيميائي؟ ولماذا تتفاوت التفاعلات في سرعة حدوثها؟ وما العوامل المؤثرة فيها؟

الفكرةُ العامّة:

تتفاوت التفاعلات الكيميائية في سرعات حدوثها، اعتمادًا على مجموعة من العوامل التي تؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل أو إبطائها. حيث يمكن التحكم في سرعة التفاعل الكيميائي عن طريق ضبط تلك العوامل.

الدرس الأول: سرعة التفاعلات الكيميائية.

الفكرة الرئيسة: تقاس سرعة التفاعل الكيميائي من التجربة العملية؛ بتغير كميات المواد المتفاعلة أو الناتجة بمرور الزمن، ويمكن حساب سرعة استهلاك مادة متفاعلة أو سرعة تكوّن مادة ناتجة خلال مدة زمنية محددة، وكذلك يمكن حساب السرعة المتوسطة والابتدائية واللحظية من الرسم البياني.

الدرس الثاني: قوانين سرعة التفاعلات.

الفكرة الرئيسة: يصف قانون سرعة التفاعل الكيميائي العلاقة بين سرعة التفاعل وتراكيز المواد المتفاعلة؛ مرفوعةً لأسس محددة يجري التوصل إليها بالتجربة العملية.

الدرس الثالث: نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.

الفكرة الرئيسة: تؤدي التصادمات الفعّالة بين جسيمات المواد المتفاعلة إلى حدوث التفاعل الكيميائي. وتتحدد سرعة التفاعل بعوامل عدة تؤدي إلى زيادتها أو إبطائها.

أثر زيادة تركيز المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل الكيميائي

الموادُّ والأدواتُ: شريطُ مغنسيوم Mg، أنبوبَي اختبار زجاجيّين، حامل أنابيب اختبار، محلولين من حمض الهيدروكلوريك HCl، تراكيزها 1 M , 0.01 M، ورق صنفرة ، ساعة إيقاف.

إرشاداتُ السلامة:

- أتّبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- أرتدي معطف المختبر والقفازات والنظارات الواقية.
- أحذر لمس حمض الهيدروكلوريك.

خُطواتُ العمل:

1. ألصق قطعة من الشريط الورقي اللاصق على كل أنبوب زجاجي، وأرقمها (1، 2) على الترتيب.
2. **أقيس** بالمخبار 10 mL من حمض الهيدروكلوريك، تركيزه؛ 1 M، وأضعها في الأُنبوب رقم (1).
3. **أقيس** بالمخبار 10 mL من حمض الهيدروكلوريك، تركيزه؛ 0.01 M، وأضعها في الأُنبوب رقم (2).
4. أقُصّ 10 cm من شريط المغنيسيوم، ثم أنظّفهُ باستخدام ورق الصَّنفرة. وأقطعهُ إلى قطعتين متساويتين.
5. **ألاحظ:** أضيف قطعة من المغنيسيوم إلى كل أُنبوب في الوقت نفسه، وأستخدم ساعة الإيقاف؛ لتحديد زمن بدء التفاعل، وزمن وانتهائه في كل أنبوب، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
6. **أنظّم ملاحظاتي** في جدول البيانات الآتي:

رقم الأنبوب / الزمن	الأنبوب (1)	الأنبوب (2)
زمن بدء التفاعل		
زمن انتهاء التفاعل		

التحليلُ والاستنتاج:

1- **أستنتج:** كيف أستدلّ على حدوث التفاعل الكيميائي؟

2- أحدد أيًّا من الأنبوبين كانت سرعة التفاعل فيه أكبر.

3- أكتب معادلة كيميائية موزونة تصف التفاعل الحاصل.

الدرس 1

سرعة التفاعُلات الكيميائية
Rate of Chemical Reactions

الفكرةُ الرئيسة:

تقاس سرعة التفاعل الكيميائي من التجربة العملية بتغيّر كميات المواد المتفاعلة أو الناتجة بمرور الزمن، ويمكن حساب سرعة استهلاك مادة متفاعلة أو سرعة تكوّن مادة ناتجة خلال مدة زمنية محددة، وكذلك يمكن حساب السرعة المتوسطة والابتدائية واللحظية من الرسم البياني.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أوضّح مفهوم سرعة التفاعل الكيميائي وأعطي أمثلة عليه.
- أحسب سرعة التفاعل لمادة متفاعلة أو ناتجة بمعرفة تغير التركيز مع الزمن.
- أحسب سرعة التفاعل المتوسطة والسرعة الإبتدائية واللحظية من الرسم البياني.

المفاهيمُ والمصطلحات:

سرعة التفاعل الكيميائي
Rate of Chemical Reaction

السرعة المتوسطة Mean Rate

السرعة الابتدائية Initial Rate

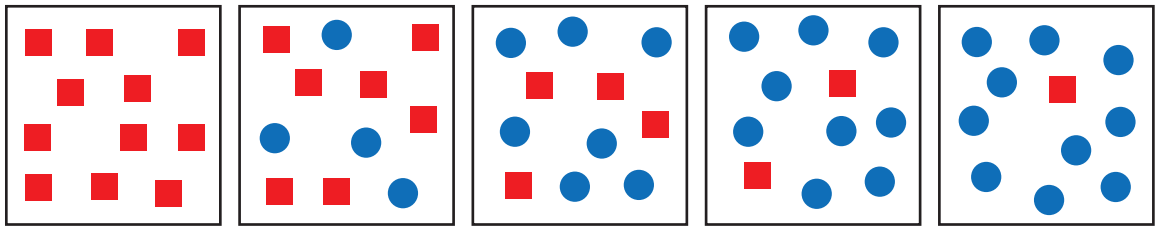
السرعة اللحظية Instantaneous Rate

مفهوم سرعة التفاعُل Concept of Reaction Rate

يهتم فرع الكيمياء الحركية بدراسة التغير في سرعة التفاعلات الكيميائية والعوامل المؤثرة فيها. وتوصف التفاعلات الكيميائية بأنها سريعة أو بطيئة؛ تبعًا لخصائص المواد المتفاعلة وظروف التفاعل. إلا أنّ التعبيرين الوصفيين (سريع وبطيء) غير دقيقين في وصف السرعة؛ إذ يجب التعبير عنها بوصف أكثر دقّة. ويمكن وصف الأشياء المتحركة عن طريق سرعتها، فمثلًا؛ عند النظر إلى مؤشر عداد السرعة في السيارة، إذا كان يشير إلى 80 Km/h؛ فإن هذه السرعة تسمى السرعة اللحظية، ويمكن حساب سرعة جسم متحرك بقسمة المسافة التي يقطعها على الزمن الذي استغرقه في قطع تلك المسافة، وتسمّى هذه بالسرعة المتوسطة.

تتفاوت التفاعلات الكيميائية في سرعات حدوثها من تفاعل لآخر، وكذلك في التفاعل نفسه أثناء حدوثه، تبعًا لعوامل منها التركيز ودرجة الحرارة ومساحة السطح المعرض للتفاعل؛ فبعض التفاعلات تحدث بسرعة كبيرة خلال مدة زمنية قصيرة مثل تفاعلات محاليل الحموض والقواعد وتفاعلات الاحتراق كما يظهر في الشكل (1)، في حين تحتاج بعض التفاعلات زمنًا أطول لحدوثها مثل صدأ الحديد. وقد يحتاج بعضها ملايين السنين، مثل تكون الفحم الحجري والنفط. فكيف يعبّر عن سرعة التفاعل؟ وكيف يمكن قياسها؟

الشكلُ (1): احتراق الخشب.



الشكلُ (2): تحول مادة متفاعلة إلى مادة ناتجة.

تتغير كميات المواد المتفاعلة والناتجة في التفاعلات الكيميائية بمرور الزمن، ويوضح الشكل (2) تحوّل مادة متفاعلة إلى مادة ناتجة بمرور الزمن.

ألاحظ أن كمية المادة الناتجة تزداد؛ بينما تقلّ كمية المادة المتفاعلة، ويعبّر عن كمية المادة المتفاعلة أو الناتجة بدلالة التغيّر في الكتلة أو الحجم أو التركيز المولاري؛ وذلك لمعرفة سرعة التفاعل. فمثلًا؛ عندما يتفاعل فلزّ الخارصين Zn مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl وفق المعادلة الموزونة الآتية:

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

فإنّه يمكن حساب سرعة التفاعل الكيميائي مثلًا؛ بدلالة التغير في كتلة الخارصين المستهلكة، أو بدلالة التغير في حجم غاز الهيدروجين الناتج. ولكن غالبًا ما يجري حساب سرعة التفاعل بدلالة التغير في التركيز المولاري لمادة متفاعلة أو مادة ناتجة.

وبذلك يمكن تعريف **سرعة التفاعل الكيميائي Rate of Chemical Reaction (R)**؛ بأنها التغيّر في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة خلال مدة زمنية محددة، ويعبّر عنها بالمعادلة الرياضية الآتية:

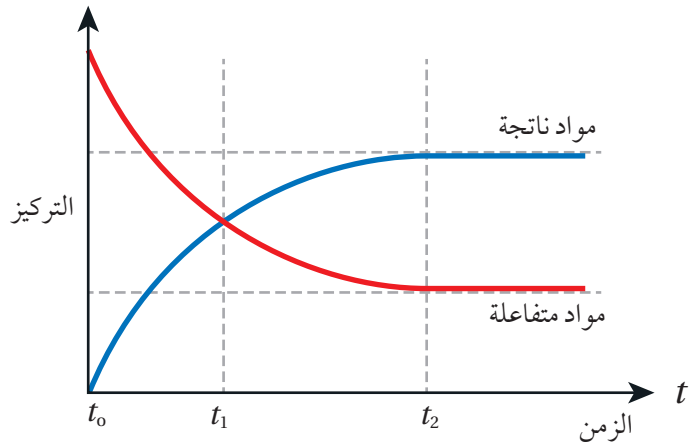
$$\text{سرعة التفاعل الكيميائي} = \frac{\text{التغير في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة}}{\text{التغيّر في الزمن}}$$

$$R = \frac{\Delta(\text{reactant or product})}{\Delta t}$$

حيث يشير الرمز (Δ) إلى التغير.

حساب سرعة التفاعل Calculating Reaction Rate

تحسب سرعة التفاعل الكيميائي من التجربة العملية بدلالة نقصان تركيز إحدى المواد المتفاعلة، أو زيادة تركيز إحدى المواد الناتجة خلال مدة زمنية محددة.



الشكلُ (3): تغير تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة خلال مدة زمنية.

ولتوضيح ذلك؛ أنظر إلى الشكل (3)، حيث يوضح نقصان تركيز مادة متفاعلة وزيادة تركيز مادة ناتجة بمرور الزمن.

فمثلًا في التفاعل الكيميائي العام الآتي:

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

تمثل الرموز a, b, c, d عدد مولات (معاملات) المواد المتفاعلة والناتجة في المعادلة الموزونة، حيث يمكن حساب سرعة التفاعل بمعرفة سرعة استهلاك (اختفاء) إحدى المواد المتفاعلة مثل **A** أو **B**، فمثلًا؛ يعبّر عن سرعة استهلاك **A** كما يأتي:

$$R = -\frac{\Delta[\text{مادة متفاعلة}]}{\Delta t}$$

$$R = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

أي أنّ:

$$R = -\frac{[A]_2 - [A]_1}{t_2 - t_1}$$

$[A]_2$ تركيز المادة المتفاعلة A عند الزمن t_2

$[A]_1$ تركيز المادة المتفاعلة عند الزمن t_1

وحيث أن المادة المتفاعلة تستهلك بمرور الزمن؛ فإن مقدار تركيزها $[A]_2$ أقل من تركيزها $[A]_1$، مما يجعل ناتج العملية الحسابية قيمة سالبة، وبما أن سرعة التفاعل لا تكون سالبة، لذا؛ تكتب الإشارة السالبة في القانون حتى يكون ناتج سرعة التفاعل قيمة موجبة. ويعبّر عن وحدة سرعة التفاعل (M/s) أو $(M.s^{-1})$.

كذلك يمكن حساب سرعة تكوين (إنتاج) مادة ناتجة مثل C أو D، فمثلًا؛ يعبّر عن سرعة تكوين المادة C كما يأتي:

الرّبط بالفيزياء

استخدم العالم الكيميائي أحمد زويل طريقة يمكن وصفها بأنها أسرع كاميرا حتى الآن. تُنفّذ باستخدام ومضات ليزرية، حيث يكون الزمن بين الومضات منخفضًا جدًا، حيث يمكن الوصول إلى مستويات زمنية صغيرة تصل إلى 10^{-15} من الثانية؛ سميت فيمتو ثانية، حيث مكنته من قياس سرعة بعض التفاعلات الكيميائية.

$$R = \frac{\Delta[\text{مادة ناتجة}]}{\Delta t}$$

$$R = \frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

$$R = \frac{[C]_2 - [C]_1}{t_2 - t_1}$$

تكون قيمة $\Delta[C]$ موجبةً؛ لأن تركيز المادة الناتجة يزداد بمرور الزمن، فيكون تركيزها $[C]_2$ أكبر من تركيزها $[C]_1$.

عند مقارنة سرعة استهلاك المادة A مع سرعة تكوين المادة C؛ فإنه يمكن إيجاد علاقة بين سرعة استهلاك A وسرعة تكوين C اعتمادًا على معاملاتهما في المعادلة الموزونة كما يأتي:

$$\frac{\text{سرعة استهلاك } A}{\text{عدد مولات } A} = \frac{\text{سرعة تكوين } C}{\text{عدد مولات } C}$$

فمثلا يتضح من المعادلة $A \rightarrow 3C$ أن تكوين 3 mol من المادة C يتطلب استهلاك 1 mol من المادة A، لذا؛ تكون سرعة تكوين المادة C ثلاثة أضعاف سرعة استهلاك المادة A أو سرعة استهلاك المادة A تساوي ثلث سرعة تكوين المادة C ويعبّر عن هذه العلاقة كما يأتي:

$$\text{سرعة استهلاك A} = \frac{1}{3} \text{سرعة تكوين C}$$

أي أن:

$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{1}{3}\frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

اعتمادًا على المعادلة الموزونة الآتية:

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

يمكن التعبير عن العلاقة بين سرعة استهلاك المواد المتفاعلة وسرعة تكوين المواد الناتجة بدلالة التغيّر في التراكيز في مدّة زمنية محدّدة كما يأتي:

$$-\frac{1}{a}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d}\frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

المثال 1

أعبّر عن العلاقة بين سرعة استهلاك المواد المتفاعلة وسرعة تكوين المواد الناتجة بدلالة تغير تركيز كل منها في مدة زمنية محددة؛ وفق المعادلة الموزونة الآتية:

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

الحلّ:

$$-\frac{1}{4}\frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} = -\frac{1}{5}\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{6}\frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = \frac{1}{4}\frac{\Delta[NO]}{\Delta t}$$

المثال 2

يتفاعل غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 مع غاز الفلور لتكوين غاز فلوريد النتريل NO_2F؛ وفق المعادلة الموزونة الآتية:

$$2NO_{2(g)} + F_{2(g)} \rightarrow 2NO_2F_{(g)}$$

1- أكتب العلاقة التي تعبر عن سرعة استهلاك F_2.

2- أكتب العلاقة التي تعبر عن سرعة تكوين NO_2F.

3- أعبّر عن العلاقة بين سرعة تكوين NO_2F وسرعة استهلاك F_2؟

الحلّ:

أكتب سرعة استهلاك F_2 $\quad R = -\frac{\Delta[F_2]}{\Delta t}$

أكتب سرعة تكوين NO_2F $\quad R = \frac{\Delta[NO_2F]}{\Delta t}$

أكتب العلاقة بين سرعة تكوين NO_2F واستهلاك F_2 $\quad -\frac{\Delta[F_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[NO_2F]}{\Delta t}$

أي أن سرعة استهلاك F_2 تساوي نصف سرعة تكوين NO_2F أو سرعة تكوين NO_2F ضعف سرعة استهلاك F_2

المثال 3

يتحلل غاز هيدريد الفسفور PH_3؛ وفق معادلة التفاعل الآتية:

$$4PH_{3(g)} \rightarrow P_{4(g)} + 6H_{2(g)}$$

أحسب سرعة تكوين غاز الفسفور P_4؛ علمًا أن سرعة تكوين غاز الهيدروجين تساوي $0.06\ M/s$

المعطيات: $\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = 0.06\ M/s$

المطلوب: حساب سرعة تكوين غاز الفسفور P_4

الحلّ:

أكتب العلاقة بين سرعة تكوين الفسفور P_4 وسرعة تكوين H_2

$$\frac{\Delta[P_4]}{\Delta t} = \frac{1}{6}\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t}$$

أعوّض القيم:

$$= \frac{1}{6} \times 0.06$$

$$= 0.01\ M/s$$

✓ **أتحقّق:** يتفاعل غاز الهيدروجين H_2 مع غاز النيتروجين N_2 وفق ظروف معينة لإنتاج الأمونيا NH_3، ويعبّر عن ذلك بالمعادلة:

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

أحسب سرعة استهلاك غاز الهيدروجين علمًا أن سرعة إنتاج الأمونيا $0.16\ M/s$

حساب سرعة التفاعل من الرسم البياني
Calculating rate of reaction from a graph

سرعة التفاعل المتوسطة Mean Rate

يمكن حساب سرعة التفاعل عن طريق رسم بياني يسمى منحنى السرعة، حيث يُبيّن التغيّر في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة خلال مدة زمنية معيّنة. فمثلًا؛ يتفاعل المغنيسيوم Mg مع حمض الهيدروكلوريك HCl، وينتج عن التفاعل غاز الهيدروجين H_2 وكلوريد المغنيسيوم $MgCl_2$، كما هو موضّح في معادلة التفاعل الآتية:

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

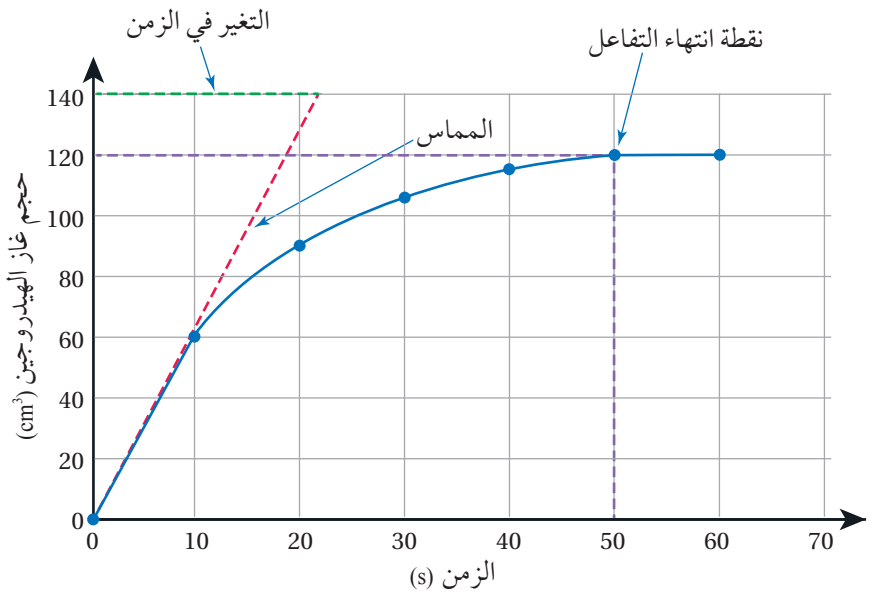
تكون سرعة التفاعل أقصى ما يمكن لحظة بدايته، ثم تقلّ كلما استُهلكت المواد المتفاعلة أكثر فأكثر، وبمرور الزمن تزداد كمية غاز الهيدروجين الناتج، ويمكن حساب **السرعة المتوسطة Mean Rate (S)**، وهي التغير الكلّي لكمية المادة المتفاعلة أو الناتجة على الزمن المستغرق في ذلك. فمثلًا؛ في تفاعل المغنيسيوم Mg مع حمض الهيدروكلوريك HCl، أقسم التغير الكلّي في حجم غاز الهيدروجين H_2 الناتج على الزمن المستغرق في ذلك. ويبين الشكل (4) أن الحجم النهائي للغاز الناتج يساوي $120\ cm^3$ بعد مضي 50 s من الزمن، وبذلك أحسب السرعة المتوسطة (S) للتفاعل كما يأتي:

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$S = \frac{120 - 0}{50 - 0} = 2.4\ cm^3/s$$

ΔV التغير في حجم الغاز الناتج

Δt التغير في الزمن



الشكلُ (4): تغير حجم غاز الهيدروجين مقابل الزمن.

سرعة التفاعل الإبتدائية Initial Rate

يمكن استخدام منحنى السرعة الموضح في الشكل رقم (4) لحساب **سرعة التفاعل الابتدائية Initial Rate**؛ وهي سرعة التفاعل لحظة خلط المواد المتفاعلة عند الزمن صفر. حيث تكون تراكيز المواد المتفاعلة أكبر ما يمكن، وتساوي هذه السرعة ميل المماس (G) عند النقطة التي تمثل كمية المادة المتفاعلة أو الناتجة عند الزمن صفر حيث:

$$G = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

وتُمثّل ΔY التغيّر في حجم الغاز الناتج، وتمثل ΔX التغير في الزمن. وبالرجوع إلى المنحنى في الشكل (4) فإن:

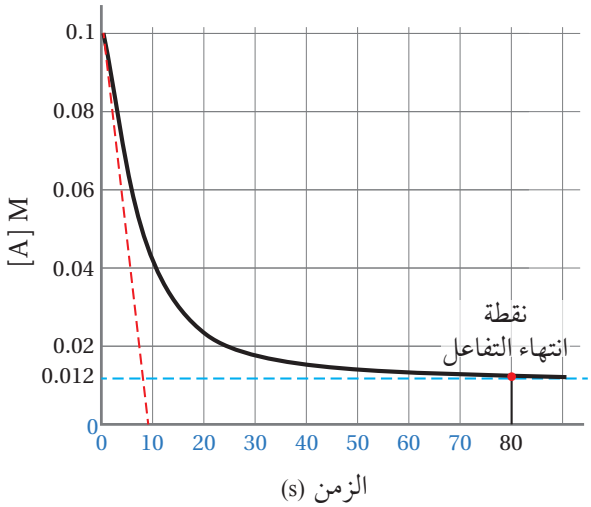
$$G = \frac{140 - 0}{22 - 0} = 6.364 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

المثال 4

يُمثّل الشكل الآتي منحنى سرعة التفاعل لتغير تركيز مادة متفاعلة A مقابل الزمن:

1- أحسب السرعة المتوسطة S للتفاعل.

2- أحسب السرعة الإبتدائية للتفاعل.



الحل:

1- أحسب السرعة المتوسطة للتفاعل بقسمة التغير الكُلّي في تركيز المادة A على الزمن المستغرق لإنتهاء التفاعل، كما يأتي:

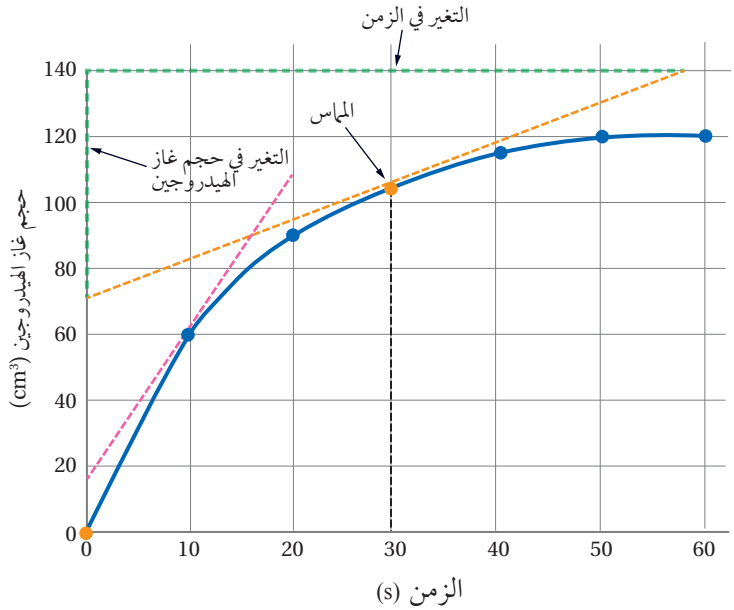
$$S = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

$$S = -\frac{(0.012 - 0.1)}{80 - 0} = 0.001 \text{ M/s}$$

2- أحسب السرعة الإبتدائية للتفاعل من ميل المماس G للنقطة التي تمثل التركيز عند الزمن صفر، كما يأتي:

$$G = \frac{0.1 - 0}{10 - 0} = 0.01 \text{ M/s}$$

✓ **أتحقّق:** أوضّح المقصود بالسرعة المتوسطة للتفاعل.



الشكلُ (5): مماس حساب السرعة اللحظية.

لماذا تكون سرعة التفاعل عند الزمن 30 s أقل من سرعته الإبتدائية؟

سرعة التفاعل اللحظية Instantaneous Rate

أما سرعة التفاعل عند أي لحظة زمنية معينة؛ فتسمّى **السرعة اللحظية Instantaneous Rate**، وتحسب عن طريق رسم منحنى يُمثّل التغير في كمية مادة متفاعلة أو ناتجة مقابل الزمن، ثم أرسم مماسًا للمنحنى عند النقطة المقابلة للزمن عند تلك اللحظة، وأحسب الميل عندها، حيث يُمثّل السرعة اللحظية. فمثلًا؛ لحساب سرعة التفاعل عند زمن 30 s، أرسم مماسًا للمنحنى عند النقطة المقابلة للزمن 30 s كما هو موضّح في الشكل (5)، ثم أحسب ميل المماس كما يأتي:

$$G = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{140 - 70}{58} = 1.207 \text{ cm}^3/\text{s}$$

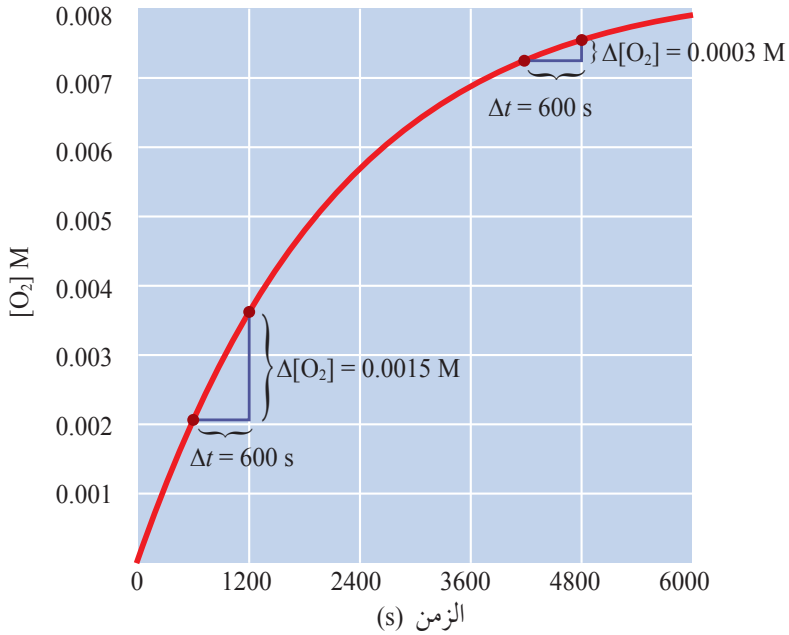
المثال 5

بالرجوع إلى الشكل (5)؛ أوضّح كيف أحسب السرعة اللحظية عند زمن 10 s؟

الحلّ:

أرسم مماسًا للمنحنى عند النقطة المقابلة للزمن 10 s؛ ثم أحدد ميل المماس وأحسبه باستخدام العلاقة التي تمثل السرعة اللحظية:

$$G = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{110 - 15}{20} = 4.75 \text{ cm}^3/\text{s}$$



الشكلُ (6): حساب سرعة التفاعل خلال فترة زمنية محددة.

ويمكن حساب سرعة التفاعل بتغير تركيز إحدى المواد المتفاعلة أو الناتجة في فترات زمنية محددة، فمثلًا؛ عند تحلل غاز خامس أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_5 لإنتاج غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 وغاز الأكسجين O_2، وفق المعادلة الموزونة الآتية:

$$2N_2O_{5(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

فإنه يمكن حساب سرعة إنتاج غاز الأكسجين O_2 خلال فترات زمنية، كما هو موضّح في الشكل (6) المستند على البيانات الآتية:

Time (s)	0	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400
$[O_2]\times10^{-3}$ M	0	2.1	3.6	4.8	5.7	6.3	6.8	7.2	7.5	7.7

فإذا أردت حساب سرعة إنتاج غاز الأكسجين خلال المدة الزمنية s (1200 – 600)؛ فيمكنني ذلك عن طريق معرفة التغيُّر في تركيز غاز الأكسجين في هذه المدة كما يأتي:

$$R = \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t}$$

$$= \frac{0.0036 - 0.0021}{1200 - 600}$$

$$= \frac{0.0015\ M}{600\ s}$$

$$= 2.5 \times 10^{-6}\ M/s$$

وكذلك أستطيع حساب سرعة انتاج غاز الأكسجين في المدة الزمنية s (4200 – 4800) كما يأتي:

$$R = \frac{0.0003\ M}{600\ s}$$

$$= 5 \times 10^{-7}\ M/s$$

أستخدم برنامج صانع الافلام Movie Maker، وأعد فيلمًا أصف فيه سرعة التفاعل الابتدائية، والسرعة المتوسطة للتفاعل، وسرعته اللحظيّة، ثم أناقشه مع زملائي/ زميلاتي في الصف.

✓ **أتحقَّق:** أحسب سرعة إنتاج غاز الأكسجين خلال المدة الزمنية s (3000 – 4800)

المثال 6

يبيّن الجدول الآتي تركيز المادة E مقابل الزمن.

الزمن s	[E] M
5	0.006
9	0.002

1- أتوقّع: هل المادة E متفاعلة أم ناتجة؟ أفسّر ذلك.

2- أحسب سرعة التفاعل.

تحليل السؤال: المعطيات

$$[E] = 0.006\ M \ \text{ at } \ 5s$$
$$[E] = 0.002\ M \ \text{ at } \ 9s$$

المطلوب: أتوقّع المادة متفاعلة أم ناتجة، ثم أحسب سرعة التفاعل.

الحلّ:

1- ألاحظ من الجدول أن تركيز المادة [E] قلّ من 0.006 إلى 0.002، عندما ازداد الزمن من عند زمن 5s إلى 9s؛ أي أن التركيز يقل بمرور الزمن، وهذا يشير إلى أنها مادة متفاعلة.

2- أطبّق العلاقة:

$$R = -\frac{\Delta[E]}{\Delta t}$$

$$R = -\frac{([E]_2 - [E]_1)}{t_2 - t_1}$$

$$R = -\frac{(0.002 - 0.006)}{9 - 5} = 0.001\ M/s$$

المثال 7

أحسب سرعة استهلاك CO في المعادلة: $CO_{(g)} + NO_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + NO_{(g)}$

علمًا أن تركيز CO في بداية التفاعل $1.8 \times 10^{-3}\ M$، ثم أصبح تركيزه $1.2 \times 10^{-3}\ M$، بعد زمن 20 s

تحليل السؤال: المعطيات

$$[CO]_1 = 1.8 \times 10^{-3}\ M$$
$$[CO]_2 = 1.2 \times 10^{-3}\ M$$
$$\Delta t = 20\ s$$

المطلوب: أحسب سرعة استهلاك CO

الحلّ:

أكتب قانون سرعة التفاعل للمادة المتفاعلة

$$R = -\frac{\Delta[CO]}{\Delta t}$$

$$R = -\frac{([CO]_2 - [CO]_1)}{t_2 - t_1}$$

$$R = -\frac{(1.2 \times 10^{-3} - 1.8 \times 10^{-3})}{20 - 0} = 3 \times 10^{-5}\ M/s$$

المثال 8

يتفكّك غاز N_2O_4 بالحرارة مكونًا غاز NO_2 وفق المعادلة الموزونة الآتية:

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

سجلت بيانات تغيّر تراكيز المادة المتفاعلة والمادة الناتجة خلال مدة زمنية كما يأتي:

الزمن S	0	10	20
$[N_2O_4]$ M	0.1	0.02	0.01
$[NO_2]$ M	0.00	0.16	0.18

1- أحسب سرعة استهلاك N_2O_4 في المدة الزمنية s (10 – 20)؟

2- أحسب سرعة تكوّن NO_2 في المدة الزمنية s (10 – 20)؟

المعطيات: الفرع رقم (1).

$[N_2O_4]_1 = 0.02$ M

$[N_2O_4]_2 = 0.01$ M

$\Delta t = 10$ s

المطلوب: أحسب سرعة استهلاك N_2O_4

الحلّ:

سرعة استهلاك N_2O_4

$$R = -\frac{\Delta[N_2O_4]}{\Delta t} = -\frac{([N_2O_4]_2 - [N_2O_4]_1)}{(t_2 - t_1)}$$

$$= -\frac{(0.01 - 0.02)}{20 - 10}$$

$$= 0.001 \text{ M/s}$$

المعطيات: الفرع رقم (2).

$[NO_2]_1 = 0.16$ M

$[NO_2]_2 = 0.18$ M

$\Delta t = 10$ s

المطلوب: أحسب سرعة تكوّن NO_2

الحلّ:

أكرّر الخطوات كما في الفرع رقم (1).

$$R = \frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t} = \frac{(0.18 - 0.16)}{20 - 10}$$

$$= 0.002 \text{ M/s}$$

✓ **أتحقَّق**: يتفاعل غاز الهيدروجين H_2 مع غاز النيتروجين N_2؛ لإنتاج غاز الأمونيا NH_3، وفق المعادلة الآتية:

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

أحسب سرعة تكون الأمونيا NH_3 علمًا أن تركيز الأمونيا تغير من 0.2 M، إلى 0.6 M، خلال فترة زمنية 15 s.

التجربةُ 1

التغير في تركيز مادة متفاعلة A ومادة ناتجة B في وحدة الزمن

المواد والأدوات:

جدول البيانات الآتي (عند درجة حرارة معينة):

[A] M	0.2	0.14	0.1	0.08	0.07	0.065
[B] M	0.0	0.12	0.2	0.24	0.26	0.27
t (s)	0	5	10	15	20	25

إرشاداتُ السلامة:

- أتّبع إرشادات السلامة العامة.

خطوات العمل:

أطبّق: أستخدم معلومات الجدول وأرسم شكلًا بيانيًا يُمثّل تغيّر تركيز المادة المتفاعلة والمادة الناتجة في المدد الزمنية المبيّنة في الجدول.

التحليل والاستنتاج:

1. **أستنتج** تغير تركيز المادة المتفاعلة خلال التفاعل الكيميائي؟
2. **أستنتج** تغير تركيز المادة الناتجة خلال التفاعل الكيميائي؟
3. **أحسب** سرعة استهلاك المادة المتفاعلة خلال المدة الزمنية من 5s إلى 15s.
4. **أستنتج** العلاقة بين سرعة استهلاك المادة A وسرعة انتاج المادة B.

مراجعة الدرس

1- **الفكرة الرئيسة:** أوضّح كيفية حساب سرعة التفاعل المتوسطة والسرعة الإبتدائية من الرسم البياني.

2- أوضّح المقصود بكل من: سرعة التفاعل الكيميائي، السرعة اللحظية للتفاعل.

3- يُبيّن الجدول أدناه، بيانات التغيّر في تركيز كلّ من المادّة A والمادّة B في وحدة الزمن، عند درجة حرارة معيّنة:

[A] M	1.1	1.02	0.96	0.92	0.90	0.89	0.89
[B] M	0.0	0.16	0.28	0.36	0.40	0.42	0.42
t(s)	0	5	10	15	20	25	30

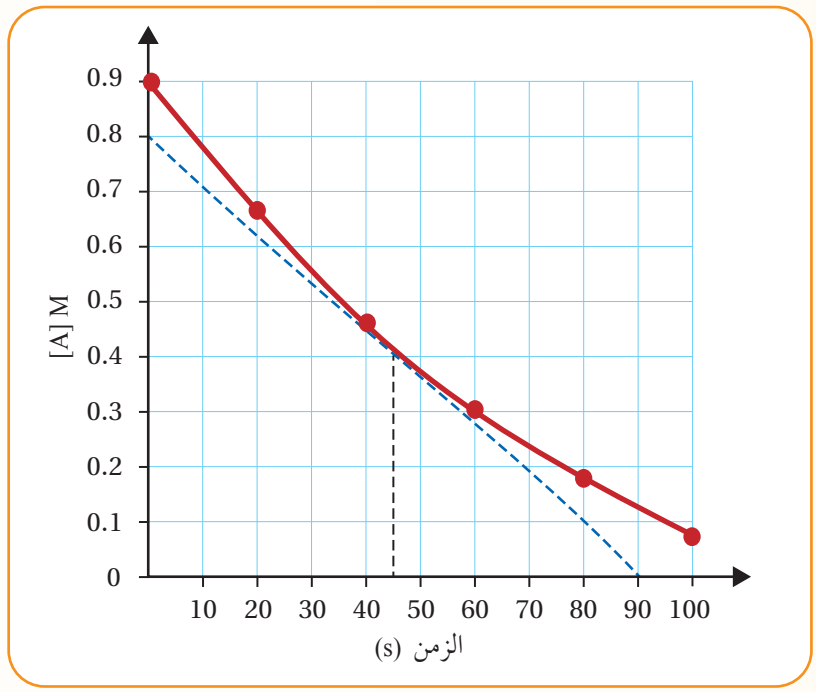
أُجيب عن الأسئلة الآتية:

أ . أكتب معادلة التفاعل اعتمادًا على العلاقة: $-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[B]}{\Delta t}$

ب. أحسب سرعة تكوّن المادّة الناتجة في الفترة الزمنية s(20–15).

جـ. أُحدّد زمن انتهاء التفاعل.

4- **أحسب** باستخدام الرسم البياني السرعة اللحظية عند الزمن 45 s.



الدرس 2

قوانين سرعة التفاعلات
Reaction Rate Laws

الفكرةُ الرئيسة:

يصف قانون سرعة التفاعل الكيميائي العلاقة بين سرعة التفاعل وتراكيز المواد المتفاعلة؛ مرفوعة لأسس محددة يجري التوصل إليها بالتجربة العملية.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أوضّح المقصود بكلّ من: رتبة التفاعل، الرتبة الكلية للتفاعل.
- أستنتج رتبة المادة المتفاعلة عن طريق نتائج التجارب العملية للتفاعل، وأكتب قانون سرعة التفاعل.

المفاهيمُ والمصطلحات:

رتبة التفاعل Reaction Order

الرتبة الكُلّيّة للتفاعل Overall Reaction Order

أثر التراكيز في سرعة التفاعل
The Effect of Concentrations on Reaction Rate

درست سابقًا كيفية حساب سرعة التفاعل الكيميائي؛ بمعرفة التغيّر في كمية إحدى المواد المتفاعلة المستهلكة، أو كمية إحدى المواد الناتجة خلال زمن معين. ولكن قد تعتمد سرعة التفاعل الكلية على تركيز أكثر من مادة واحدة متفاعلة، وهذه المواد المتفاعلة لا يمكن تحديد أثرها في سرعة التفاعل من معادلة التفاعل الموزونة؛ إنما من التجارب العملية. أنظر الشكل (7)، الذي يُبيّن تفاعلًا كيميائيًّا بين بيرمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$ وفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2.

فمثلًا؛ في التفاعل الآتي: $A + B \rightarrow C + D$

تتناسب سرعة التفاعل طرديًا مع تراكيز المواد المتفاعلة مرفوعة لقوى معينة عند درجة حرارة ثابتة، كما يأتي:

$$R \propto [A]^x [B]^y$$

ولتحويل علاقة التناسب إلى علاقة مساواة، يتم إدخال ثابت التناسب الذي يسمى ثابت سرعة التفاعل (k)، لنحصل على قانون سرعة التفاعل كالآتي:

$$R = k\,[A]^x\,[B]^y$$

الشكلُ (7): تفاعل كيميائي بين بيرمنغنات البوتاسيوم وفوق أكسيد الهيدروجين.

رتبة التفاعل Reaction Order

يصف قانون سرعة التفاعل العلاقة بين سرعة التفاعل R، وتراكيز المواد المتفاعلة عند درجة حرارة ثابتة.

ويعبّر عن قانون سرعة التفاعل بحاصل ضرب ثابت سرعة التفاعل k في تراكيز المواد المتفاعلة. ويعتمد ثابت سرعة التفاعل k، على درجة الحرارة، ولكل تفاعل ثابت سرعة k محدد تختلف قيمته عن الآخر.

$$R = k\,[A]^x\,[B]^y$$

يطلق على الرمز (x) رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة A؛ أما الرمز (y)؛ فهو رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة B؛ وتعرَف **رتبة التفاعل Reaction Order** للمادة المتفاعلة؛ بأنها الأسّ المرفوع تركيزُها إليه في قانون سرعة التفاعل، وتبيّن أثر تغير تركيز المادة المتفاعلة في سرعة التفاعل. ويجري تحديد الرتبة من التجربة العملية لا من معادلة التفاعل الموزونة، وقد تكون قيمة الرتبة صفر، 1، 2، ...، فعندما تكون قيمة الرتبة x أو y صفر؛ فهذا يعني أن التفاعل من الرتبة الصفرية للمادة المتفاعلة A أو B، وإذا كانت قيمة رتبة x أو y تساوي 1، فإن التفاعل يكون من الرتبة الأولى لتلك المادة المتفاعلة، في حين إذا كانت قيمة رتبة x أو y تساوي 2؛ فإن التفاعل يكون من الرتبة الثانية لتلك المادة وهكذا. ويطلق على مجموع رتب المواد المتفاعلة $x + y$ في قانون سرعة التفاعل؛ **الرتبة الكُلية للتفاعل Overall Reaction Order.**

المثال 9

يتفاعل غاز أحادي أكسيد النيتروجين NO مع غاز الهيدروجين H_2؛ وفق معادلة التفاعل الآتية:

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

جرى التوصل عن طريق التجربة عند درجة حرارة معينة؛ إلى أن قانون السرعة لهذا التفاعل هو:

$$R = k\,[NO]^2\,[H_2]^1$$

1- ما رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة NO؟

2- ما رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة H_2؟

3- ما الرتبة الكُلية للتفاعل؟

الحل

ألاحظ من قانون سرعة التفاعل أن:

1- الأسّ المرفوع تركيز المادة المتفاعلة NO إليه يساوي 2؛ أي أن رتبة المادة NO تساوي 2

2- الأسّ المرفوع تركيز المادة المتفاعلة H_2 إليه يساوي 1؛ أي أن رتبة المادة H_2 تساوي 1

3- الرتبة الكلية تساوي مجموع رتبتي المادتين المتفاعلتين، وهي: $2+1 = 3$

المثال 10

يتحلل خامس أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_5؛ عند درجة حرارة معينة وفق معادلة التفاعل الآتية:

$$2N_2O_{5(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

فإذا كان قانون السرعة لهذا التفاعل $R = k\,[N_2O_5]^1$، وقيمة ثابت سرعة التفاعل k تساوي $5.9 \times 10^{-4}\ s^{-1}$ وتركيز N_2O_5 يساوي $8.4 \times 10^{-3}\ M$ ، أحسب سرعة التفاعل.

تحليل السؤال (المعطيات):

$$k = 5.9 \times 10^{-4}\ s^{-1}$$

$$[N_2O_5] = 8.4 \times 10^{-3}\ M$$

المطلوب: أحسب سرعة التفاعل R

الحلّ:

قانون سرعة التفاعل: $R = k\,[N_2O_5]^1$

أعوض قيمة ثابت السرعة وقيمة التركيز؛ فأحصل على قيمة سرعة التفاعل R:

$$R = 5.9 \times 10^{-4}\ s^{-1} \times 8.4 \times 10^{-3}\ M$$

$$= 4.9 \times 10^{-6}\ M.s^{-1}$$

✓ **أتحقَّق:** ما المقصود برتبة التفاعل للمادة المتفاعلة؟

تحديد رتبة التفاعل Determining the order of reaction

تساعد معرفة رتب المواد المتفاعلة في توقع كيفية حدوث التفاعل الكيميائي. ويمكن تحديد رتبة التفاعل بالنسبة لمادة متفاعلة بطريقة الرسم البياني أو بطريقة السرعة الإبتدائية.

طريقة الرسم البياني Graphical Method

أحدد رتبة التفاعل بالنسبة لمادة متفاعلة، وذلك بمعرفة تغير تركيز هذه المادة مع الزمن أثناء سير التفاعل، مع المحافظة على بقاء تراكيز المواد المتفاعلة الأُخرى ثابتة؛ وذلك باستعمال كميات كبيرة منها. وبعد قياس تراكيز المادة المتفاعلة التي جرى اختيارها تجريبيًا؛ نرسم بيانيًا العلاقة بين التركيز مقابل زمن التفاعل، وبما أن ميل المماس للمنحنى عند تركيز معين يساوي سرعة التفاعل عند هذا التركيز؛ فإنه يمكن حساب سرعات مختلفة للتفاعل عند تراكيز معينة، وبعد ذلك يُرسَم رسم بياني آخر يُبيّن سرعة التفاعل مقابل تركيز المادة المتفاعلة.

ويتيح لنا نمط هذا الرسم تحديد رتبة التفاعل بالنسبة لمادة معينة. وسنقتصر في دراستنا باستخدام الرسم على الرتبة الصفرية والرتبة الأولى.

الرتبة الصفرية Zero Order

عندما يكون تركيز مادة متفاعلة مرفوعًا للأسّ صفر، فان قيمته تساوي (1)؛ وهذا يعني أن تغير تركيز المادة لا يؤثر في سرعة التفاعل. فمثلًا؛ عند قياس سرعة تحلل أحادي أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O، وفق المعادلة الآتية:

$$2N_2O_{(g)} \xrightarrow[Pt]{\Delta} 2N_{2(g)} + O_{2(g)}$$

وجد أن سرعة التفاعل لا تعتمد على تركيز N_2O الموجود بداية التفاعل، وبهذا نرسم العلاقة بين تركيز المادة المتفاعلة مقابل الزمن؛ فنحصل على الرسم المبيّن في الشكل (8/a)، ألاحظ أن تركيز المادة المتفاعلة يتناقص بمقدار ثابت بمرور الزمن؛ وبالتالي تكون العلاقة بين التركيز والزمن علاقة خطٍّ مستقيم متناقص مَيلُه مقدارٌ ثابت.

ويبين الشكل البياني (8/b)، علاقة خط مستقيم بين سرعة التفاعل مقابل التركيز، ويشير ذلك إلى أن سرعة التفاعل لا تتأثر بتركيز المادة المتفاعلة N_2O، وبهذا يكون قانون السرعة لهذا التفاعل:

$$R = k$$

وذلك لأن $[N_2O]^0 = 1$؛ فلا يكتب تركيز N_2O في قانون السرعة.

ونمط الرسم لهذا التفاعل هو فقط لتفاعلات الرتبة الصفرية كافّة؛ وبالتالي يمكن التنبؤ عن طريق الرسم مباشرة بالرتبة الصفرية.

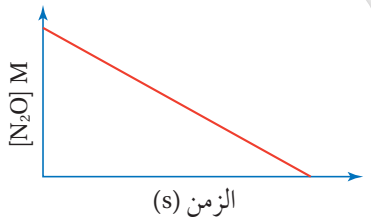
الرتبة الأولى First order

عندما يكون تركيز مادة متفاعلة مرفوعًا للأس (1)؛ فإن سرعة التفاعل تتناسب طرديًا مع تركيز المادة المتفاعلة، مما يعني أن تغير تركيز المادة يؤدي إلى التغيّر نفسه في سرعة التفاعل، فمثلًا؛ نقصان تركيز المادة المتفاعلة إلى النصف يؤدي الى نقصان سرعة التفاعل إلى النصف، وكذلك مضاعفة تركيزها يؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل بالمقدار نفسه، ومثال ذلك تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 وفق المعادلة الآتية:

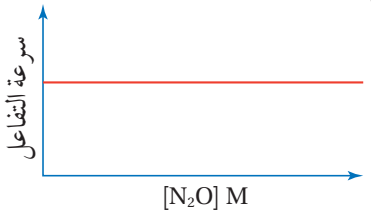
$$2H_2O_{2(aq)} \xrightarrow{\Delta} 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$$

حيث وجد عمليًا أن مضاعفة تركيز H_2O_2 يؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل؛ لذلك يعدّ هذا التفاعل من الرتبة الأولى بالنسبة للمادة المتفاعلة فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، ويعبّر عن سرعته بالقانون: $R = k[H_2O_2]^1$

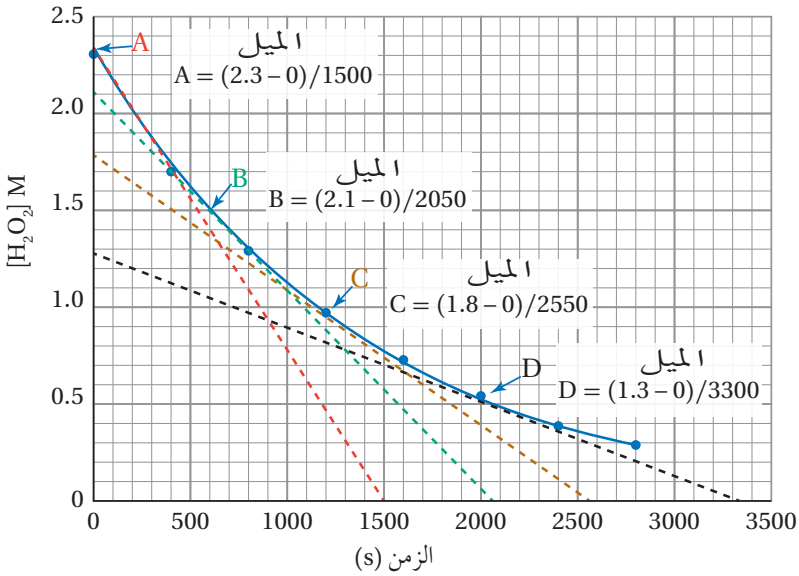
أُفكّر: أستنتج وحدة ثابت السرعة k للتفاعل من الرتبة الصفرية.



الشكلُ (8/a): تركيز المادة المتفاعلة مقابل الزمن.



الشكلُ (8/b): سرعة التفاعل مقابل التركيز.



الشكلُ (9): ميل المماس عند تراكيز محددة من فوق أكسيد الهيدروجين.

ويمكن التحقق من التفاعل أنه رتبة أولى بتتبع تغيّر تركيز H_2O_2 بمرور الزمن. حيث يُبيّن الشكل (9) ميل المماس عند تراكيز محددة من H_2O_2 في زمن محدد ودرجة حرارة ثابتة. ويعدّ شكل المنحنى هذا مؤشرًا عامًا لتفاعلات الرتبة الأولى كافة.

يتضح من الشكل أن الخطوط المنقطة A.B.C.D؛ تمثل المماس عند تراكيز محددة، وبحساب ميل المماس يمكن حساب سرعة هذا التفاعل عند تلك التراكيز من العلاقة الآتية:

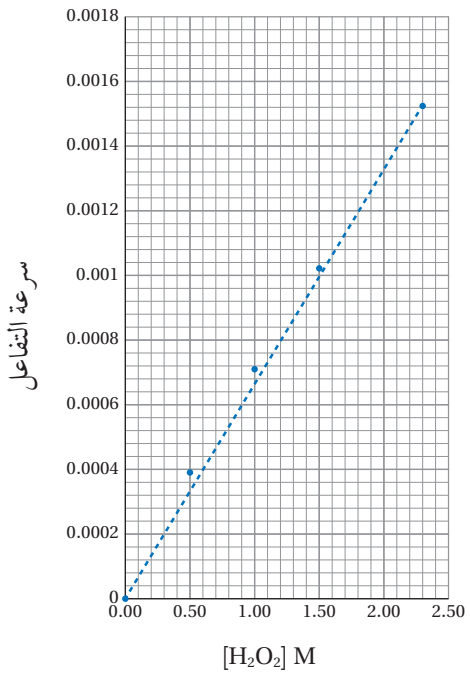
$$R = -\frac{\Delta[H_2O_2]}{\Delta t}$$

ويُبيّن الجدول (2) الآتي قِيَم سرعة التفاعل المحسوبة عند تراكيز محددة من H_2O_2.

الجدول (2): قِيَم سرعة التفاعل عند تراكيز محددة من H_2O_2.

$(R) \times 10^{-3}$ M.s^{-1}	$[H_2O_2]$ M
0	0
0.394	0.5
0.706	1.0
1.024	1.5
1.533	2.3

وبذلك يمكن رسم شكل بياني يوضح سرعة التفاعل مقابل التركيز، كما هو مبيّن في الشكل (10)، حيث يظهر الشكل علاقة خط مستقيم متزايد، وهذا النمط ينطبق على هذا التفاعل وعلى تفاعلات الرتبة الأولى كافة؛ أي إذا كانت العلاقة خطًا مستقيمًا متزايدًا بين تركيز المادة المتفاعلة وسرعة التفاعل؛ يعني ذلك أن التفاعل من الرتبة الأولى.



الشكلُ (10): سرعة التفاعل مقابل تركيز H_2O_2.

طريقة السرعة الابتدائية The Initial Rate Method

تستعمل هذه الطريقة في تحديد رتبة التفاعل عن طريق مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل بتغير تركيز المواد المتفاعلة، حيث تقاس سرعة التفاعل الابتدائية في اللحظة التي تُخلط فيها المواد المتفاعلة ذات التراكيز المعلومة. فمثلًا؛ في التفاعل العام:

$$aA + bB \rightarrow cC$$

بافتراض إجراء ثلاثة تجارب بتراكيز ابتدائية مختلفة لكل من المادتين المتفاعلتين A و B، وسرعات ابتدائية عند درجة حرارة ثابتة كما يأتي:

التجربة	[A]M	[B]M	السرعة الابتدائية $M.s^{-1}$
1	0.1	0.1	1×10^{-4}
2	0.2	0.1	2×10^{-4}
3	0.1	0.2	4×10^{-4}

فإن قانون سرعة التفاعل العام هو $R = k[A]^x[B]^y$، ولتحديد قيمة الرتبة x للمادة A؛ أقارن بين تركيز المادة A وسرعة التفاعل في التجربتين (1 و 2) عند ثبات تركيز المادة B، حيث ألاحظ أن تركيز المادة A في التجربة رقم (2) هو ضعف تركيزها في التجربة رقم (1)، وألاحظ -أيضًا- أن سرعة التفاعل في التجربة رقم (2) كان ضعفها في التجربة رقم (1)، أي أن نسبة الزيادة في تركيز المادة هي نسبة الزيادة ذاتها في سرعة التفاعل، وبذلك؛ فإن التفاعل أحادي الرتبة للمادة A، أي أن قيمة x تساوي 1.

كذلك؛ أطبق الطريقة ذاتها لتحديد قيمة رتبة y للمادة B؛ فإنني أقارن تركيز المادة B مع سرعة التفاعل في التجربتين (1، 3) عند ثبات تركيز المادة A، حيث ألاحظ أن تركيز المادة B في التجربة رقم (3)، هو ضعف تركيزها في التجربة رقم (1)، وألاحظ -أيضًا- أن سرعة التفاعل في التجربة رقم (3) تزداد أربعة مرات عنها في التجربة رقم (1)، وبذلك فإن التفاعل ثنائي الرتبة للمادة B؛ أي أن قيمة y تساوي2.

أستدل من المعلومات السابقة أن التفاعل للمادة A أحادي الرتبة؛ بينما التفاعل للمادة B ثنائي الرتبة؛ وبهذا أتوصل إلى قانون السرعة لهذا التفاعل:

$$R = k[A]^1[B]^2$$

المثال 11

يتفاعل ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 مع حمض الهيدروكلوريك HCl، وفق معادلة التفاعل الآتية:

$$NO_{2(g)} + 2HCl_{(g)} \rightarrow NO_{(g)} + Cl_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

أُجريت ثلاث تجارب بتراكيز مختلفة عند درجة حرارة ثابتة؛ وجرى حساب سرعة التفاعل الابتدائية لكل تجربة، وسجلت النتائج؛ فكانت كما يظهر في الجدول الآتي:

رقم التجربة	$[NO_2]$ M	[HCl] M	السرعة الإبتدائية $M.s^{-1}$
1	0.3	0.3	1.4×10^{-3}
2	0.6	0.3	2.8×10^{-3}
3	0.3	0.6	2.8×10^{-3}

1- أكتب قانون سرعة التفاعل العام؟

2- أستنتج رتبة المادة المتفاعلة NO_2

3- أستنتج رتبة المادة المتفاعلة HCl

4- أستنتج قانون السرعة لهذا التفاعل.

5- أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل k، وأحدد وحدته؟

الحلّ:

1- قانون سرعة التفاعل العام $R = k\,[NO_2]^x[HCl]^y$

2- أجد قيمة الرتبة x للمادة المتفاعلة NO_2، بمقارنة تركيز NO_2 مع سرعة التفاعل في التجربتين رقم (1) و(2) عند ثبات تركيز HCl، حيث أقسم سرعة التفاعل R_2 على سرعة التفاعل R_1؛ كما يأتي:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{k[NO_2]^x\,[HCl]^y}{k[NO_2]^x\,[HCl]^y}$$

أعوض قيم السرعة والتركيز، وأحذف قيمة ثابت السرعة k؛ لأنها ثابته في التفاعل ذاته.

$$\frac{2.8 \times 10^{-3}}{1.4 \times 10^{-3}} = \frac{k(0.6)^x\,(0.3)^y}{k(0.3)^x\,(0.3)^y}$$

ومنها: $2 = 2^X$

$X = 1$ وهي رتبة المادة NO_2

3- أجد قيمة الرتبة y للمادة المتفاعلة HCl؛ بمقارنة تركيز HCl مع سرعة التفاعل في التجربتين رقم (1) و(3) عند ثبات تركيز المادة NO_2، حيث أقسم سرعة التفاعل R_3 على سرعة التفاعل R_1 كما يأتي:

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{k[NO_2]^x\,[HCl]^y}{k[NO_2]^x\,[HCl]^y}$$

أعوّض قيم السرعة والتركيز ورتبة NO_2 وأحذف قيمة ثابت السرعة k لأنها ثابتة.

$$\frac{2.8 \times 10^{-3}}{1.4 \times 10^{-3}} = \frac{k(0.3)^1\,(0.6)^y}{k(0.3)^1\,(0.3)^y}$$

ومنها: $2 = 2^y$

$y = 1$ وهي رتبة المادة HCl

4- أستنتج قانون سرعة التفاعل:

$$R = k[NO_2]^1\,[HCl]^1$$

5- أحسب قيمة ثابت السرعة من التجربة رقم (1) مثلًا كما يأتي:

$$k = \frac{R}{[NO_2]\,[HCl]}$$

$$k = \frac{1.4 \times 10^{-3}\ M.s^{-1}}{(0.3)M\,(0.3)M}$$

$$= 1.55 \times 10^{-2}\ M^{-1}.s^{-1}$$

المثال 12

يتفاعل غاز أحادي أكسيد النيتروجين NO مع غاز الأكسجين O_2، مكوّنًا غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2، وفق المعادلة الآتية:

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

وبقياس سرعة التفاعل الإبتدائية عند تراكيز ابتدائية مختلفة من NO و O_2 ودرجة حرارة معيّنة؛ سجلت النتائج كما يظهر في الجدول الآتي:

رقم التجربة	[NO] M	[O_2] M	السرعة الإبتدائية $M.s^{-1}$
1	1×10^{-1}	2×10^{-1}	7×10^{-2}
2	2×10^{-1}	2×10^{-1}	2.8×10^{-1}
3	1×10^{-1}	4×10^{-1}	1.4×10^{-1}

أستعين بنتائج هذه التجارب في تحديد رتبة التفاعل بالنسبة لكل من أحادي أكسيد النيتروجين والأكسجين وأكتب قانون السرعة لهذا التفاعل.

الحلّ:

لتحديد رتبة التفاعل للمادة NO؛ أقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجربتين (1) و(2)، عند ثبات تركيز الأكسجين O_2، حيث ألاحظ أن تركيز NO تضاعف مرتين كما يأتي:

$$\frac{2 \times 10^{-1}}{1 \times 10^{-1}} = 2$$

وبالمقابل تتضاعف السرعة 4 مرات كما يأتي:

$$\frac{2.8 \times 10^{-1}}{7 \times 10^{-2}} = 4$$

أي أن التفاعل من الرتبة 2 بالنسبة للمادة NO.

كذلك؛ أستعمل الطريقة ذاتها لتحديد قيمة رتبة المادة O_2، حيث أقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجربتين (1 ، 3) عند ثبات تركيز NO، حيث ألاحظ أن تركيز O_2 تضاعف مرتين كما يأتي:

$$\frac{4 \times 10^{-1}}{2 \times 10^{-1}} = 2$$

وأيضًا؛ تتضاعف السرعة مرتين كما يأتي:

$$\frac{1.4 \times 10^{-1}}{7 \times 10^{-2}} = 2$$

وبهذا؛ فإن رتبة التفاعل للمادة O_2 تساوي 1

أستدل من المعلومات السابقة على قانون السرعة لهذا التفاعل:

$$R = k\,[O_2]^1\,[NO]^2$$

المثال 13

جرى قياس السرعة الإبتدائية لثلاثة تجارب عند درجة حرارة معينة وتراكيز ابتدائية مختلفة من تفاعل كلوروإيثان CH_3CH_2Cl مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH، وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Cl + NaOH \rightarrow CH_3CH_2OH + NaCl$$

وسجلت النتائج كما في الجدول الآتي:

رقم التجربة	$[CH_3CH_2Cl]$ M	[NaOH] M	السرعة الإبتدائية $M.s^{-1}$
1	0.02	0.025	0.1
2	0.03	0.025	0.15
3	0.03	0.050	0.30

أستعين بنتائج هذه التجارب في تحديد رتبة التفاعل بالنسبة لكل من كلوروإيثان CH_3CH_2Cl وهيدروكسيد الصوديوم NaOH، وأكتب قانون سرعة هذا التفاعل.

الحلّ:

لتحديد رتبة التفاعل للمادة CH_3CH_2Cl؛ أقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجربتين (1) و(2) عند ثبات تركيز NaOH، حيث أجد أن:

$$\frac{0.03}{0.02} = 1.5$$

وأحسب عندها سرعة التفاعل كما يأتي:

$$\frac{0.15}{0.10} = 1.5$$

وبهذا؛ فان التفاعل من الرتبة 1 بالنسبة للمادة CH_3CH_2Cl.

كذلك أستعمل الطريقة ذاتها لتحديد قيمة رتبة NaOH، حيث أقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجربتين (2) و(3) عند ثبات تركيز CH_3CH_2Cl، حيث أجد أن:

$$\frac{0.30}{0.15} = 2$$

وأحسب عندها سرعة التفاعل كما يأتي:

$$\frac{0.050}{0.025} = 2$$

أي أن التفاعل من الرتبة 1 بالنسبة للمادة NaOH

قانون سرعة التفاعل:

$$R = k[NaOH]^1 [CH_3CH_2Cl]^1$$

المثال 14

في معادلة التفاعل الافتراضي نواتج $A + B \rightarrow$

سجّلت البيانات عند درجة حرارة محدّدة كما يأتي:

رقم التجربة	[A] M	[B] M	السرعة الإبتدائية $M.s^{-1}$
1	0.2	0.1	1×10^{-3}
2	0.4	0.1	2×10^{-3}
3	0.6	0.2	3×10^{-3}

1- أستنتج رتبة المادة المتفاعلة A

2- أستنتج رتبة المادة المتفاعلة B

3- أستنتج قانون السرعة لهذا التفاعل

4- أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل k، وأحدد وحدته؟

الحلّ:

1- أجد الرتبة x للمادة المتفاعلة A من التجربتين (1) و(2) عند ثبات تركيز B،

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{k[A]^x [B]^y}{k[A]^x [B]^y}$$

أعوّض قِيَم السرعة والتركيز

$$\frac{2 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = \frac{k(0.4)^x (0.1)^y}{k(0.2)^x (0.1)^y}$$

$$2 = 2^x$$

$$x = 1$$

2- أجد الرتبة y للمادة المتفاعلة B من التجربتين (1 و 3)، أو (2 و 3)؛ وذلك لأنه لا يوجد ثبات في تركيز المادة A، فمثلًا؛ يمكن الرجوع إلى التجربتين (1 ، 3) كما يأتي:

$$\frac{3 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = \frac{k(0.6)^1 (0.2)^y}{k(0.2)^1 (0.1)^y}$$

$$3 = 3 \times 2^y$$

$$1 = 2^y$$

$$y = 0$$

3- أستنتج قانون سرعة التفاعل:

$$R = k\,[A]^1$$

4- أحسب ثابت سرعة التفاعل، وأستنتج وحدته:

$$k = \frac{1 \times 10^{-3}\ M.s^{-1}}{0.2\ M}$$

$$= 5 \times 10^{-3}\ s^{-1}$$

✓ **أتحقَّق:** في قانون سرعة التفاعل العام $R = k\,[A]^x\,[B]^y$؛ عند مضاعفة تركيز A مرتين مع ثبات تركيز B، تضاعفت سرعة التفاعل مرتين، وعند مضاعفة تركيز A و B معا مرتين تضاعفت السرعة 8 مرات. أستنتج رتبة كل من A و B.

مراجعة الدرس

1- **الفكرة الرئيسة:** أوضّح كيفية التوصل إلى رتبة مادة متفاعلة من الرسم البياني.

2- أوضّح المقصود بالرتبة الكلية للتفاعل.

3- في التفاعل الإفتراضي بين A و B عند درجة حرارة ثابتة؛ كانت بيانات التفاعل كما يأتي:

رقم التجربة	[A] M	[B] M	السرعة الإبتدائية $M.s^{-1}$
1	0.0250	0.025	0.1
2	0.0375	0.025	0.15
3	0.0375	0.050	0.6

أ. **أستنتج** رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة A

ب. **أستنتج** رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة B

جـ. **أستنتج** قانون السرعة لهذا التفاعل.

د. **أحسب** قيمة ثابت سرعة التفاعل، وأحدد وحدته؟

هـ. **أحسب** سرعة التفاعل عندما تركيز A يساوي تركيز B يساوي 0.01 M

4- في التفاعل الافتراضي نواتج $\rightarrow T + E + D$

سجلت بيانات خمس تجارب عند درجة حرارة ثابتة كما يأتي:

رقم التجربة	[T] M	[E] M	[D] M	السرعة الإبتدائية $M.s^{-1}$
1	0.2	0.1	0.1	4.4×10^{-6}
2	0.4	0.1	0.1	8.8×10^{-6}
3	0.2	0.05	0.1	4.4×10^{-6}
4	0.2	0.1	0.3	1.32×10^{-5}
5	0.1	0.1	X	8.8×10^{-6}

أ. **أستنتج** رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة T.

ب. **أستنتج** رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة E.

جـ. **أستنتج** رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة D.

د. **أستنتج** قانون سرعة هذا التفاعل.

هـ. **أحسب** تركيز المادة D في التجربة الأخيرة.

الدرسُ 3

نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل
Collision Theory and Factors Affect Reaction Rate

الفكرةُ الرئيسة:

تؤدي التصادمات الفعّالة بين جسيمات المواد المتفاعلة إلى حدوث التفاعل الكيميائي، وتتحدد سرعة التفاعل بعوامل عدة تؤدي إلى زيادتها أو إبطائها.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أوضّح المقصود بكل من: نظرية التصادم، التصادم الفعال، المعقّد المنشّط، طاقة التنشيط، العامل المساعد.
- أفسر العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي وفق نظرية التصادم.
- أستنتج العلاقة بين طاقة التنشيط والتغيّر في المحتوى الحراري، باستخدام منحنى الطاقة – سير التفاعل.

المفاهيمُ والمصطلحات:

نظرية التصادم	Collision Theory
التصادم الفعال	Effective Collision
المعقّد المنشّط	Activated Complex
طاقة التنشيط	Activation Energy
العامل المساعد	Catalyst

نظرية التصادم Collision Theory

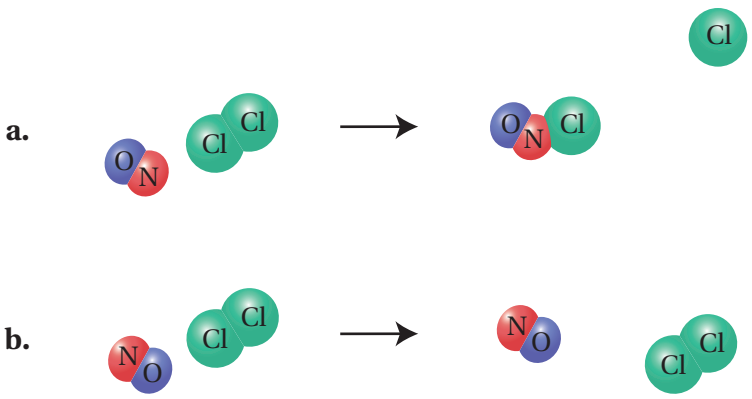
وضعت هذه النظرية من قبل العالمين ماكس تراوتز ووليام لويس؛ لتفسير حدوث التفاعلات الكيميائية وتفاوت سرعاتها، وقدمت اقتراحات حول كيفية تغيير سرعة التفاعل الكيميائي. وتفترض **نظرية التصادم Collision Theory**؛ أنه لحدوث تفاعل كيميائي يجب تصادم جسيمات المواد المتفاعلة معًا، سواء كانت ذرات أو أيونات أو جزيئات، وأن تكون طاقة التصادم كافية لتكسير الروابط بين الجسيمات المتفاعلة وتكوين روابط جديدة. وبالإضافة إلى ذلك؛ تشترط أن يكون اتجاه تصادم هذه الجسيمات صحيحًا، فمثلًا؛ تتفاعل جزيئات أحادي أكسيد النيتروجين NO مع جزيئات الكلور Cl_2؛ وفق المعادلة الآتية:

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

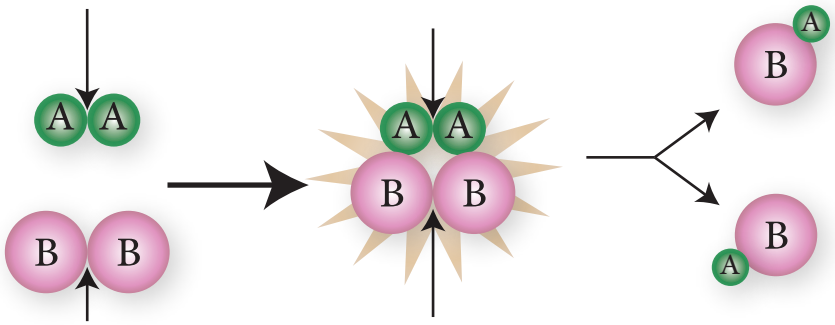
يوضح الشكل (11) طرائق لتصادم الجسيمات بعضها ببعض؛ ولكن ليس كل تصادم يؤدي الى تكوين نواتج، بل –فقط– عندما يكون اتجاه تصادم الجسيمات صحيحًا.

اتجاه التصادم والمعقّد المنشّط
Collision direction and Activated Complex

يحدث كثير من التصادمات بين جسيمات المواد المتفاعلة؛ إلا أن عدد التصادمات التي تؤدي إلى تكوين النواتج تكون قليلة مقارنة بعدد التصادمات الكُليّة. يطلق على التصادم الذي يمتلك طاقة كافية ويؤدي إلى حدوث التفاعل وتكوين النواتج؛ **التصادم الفعال Effective Collision**، ويتطلب هذا أن يكون تصادم الجسيمات المتفاعلة في الاتجاه الصحيح (الاتجاه المناسب)،



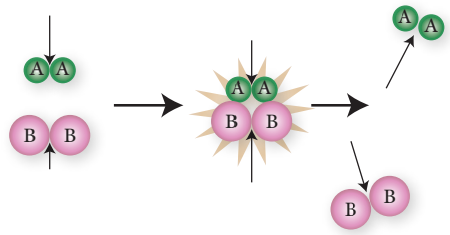
الشكلُ (11): تصادم جسيمات NO مع جسيمات Cl_2.



الشكلُ (12): اتجاه تصادم صحيح وطاقة كافية.

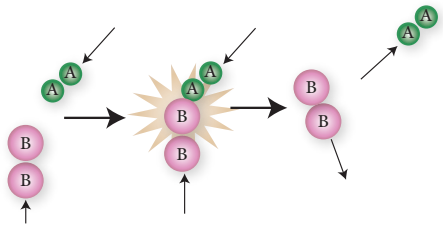
وأن تمتلك الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل. وفي هذه الظروف تتكسر الروابط بين جسيمات المواد المتفاعلة، وتتكون روابط جديدة في المواد الناتجة. فمثلًا؛ في المعادلة العامة: $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$؛ يجب أن تتصادم جسيمات المادة A_2 مع جسيمات المادة B_2 في الاتجاه الصحيح كي يحدث التفاعل، وأن تتوافر الطاقة الكافية، أنظر الشكل (12) الذي يُبيّن تكون النواتج 2AB؛ عندما تتصادم ذرتي A من الجزيء A_2 مع ذرتي B من الجزيء B_2.

عندما يكون اتجاه تصادم جسيمات المواد المتفاعلة صحيحًا، ولكنها لا تمتلك الطاقة الكافية للتفاعل؛ فإن الجسيمات ترتد بعضها عن بعض عند تصادمها، ولا يحدث التفاعل، ولا تتكون النواتج، أنظر الشكل (13).



الشكلُ (13): اتجاه تصادم صحيح وطاقة غير كافية.

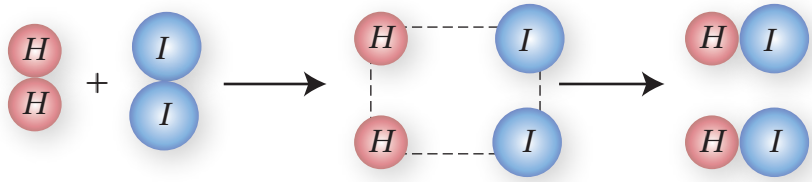
وكذلك الحال إذا كانت كمية الطاقة غير كافية للتفاعل، وكان اتجاه التصادم غير صحيح؛ فإن الجسيمات ترتد بعضها عن بعض ولا يحدث التفاعل، أنظر الشكل (14).



الشكلُ (14): اتجاه تصادم غير صحيح وطاقة غير كافية.

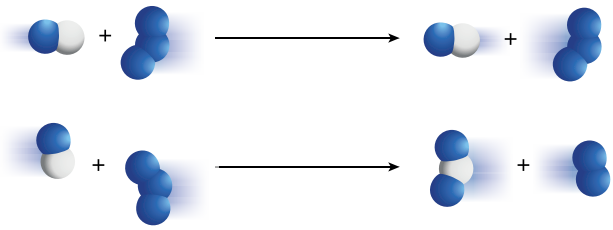
وعند حدوث التصادم الفعال، تتكوّن جسيمات تسمى **المعقّد المنشّط** **Activated Complex**؛ وهو حالة انتقالية غير مستقرة من تجمع الذرات، يبدأ فيها تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة وتمتلك أعلى طاقة؛ يطلق عليها طاقة المعقّد المنشّط (H_C). وسرعان ما يتفكك المعقّد المنشّط مكوّنًا المواد الناتجة أو المتفاعلة مرة أخرى. ويوضح الشكل (15) المعقّد المنشّط المتكون من تفاعل الهيدروجين H_2 مع اليود I_2.

أفكّر: هل يمكن حدوث تفاعل إذا امتلكت الجسيمات الطاقة الكافية وكان اتجاه تصادمها غير صحيح؟



الشكلُ (15): المعقّد المنشّط في تفاعل H_2 مع I_2.

المثال 15



أستنتج من الشكل الآتي أي الاحتمالين يعدّ اتجاهًا صحيحًا للتصادم الفعال بين جزيئات أحادي أكسيد النيتروجين وجزيئات الأوزون؛ وفق المعادلة الآتية:

$$NO_{(g)} + O_{3\,(g)} \rightarrow NO_{2\,(g)} + O_{2\,(g)}$$

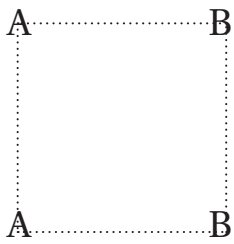
الحلّ:

ألاحظ من الاحتمال الأول؛ أنه لم يتغير ترتيب الذرات المتفاعلة عن الناتجة؛ مما يعني أن اتجاه التصادم غير صحيح، في حين أن الاحتمال الثاني يعدّ اتجاهًا صحيحًا للتصادم الفعال؛ لأنه أدى إلى إعادة ترتيب الذرات كما يتّضح من الشكل.

المثال 16

أرسم المعقّد المنشّط المتكون عن التفاعل العام الآتي:

$$2AB \rightarrow A_2 + B_2$$



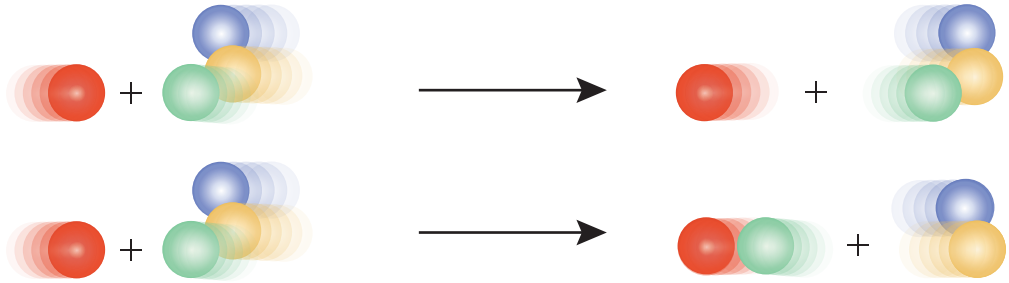
الحلّ:

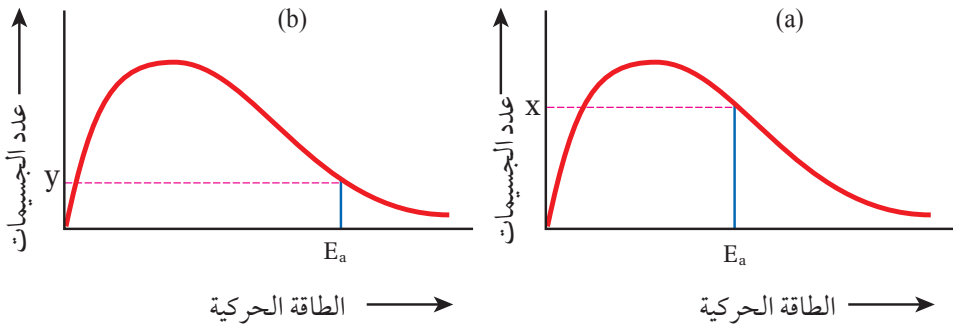
يحدث التصادم بين ذرتي A وذرتي B في الجسيمات AB، ويتوقع أن تنكسر كل رابطة A–B، وتتكون الرابطة بين A–A و B–B؛ فيكون المعقّد المنشّط كما يأتي:

✓ أتحقَّق:

1- ما الشرطان اللازم توافرهما حتى يكون التصادم فعالًا؟

2- بالاعتماد على شرطي التصادم الفعال؛ أستنتج من الشكل الإفتراضي الآتي أي الحالتين تمثل تصادمًا فعالًا، وأيهما تمثل تصادمًا غير فعال، وأفسّر إجابتي.





الشكلُ (16): طاقة التنشيط وعـدد الجسيمات التـي تمتلكها.

طاقة التنشيط Activation Energy (Ea)

تشترط نظرية التصادم امتلاك الجسيمات المتفاعلة طاقة كافية لحدوث التفاعل، ويطلق على هذه الطاقة؛ **طاقة التنشيط Activation Energy (Ea)**، وهي الحد الأدنى من الطاقة الحركية التي يجب أن تمتلكها الجسيمات المتفاعلة كي تبدأ التفاعل وتكون المعقّد المنشّط. وعندما تكون طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل منخفضةً؛ فهذا يعني أن هناك عددًا كبيرًا من الجسيمات تمتلك طاقة كافية لحدوث التفاعل وتكوين المعقّد المنشّط عند تصادمها في الإتجاه الصحيح، يتّضح من الشكل (16/a, b) أن الرمزين X و Y يمثلان عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة التنشيط، وألاحظ أن عدد الجسيمات X أكبر من عدد الجسيماتY. فتكون سرعة التفاعل أكبر، ويزداد احتمال تكون النواتج، أنظر الشكل (16/a)، في حين عندما تكون طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل عالية؛ فهذا يعني أن عددًا قليلًا من الجسيمات يمتلك طاقة كافية لتكوين المعقّد المنشّط؛ فتكون سرعة التفاعل بطيئة. أنظر الشكل(16/b).

ويمكن توضيح هذه العلاقة عن طريق شخص يقوم بدفع عربة ثقيلة إلى قمة تلّ، فإذا كان التلّ مرتفعًا؛ سيحتاج الشخص إلى طاقة كبيرة لدفع العربة نحو القمة، كما أنه سيستغرق وقتًا طويلًا للوصول الى قمة التلّ. أما اذا كان التلّ منخفضًا؛ فسيحتاج الى طاقة أقل لدفع العربة الى قمة التلّ، وسيوصلها في وقت أسرع.

يوضح الشكل (17)؛ سير تفاعل أول اكسيد الكربون CO مع ثاني أكسيد النيتروجين NO_2؛ لإنتاج ثاني أكسيد الكربون CO_2 وأحادي أكسيد النيتروجين NO، وفق المعادلة الآتية:

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

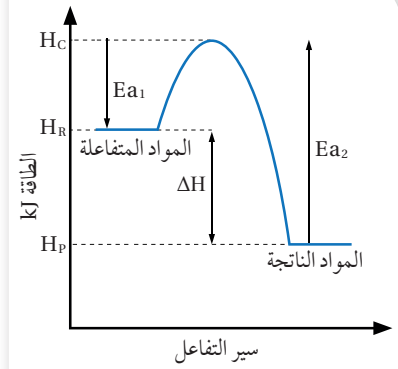
ويبين الشكل (17) أن المواد المتفاعلة تمتلك كمية من الطاقة تسمى طاقة المواد المتفاعلة أو المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة، ويرمز لها بالرمز H_R، وأن المواد الناتجة تمتلك كمية من الطاقة تسمى طاقة المواد الناتجة أو المحتوى الحراري للمواد الناتجة ويرمز لها بالرمز H_P، وألاحظ أن طاقة المواد الناتجة H_P؛ أقل من طاقة المواد المتفاعلة H_R، مما يعني أن التفاعل يصاحبه فقدان للطاقة، ويسمى فرق الطاقة هذا بين طاقة المواد المتفاعلة وطاقة المواد الناتجة التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل، ويرمز له بالرمز ΔH حيث:

التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل = طاقة المواد الناتجة – طاقة المواد المتفاعلة

$$\Delta H = H_P - H_R$$

وتسمى التفاعلات التي تفقد طاقة حرارية؛ التفاعلات الطاردة للطاقة الحرارية.

كما يتضح من الشكل (17) أن المواد المتفاعلة تكتسب الطاقة عند تصادمها لتكوين المعقّد المنشّط؛ وتسمى هذه الطاقة طاقة تنشيط التفاعل الأمامي Ea_1، وفي هذه الحالة تتصادم جزيئات CO و NO_2، بالاتجاه الصحيح ومع وجود كمية كافية من الطاقة، يبدأ تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة ويتكوّن المعقّد المنشّط، ثمّ تتكوّن المواد الناتجة.



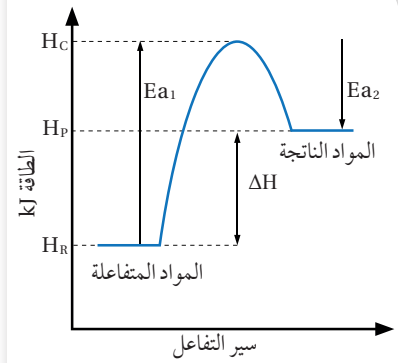
الشكلُ (17): سير تفاعل طارد للطاقة الحرارية.

يسمى فرق الطاقة بين طاقة المواد الناتجة وطاقة المعقّد المنشّط H_C؛ طاقة تنشيط التفاعل العكسي Ea_2. وألاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل العكسي أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي.

ويمكن التعبير – أيضًا – عن التغيّر في المحتوى الحراري؛ بدلالة الفرق بين طاقة تنشيط التفاعل الأمامي Ea_1، وطاقة تنشيط التفاعل العكسي Ea_2، حيث:

التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل= طاقة تنشيط التفاعل الأمامي – طاقة تنشيط التفاعل العكسي

$$\Delta H = Ea_1 - Ea_2$$

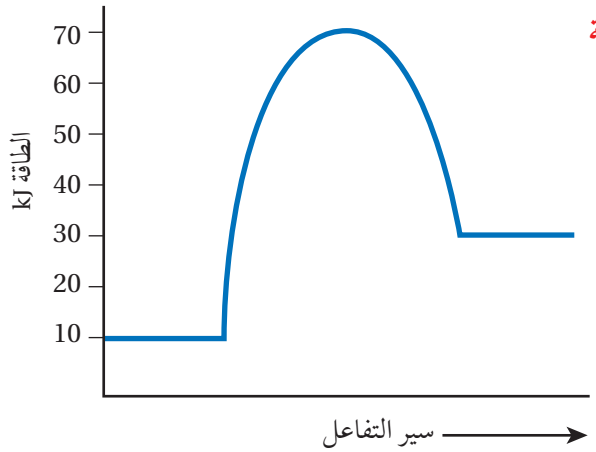


الشكلُ(18): سير تفاعل ماصّ للطاقة الحرارية.

ويوضح الشكل (18) سير تفاعل ماص للطاقة الحرارية؛ حيث تكون طاقة المواد الناتجة أكبر من طاقة المواد المتفاعلة وطاقة التنشيط للتفاعل الأمامي أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل العكسي.

إشارة ΔH الموجبة تعني تفاعلًا ماصًّا للطاقة الحرارية، في حين تعني الإشارة السالبة تفاعلًا طاردًا للطاقة الحرارية.

المثال 17



أدرس منحنى التفاعل الماصّ للطاقة المجاور؛ ثمّ أجد قيمة كلٍّ مما يأتي (بوحدة kJ):

1- طاقة المواد المتفاعلة.

2- طاقة المواد الناتجة.

3- طاقة المعقّد المنشّط.

4- طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.

5- طاقة تنشيط التفاعل العكسي.

6- التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل ΔH.

الحلّ:

1- 10 kJ

2- 30 kJ

3- 70 kJ

4- لحساب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي؛ أحسب الفرق بين طاقة المعقّد المنشّط وطاقة المواد المتفاعلة:

طاقة تنشيط التفاعل الأمامي= طاقة المعقّد المنشّط – طاقة المواد المتفاعلة

$$Ea_1 = H_C - H_R = 70 - 10 = 60 \text{ kJ}$$

5- لحساب طاقة تنشيط التفاعل العكسي؛ أحسب الفرق بين طاقة المعقّد المنشّط وطاقة المواد الناتجة:

طاقة تنشيط التفاعل العكسي = طاقة المعقّد المنشّط – طاقة المواد الناتجة

$$Ea_2 = H_C - H_P = 70 - 30 = 40 \text{ kJ}$$

6- لحساب التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل؛ أحسب الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة وطاقة المواد الناتجة:

$$\Delta H = H_P - H_R$$

$$= 30 - 10 = +20 \text{ kJ}$$

ويمكن حسابه أيضا؛ بحساب الفرق بين طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي وطاقة التنشيط للتفاعل العكسي:

$$\Delta H = Ea_1 - Ea_2$$

$$\Delta H = 60 - 40$$

$$= +20 \text{ kJ}$$

المثال 18

في تفاعل ما؛ كانت طاقة المواد المتفاعلة 25 kJ، وكان التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل 45+ kJ، وطاقة تنشيط التفاعل العكسي 55 kJ؛ أجد قيمة كل مما يأتي (بوحدة kJ):

1- **طاقة المواد الناتجة.**

2- **طاقة المعقّد المنشّط.**

3- **طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.**

4- **هل التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية أم طارد لها؟**

تحليل السؤال: (المعطيات)

$H_R = 25\ kJ$

$\Delta H = +45\ kJ$

$Ea_2 = 55\ kJ$

المطلوب:

الحلّ:

1- أحسب طاقة المواد الناتجة من الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة والتغيّر في المحتوى الحراري:

$\Delta H = H_P - H_R$

$+45 = H_P - 25$

$H_P = 70\ kJ$

2- أحسب طاقة المعقّد المنشّط بمعرفة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي وطاقة المواد الناتجة:

$Ea_2 = H_C - H_P$

$55 = H_C - 70$

$H_C = 125\ kJ$

3- أحسب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من الفرق بين طاقة المعقّد المنشّط وطاقة المواد المتفاعلة:

$Ea_1 = H_C - H_R = 125 - 25 = 100\ kJ$

4- ألاحظ أن إشارة التغير في المحتوى الحراري موجبة؛ فهذا يعني أن التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية.

✓ **أتحقَّق:** في تفاعل ما؛ كانت قيمة التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل 80− kJ، وطاقة المواد الناتجة 15 kJ، وطاقة المعقّد المنشّط 150 kJ ؛ أحسب:

1- طاقة المواد المتفاعلة.

2- طاقة تنشيط التفاعل العكسي.

3- طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي
Factors Affecting Rate of Chemical Reaction

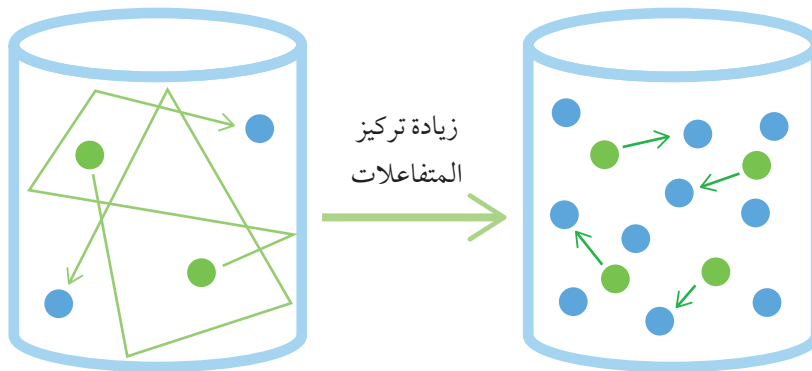
تتأثر سرعة التفاعل الكيميائي بمجموعة من العوامل التي يمكن التحكم بها لزيادة سرعة التفاعل أو إبطائها، فما هذه العوامل؟ وما أثرها في سرعة التفاعل؟

طبيعة المواد المتفاعلة The Nature of Reactants

تتفاعل بعض المواد أسرع من غيرها؛ تبعًا لنشاطها الكيميائي، فمثلًا؛ الصوديوم أسرع تفاعلًا مع الماء مقارنة بالمغنيسيوم، وذلك لأن الصوديوم أكثر نشاطًا كيميائيًا من المغنيسيوم، وأيضًا تفاعل المغنيسيوم مع محلول نترات الفضة أسرع من تفاعل النحاس؛ لأن المغنيسيوم أنشط كيميائيًا من النحاس، وكذلك تفاعل محلول يوديد البوتاسيوم مع محلول نترات الفضة، أسرع من تفاعل مسحوقه مع مسحوق نترات الفضة، وسرعة ظهور اللون الأصفر الناتج عن ترسيب يوديد الفضة AgI أكبر؛ لأن عدد التصادمات بين الأيونات حرة الحركة في المحلول أكبر فيزداد عدد التصادمات الفعالة وبالتالي تكون سرعة التفاعل أكبر.

تركيز المواد المتفاعلة Concentration of Reactants

يؤدي زيادة تركيز المواد المتفاعلة، إلى زيادة عدد الجسيمات في وحدة الحجم، فيزداد عدد التصادمات الفعّالة بينها، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل. فمثلًا؛ تفاعل كتلة محددة من الخارصين Zn مع 20 mL، من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl؛ تركيزه 1M، يؤدي إلى انطلاق كمية من غاز الهيدروجين H_2 من التفاعل أكبر منها عند تفاعل كتلة الخارصين Zn ذاتها مع 20 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl؛ تركيزه 0.1M في الفترة الزمنية ذاتها. وعلى سبيل المثال أيضًا؛ فإن سرعة تفاعل المواد مع الأكسجين النقي O_2 أكبر من سرعة تفاعلها مع الهواء؛ وذلك لأن تركيز الأكسجين النقي أكبر من تركيزه في الهواء. أنظر الشكل (19) الذي يُبيّن زيادة عدد تصادمات الجسيمات المتفاعلة بزيادة تركيزها.



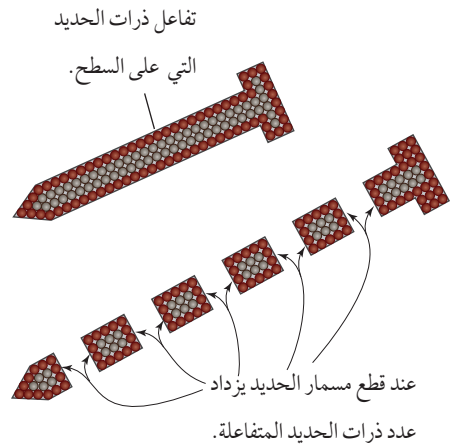
الشكلُ (19): زيادة عدد التصادمات بزيادة تركيز الجسيمات المتفاعلة.

مساحة سطح المواد المتفاعلة Surface Area of Reactant

يؤدي زيادة مساحة سطح المواد الصلبة المعرضة للتفاعل، إلى زيادة عدد التصادمات الفعّالة؛ فتزداد سرعة التفاعل.

توفر الكتلة الكبيرة من المادة الصُلبة مساحة سطح صغيرة، وعند تجزئتها إلى قطع أصغر أو طحنها على شكل مسحوق؛ تزداد مساحة السطح المعرض للتفاعل، وبهذا؛ فإن الكتلة الكبيرة توفر مساحة سطح أصغر مقارنة بمساحة السطح التي توفرها الكتلة الصغيرة. انظر الشكل (20).

فمثلًا؛ تحترق نشارة الخشب بسرعة أكبر من احتراق قطعة الخشب ذات الكتلة نفسها؛ كما أن تفاعل برادة الحديد مع حمض الهيدروكلوريك أسرع من تفاعل قطعة الحديد التي لها الكتلة ذاتها.



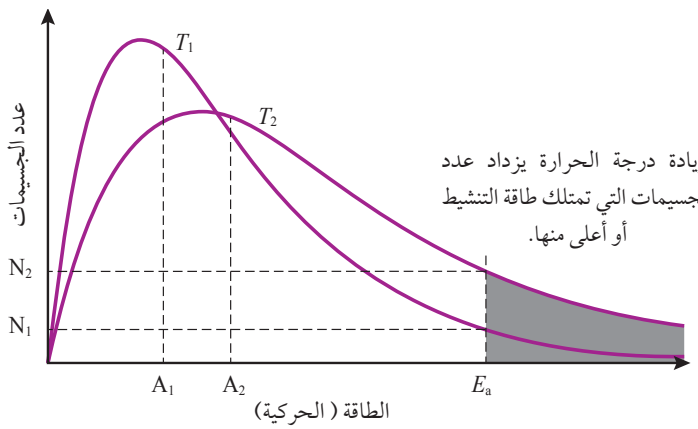
الشكلُ (20): بزيادة مساحة السطح تزداد سرعة التفاعل.

درجة الحرارة Temperature

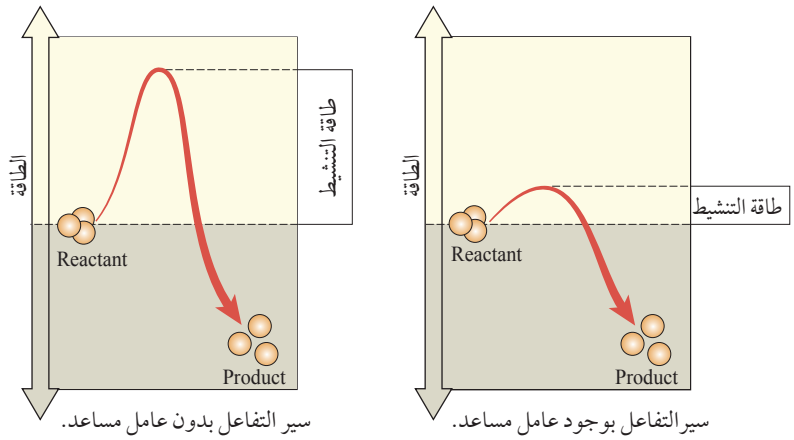
تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى رفع الطاقة الحركية لجسيمات المواد المتفاعلة؛ وبالتالي يزداد عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة تساوي طاقة التنشيط أو أعلى منها؛ فيزداد عدد التصادمات الفعّالة فتزداد سرعة التفاعل. ويمكن توضيح ذلك من الشكل (21) الذي يُبيّن توزيع الطاقة الحركية على الجسيمات عند درجتي حرارة T_1 و T_2 حيث $T_2>T_1$، فالمساحة تحت كل منحنى تُمثّل عدد الجسيمات عند درجة حرارة معينة، وبزيادة درجة الحرارة؛ فإن متوسط الطاقة الحركية A_2 للجسيمات عند درجة الحرارة T_2 أعلى من متوسط الطاقة الحركية A_1 عند درجة الحرارة T_1، ويُلاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل E_a، لا تتغير بتغير درجة الحرارة؛ أما المنطقة المظللة على يمين طاقة التنشيط فتمثل الجسيمات التي تمتلك طاقة كافية للتفاعل، حيث يكون عدد الجسيمات N_2 عند درجة حرارة T_2 أعلى من عددها N_1 عند درجة الحرارة T_1؛ فتزداد سرعة اصطدامها بعضها ببعض، ويزداد بذلك عدد التصادمات الفعّالة؛ مما يؤدي الى زيادة سرعة التفاعل.

الربط بالهندسة

تتأثر سرعة تصلب الخلطة الأسمنتية (الخرسانة) بدرجة الحرارة، لذلك يعمل المهندس المختص على إضافة مواد كيميائية بنسب محددة إلى الخلطة لزيادة سرعة تصلبها أو إبطائها؛ ضمن فترة زمنية محددة تبعًا لمواصفات قياسية. وبهذا يضاف كلوريد الكالسيوم إلى الخلطة لزيادة سرعة تصلبها في فصل الشتاء، في حين يضاف الجبس إلى الخلطة لإبطاء سرعة تصلّبها في فصل الصيف.



الشكلُ (21): توزيع الطاقة الحركية على الجسيمات عند درجتي حرارة T_1 و T_2.



سير التفاعل بدون عامل مساعد.

سير التفاعل بوجود عامل مساعد.

الشكلُ (22): أثر العامل المساعد في طاقة التنشيط وسير التفاعل.

العامل المساعد (الحفاز) Catalyst

تزداد سرعة التفاعل الكيميائي بوجود العامل المساعد (العامل الحفاز). والعامل المساعد **Catalyst** مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي دون أن تُستهلك أثناء التفاعل . وقد بينت التجارب أن العامل المساعد يمهد مسارًا بديلًا للتفاعل، بحيث يقلل طاقة التنشيط؛ مما يجعل حدوث التفاعل أسرع في زمن أقلّ. أنظر الشكل (22).

أما الشكل (23)؛ فيوضّح تفاعلًا كيميائيًا طاردًا للطاقة الحرارية، حيث يُمثّل الخط المتصل مسار التفاعل دون وجود عامل مساعد، في حين يُمثّل الخط المتقطع مسار التفاعل بوجود عامل مساعد، وألاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل بوجود العامل المساعد Ea_1^*؛ أقل منها للتفاعل بدون وجود العامل المساعد Ea_1، وأن طاقة المواد المتفاعلة والناتجة لا تتأثر بوجود العامل المساعد.

أُفكّر: لماذا لا يتأثر التغيّر في المحتوى الحراري بوجود العامل المساعد؟

تشير الرموز في الشكل إلى:

H_C طاقة المعقّد المنشّط دون عامل مساعد.

H_C^* طاقة المعقّد المنشّط بوجود عامل مساعد.

Ea_1 طاقة تنشيط التفاعل الأمامي دون عامل مساعد.

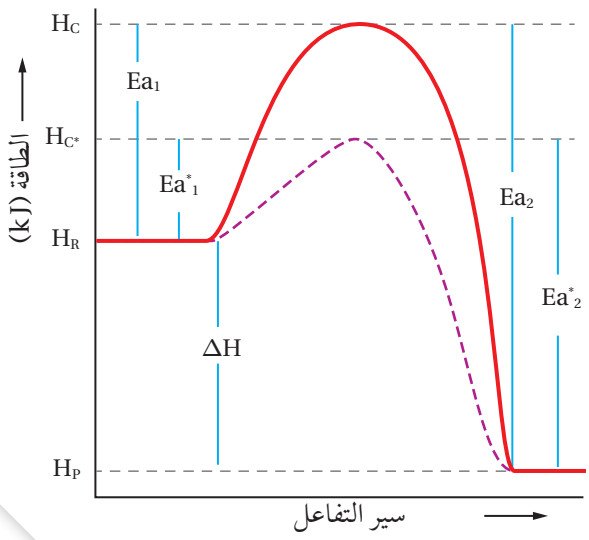
Ea_1^* طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد.

Ea_2 طاقة تنشيط التفاعل العكسي دون عامل مساعد.

Ea_2^* طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.

ΔH التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل.

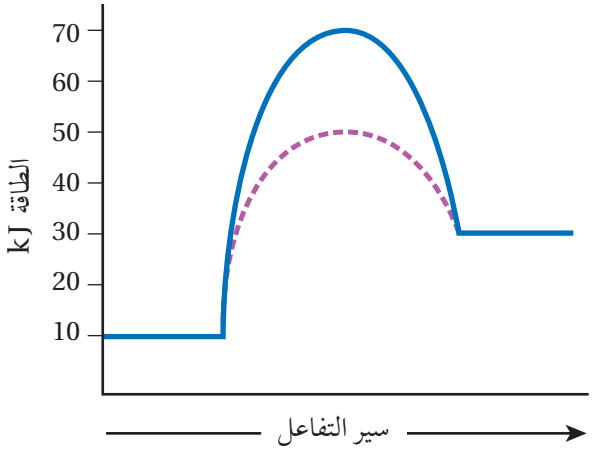
توضح الأمثلة الآتية حساب طاقة تنشيط التفاعل بوجود العامل المساعد ودون وجوده.



الشكلُ (23): منحنى سير تفاعل بوجود العامل المساعد وعدم وجوده.

المثال 19

يُبيّن الشكل سير تفاعل ما بوجود العامل المساعد ودون وجوده:



أستنتج من الشكل؛ بوحدة (kJ):

1- طاقة المواد المتفاعلة. H_R

2- طاقة المواد الناتجة. H_P

3- طاقة تنشيط التفاعل الأمامي دون عامل مساعد. Ea_1

4- طاقة المعقّد المنشّط بوجود العامل المساعد. H_C^*

5- طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد. Ea^*_1

6- طاقة تنشيط التفاعل العكسي دون عامل مساعد. Ea_2

7 طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد. Ea^*_2

8- التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل. ΔH

الحلّ:

1- $H_R = 10\ kJ$

2- $H_P = 30\ kJ$

3- أحسب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي دون عامل مساعد؛ بطرح طاقة المواد المتفاعلة من طاقة المعقّد المنشّط دون عامل مساعد:

$$Ea_1 = H_C - H_R = 70 - 10 = 60\ kJ$$

4- طاقة المعقّد المنشّط بوجود العامل المساعد = 50 kJ

5- أحسب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد؛ بطرح طاقة المواد المتفاعلة من طاقة المعقّد المنشّط بوجود عامل مساعد:

$$Ea^*_1 = H_C^* - H_R = 50 - 10 = 40\ kJ$$

6- أحسب طاقة تنشيط التفاعل العكسي دون عامل مساعد؛ بطرح طاقة المواد الناتجة من طاقة المعقّد المنشّط دون عامل مساعد:

$$Ea_2 = H_C - H_P = 70 - 30 = 40\ kJ$$

7- أحسب طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد؛ بطرح طاقة المواد الناتجة من طاقة المعقّد المنشّط بوجود عامل مساعد:

$$Ea^*_2 = H_{C^*} - H_P = 50 - 30 = 20\ kJ$$

8- أحسب التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل؛ من الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة والناتجة:

$$\Delta H = H_P - H_R = 30 - 10 = +20\ kJ$$

المثال 20

في تفاعل ما؛ كان التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل 40 kJ−، وطاقة المواد المتفاعلة 70 kJ، وطاقة تنشيط التفاعل الأمامي دون عامل مساعد 110 kJ، وطاقة المعقّد المنشّط بوجود العامل المساعد 80 kJ، أحسب:

1- **طاقة التنشيط للتفاعل العكسي دون عامل مساعد Ea_2.**

2- **طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد Ea^*_1.**

3- **طاقة المعقّد المنشّط للتفاعل دون عامل مساعد H_C.**

4- **طاقة المواد الناتجة H_P.**

الحلّ:

1- $Ea_2 = 150\ kJ$

2- $Ea^*_1 = 10\ kJ$

3- $H_C = 180\ kJ$

4- $Hp = 30\ kJ$

✓ **أتحقَّق:** تفاعل افتراضي فيه طاقة المواد المتفاعلة 110 kJ، وطاقة المواد الناتجة 80 kJ، وطاقة المعقّد المنشّط دون عامل مساعد 180 kJ، وطاقة المعقّد المنشّط بوجود عامل مساعد 140 kJ، أحسب:

1-طاقة تنشيط التفاعل العكسي دون عامل مساعد.

2-طاقة تنشيط التفاعل الامامي بوجود العامل المساعد.

3-التغيّر في المحتوى الحراري.

4-هل التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

الربط بعلم الأحياء

الأنزيمات

وهب الله سبحانه وتعالى بعض الخلايا في أجسامنا القدرة على انتاج الأنزيمات؛ فهي تعمل بوصفها عوامل مساعدة في تسريع حدوث التفاعلات في الخلايا، حيث تخفض طاقة التنشيط للتفاعل، ويعود ذلك إلى أن الكثير من التفاعلات في أجسام الكائنات الحية لا تحدث بالسرعة الكافية للمحافظة على الحياة إلا بوجود الأنزيمات. فمثلًا؛ أنزيم السكريز، يحفز التحلل المائي لمحلول سكر السكروز لتكوين سكريات الفركتوز والجلوكوز؛ لإمداد الجسم بالطاقة اللازمة للقيام بالأعمال الحيوية.

التجربة 2

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

المواد والأدوات:

محلولا حمض HCl؛ تركيز احدهما 0.1M والآخر 1 M، حبّتان لهما الحجم نفسه من فلزّ الخارصين Zn، محلول نشا، محلول اليود I_2، ثاني أكسيد المنغنيز MnO_2، محلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، حمام مائي ساخن (درجة 30°C)، حمام مائي بارد (1°C)، مخبار مدرج، كأس زجاجية عدد (5) سعة 100 mL، ملعقة تحريك.

إرشادات السلامة:

- أتّبع ارشادات السلامة العامة في المختبر.
- أرتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- أحذر عند التعامل مع المواد الكيميائية.

خطوات العمل:

1- **أقيس** 15 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl ؛ تركيزه 1M باستخدام المخبار المدرج، وأضعها في الكأس الزجاجية. وأكرر العملية مع محلول HCl تركيزه 0.1 M في كأس زجاجية أخرى.

2- أضع حبّة من فلزّ الخارصين في كلّ من الكأسين الزجاجيتين في الوقت نفسه. وأسجل ملاحظاتي.

3- **أقيس**: أحضر كأسين زجاجيتين، وأضع في كل منهما 10 mL من محلول النشا.

4- أضع أحد الكأسين في الحمام المائي الساخن، والكأس الآخر في الحمام المائي البارد، وأتركهما مدة 5 min.

5- أضيف الى كل من الكأسين 5 mL من محلول اليود I_2، وأحرك بحذر. وأسجل ملاحظاتي.

6- **أقيس**: 20 mL من محلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، وأضعها في كأس زجاجية، وأراقب المحلول بضع ثوان، ثم أضيف إلى المحلول في الكأس ملعقة صغيرة من ثاني أكسيد المنغنيز MnO_2. أسجل ملاحظاتي.

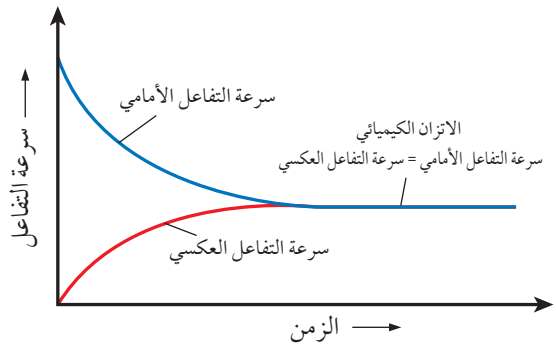
التحليل والاستنتاج

1- **أصف** أثر تغير تركيز حمض HCl في سرعة تصاعد غاز الهيدروجين.

2- **أقارن** بين سرعة تغيّر اللون في محلول النشا في الكأسين البارد والساخن بعد إضافة محلول اليود.

3- **أصف** التغيّر الحاصل بعد إضافة ثاني أكسيد المنغنيز MnO_2 إلى محلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2.

4- أكتب معادلة تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2؛ بوجود العامل المساعد.



الشكلُ (24): تغير سرعة التفاعل مقابل الزمن.

أثر العامل المساعد في موضع الاتّزان

The effect of Catalyst in the Position of equlibirium

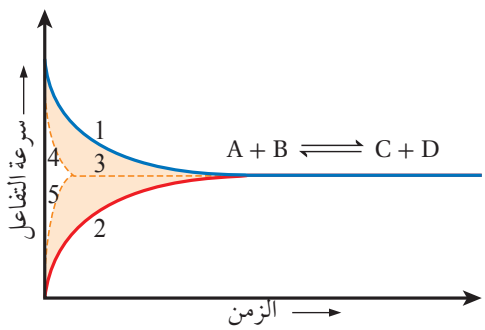
درست سابقًا؛ أن بعض التفاعلات الكيميائية تحدث في اتجاه واحد فقط يسمى الاتجاه الأمامي، ويطلق على هذا التفاعل؛ تفاعل غير منعكس. ومثال ذلك احتراق غاز الميثان بوجود الأكسجين، كما هو موضّح في المعادلة الآتية:

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

هناك تفاعلات كيميائية تحدث في الاتجاهين الامامي والعكسي؛ فبمجرد تحول المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة؛ فإن المواد الناتجة تتفاعل في ما بينها لتعيد تكوين المواد المتفاعلة مرة أخرى، ويطلق على هذا التفاعل؛ تفاعل منعكس. تصل التفاعلات المنعكسة إلى حالة اتزان كيميائي، مما يعني أن سرعة التفاعل الأمامي تساوي سرعة التفاعل العكسي، وتثبت تراكيز كل من المواد المتفاعلة والناتجة، ويستمر التفاعل بالحدوث في الاتجاهين الأمامي والعكسي. أنظر الشكل (24)، حيث يوضح تغير سرعة التفاعل مقابل الزمن.

يعمل العامل المساعد على زيادة سرعة التفاعل الكيميائي في الاتجاهين الأمامي والعكسي؛ ذلك أنه يقلّل من طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل. فعند إضافة عامل مساعد إلى وعاء التفاعل فإن موضع الاتزان لا يتأثر، إنما تزداد سرعة وصول التفاعل إلى حالة الاتزان، ويقل الزمن اللازم لذلك. أنظر الشكل (25) الذي يوضح أثر العامل المساعد في حالة الاتزان.

✓ **أتحقَّق:** ما أثر العامل المساعد في كل من، سرعة التفاعل الأمامي، سرعة التفاعل العكسي.



الشكلُ (25): العامل المساعد وموضع الاتزان.

1 . سرعة التفاعل الأمامي بدون عامل مساعد.
2 . سرعة التفاعل العكسي بدون عامل مساعد.
3 . حالة الاتزان الكيميائي.
4 . سرعة التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد.
5 . سرعة التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.

مراجعة الدرس

1- **الفكرة الرئيسة**: أوضّح كيف تفسر نظرية التصادم حدوث التفاعل الكيميائي.

2- أوضّح المقصود بكل من: المعقد المنشط، العامل المساعد

3- **أفسّر** أثر كل مما يأتي في سرعة التفاعل الكيميائي:

تركيز المواد المتفاعلة، درجة الحرارة، مساحة سطح المواد المتفاعلة.

4- **أستنتج** من البيانات الواردة في الجدول الآتي:

البيانات	طاقة المواد الناتجة	التغيّر في المحتوى الحراري	طاقة المعقّد المنشّط بوجود عامل مساعد	طاقة التنشيط للتفاعل العكسي دون عامل مساعد
الطاقة (kJ)	50	+20	70	110

أ. قيمة طاقة المواد المتفاعلة.

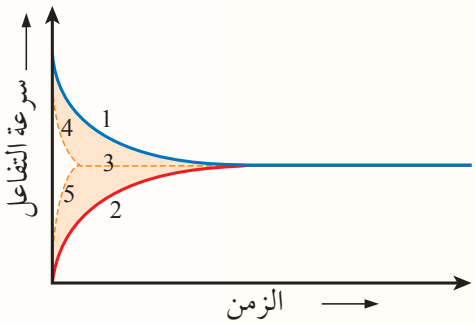
ب. قيمة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.

جـ. قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي دون عامل مساعد.

د. قيمة طاقة المعقّد المنشّط للتفاعل دون عامل مساعد.

هـ. هل التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

و. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد.



5- إلامَ تشير الأرقام المبيّنة في الشكل الآتي:

6- أيّ من الآتية يؤثر فيها العامل المساعد: طاقة المواد المتفاعلة، طاقة تنشيط التفاعل العكسي، طاقة المعقّد المنشّط، التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل، زمن حدوث التفاعل، موضع الاتزان.

7- في التفاعل الافتراضي الآتي $A + B \rightarrow C + D + 80\ kJ$، طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي 55 kJ وطاقة المواد الناتجة 15 kJ، أجد قيمة كلّ ممّا يأتي بوحدة (kJ):

أ. طاقة التنشيط للتفاعل العكسي.

ب. طاقة المعقّد المنشّط.

تقليل تلف الأطعمة

تـزداد سـرعة التفاعـل بزيـادة درجـة الحـرارة؛ فعنـد إعـداد الطعـام نزيـد درجـة الحـرارة لإنضاجـه. ولكـن تـرك الأطعمـة فـي درجة حـرارة الغرفة مدةً يؤدي إلى تلفها بسـبب حـدوث تفاعلات كيميائيـة؛ فالتفاعـلات الكيميائية التي تسـبب تلـف الأطعمـة تكون أسـرع كثيرًا عنـد درجة حـرارة الغرفة منها عنـد وضع الأطعمة فـي الثلاجـة. وبهذا تكون المحافظـة علـى الأطعمـة مـن التلـف بحفظهـا فـي الثلاجـة لضبـط التفاعـلات التي تحـدث وتسـبب تلفهـا. وكذلك بإضافـة المـواد الحافظـة؛ ففـي الصناعـات الغذائية بوجه عام تسـتخدم طرائـق مختلفة لحفـظ الأطعمة، منهـا التجميد والتجفيـف، أيضًـا تسـتخدم مـواد تسـمى المثبطـات Inhibitors، أو المـواد الحافظـة؛ وهـي مـواد مضـادة للأكسـدة تعمـل علـى إبطـاء سـرعة التفاعل؛ لأن الأكسـدة تسـبب تلف الأطعمـة ولاسـيما تلك التي تحتـوي علـى الدهون مثل الأجبـان. واسـتعمال المـواد الحافظـة آمن فـي المنتجـات الغذائية، وتزيد مـن مدة صلاحيـة الغذاء، ومن أنـواع المواد الحافظـة مضـادات البكتيريـا؛ وهي مركبـات كيميائية لها رمـوز وأرقام، مثـل المركب E220–227، حيـث يدخل ثاني أكسـيد الكبريـت SO_2، فـي تركيبه الأساسـي ويسـتخدم في حفـظ الفواكه.

مراجعةُ الوحدةِ

1 . **أوضّح** المقصود بكل من: طاقة تنشيط التفاعل، الرتبة الكلية للتفاعل، سرعة التفاعل الكيميائي.

2 . **أفسّر ما يأتي:**

أ ـ لا تؤدي جميع التصادمات إلى حدوث تفاعل كيميائي.

ب- زيادة سرعة التفاعل بإضافة عامل مساعد.

3 . يُبيّن الجدول الآتي تراكيز مادة افتراضية خلال مدد زمنية مختلفة.

الزمن S	التركيز (M)
0	6
2	4
5	2
9	؟

أ ـ **أستنتج** في ما إذا كانت المادة متفاعلة أم ناتجة؟ أفسّر إجابتي.

ب- **أحسب** سرعة التفاعل خلال الفترة الزمنية (2 – 0).

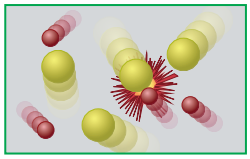
جـ- **أتوقّع**: كم يصبح تركيز المادة عند الزمن 9s (أكبر من 2أم أقل)؟ أفسّر إجابتي.

4 . في التفاعل الافتراضي الآتي: $A_{(g)} + 2B_{(g)} \rightarrow 3C_{(g)}$

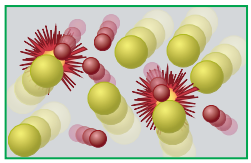
أحسب سرعة تكوين C؛ علمًا أن سرعة استهلاك B يساوي $0.12\ M.s^{-1}$

5 . يُمثّل الشكلان (أ ، ب) تفاعلًا في ظرفين مختلفين.

أستنتج أي الشكلين يُمثّل التفاعل الأسرع؟ وأحدد العامل المؤثر في سرعة هذا التفاعل؟

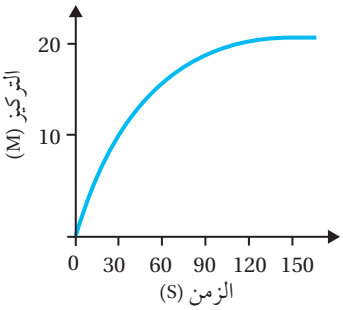


(أ)



(ب)

6 . يُمثّل الرسم البياني العلاقة بين الزمن وتركيز مادة في تفاعل كيميائي.



أ ـ أحدّد الزمن اللازم لإتمام التفاعل؟

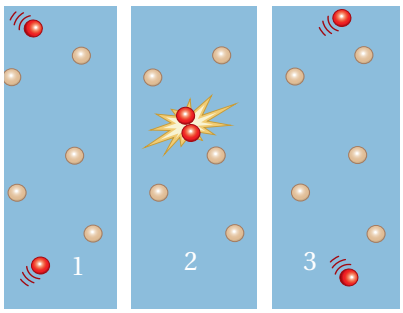
ب- **أحسب** سرعة التفاعل في المدة الزمنية (30 – 90 s).

جـ- **أستنتج** هل المادة متفاعلة أم ناتجة؟

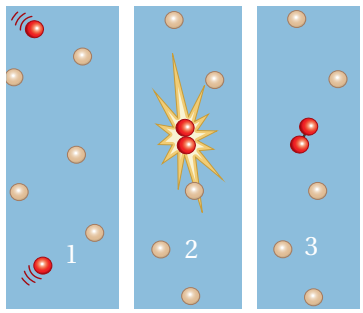
7 . **أستنتج** قانون سرعة التفاعل من المعلومات الواردة في الجدول الآتي:

التجربة	[A] M	[B] M	السرعة الابتدائية $M.s^{-1}$
1	0.01	0.02	0.1
2	0.02	0.02	0.4
3	0.01	0.04	0.2

8 . **أتوقّع** من الشكلين الآتيين (أ، ب) الشرط الذي أدّى إلى حدوث التفاعل الكيميائي، ثم **أفسّر** إجابتي.

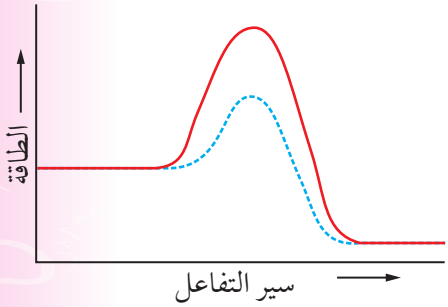


الشكل (أ)



الشكل (ب)

9 . يُمثّل الشكل الآتي سير تفاعل بوجود عامل مساعد، ودون عامل مساعد، أحدّد على الشكل كلًّا من:



طاقة المعقّد المنشّط بوجود عامل مساعد، طاقة تنشيط التفاعل الأمامي دون عامل مساعد، طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود مساعد، التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل، الانخفاض في طاقة المعقّد المنشّط نتيجة إضافة عامل مساعد.

10. جمعت البيانات الإفتراضية الآتية للتفاعل $X + Y \rightarrow XY$ ، إذا علمت أنّ العلاقة بين سرعة تفاعل المادة X وتركيزها علاقة خطّ مستقيم متزايد، أُجيب عن الأسئلة الآتية:

التجربة	[Y] M	[X] M	السرعة الابتدائية M/s
1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.1	0.4
3	0.2	0.2	W

أ - أكتب قانون سرعة التفاعل.

ب - أجد قيمة (k) ووحدته.

جـ - أحسب قيمة السرعة الابتدائية W في التجربة 3 .

11. جمعت البيانات الافتراضية الآتية للتفاعل $A + B + C \rightarrow D + 2E$

التجربة	[A] M	[B] M	[C] M	السرعة الابتدائية M/s
1	0.04	0.04	0.03	0.03
2	0.08	0.08	0.03	0.24
3	0.08	0.04	0.03	0.12
4	0.08	0.04	0.06	0.12

أ - أكتب قانون سرعة التفاعل.

ب - أجد قيمة (k)، ووحدته.

12. أختار الاجابة الصحيحة:

1 . في التفاعل الافتراضي $2A + 2B \rightarrow 4D$؛ إذا كانت رتبة التفاعل للمادة A = zero، وثابت السرعة $K = 0.1\ M^{-1}s^{-1}$ ؛ فإن رتبة التفاعل للمادة B تساوي:

أ) صفرًا ب) 1 جـ) 2 د) 3

2 . العبارة الصحيحة في ما يتعلق بالعامل المساعد:

أ) يزيد من طاقة التنشيط للتفاعل ب) يقلل من طاقة المعقّد المنشّط

جـ) يقلل المحتوى الحراري للتفاعل د) يزيد من طاقة النواتج

3 . عند زيادة مساحة سطح المادة المتفاعلة المعرض للتفاعل عند الظروف نفسها؛ فإن العبارة الصحيحة:

أ) تقلّ سرعة التفاعل ب) يزداد التركيز جـ) تزداد عدد التصادمات الفعّالة د) تقلّ درجة الحرارة

4 . إذا كانت طاقة التنشيط للتفاعل الامامي 70 kJ وكان التغيّر في المحتوى الحراري 50 kJ – ؛ فإن طاقة التنشيط للتفاعل العكسي تساوي بوحدة kJ:

أ) 20 ب) 50 جـ) 70 د) 120

5 . في تفاعل ما تؤدي زيادة درجة حرارة التفاعل إلى:

أ) زيادة طاقة التنشيط ب) تقلّيل سرعة التفاعل

جـ) زيادة عدد التصادمات الفعّالة د) تقلّيل متوسط الطاقة الحركية

6 . وجد في تفاعل افتراضي أن مضاعفة تركيز A مع ثبات تركيز B؛ لا يؤثرفي سرعة التفاعل، وأن مضاعفة تركيز B ثلاث مرات؛ مع ثبات تركيز A ضاعف سرعة التفاعل تسع مرات؛ فيكون قانون سرعة هذا التفاعل:

أ) $R = k\,[B]^2$ ب) $R = k\,[A]^1[B]^1$ جـ) $R = k\,[A]^2[B]^1$ د) $R = k\,[A]^2$

7 . في تفاعل ما كانت طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي (70 kJ)، وطاقة التنشيط للتفاعل العكسي (50 kJ)؛ فإن قيمة التغير في المحتوى الحراري للتفاعل تساوي :

أ) +20 ب) −20 جـ) +120 د) −120

8 . تفاعل فلزّ المغنيسيوم مع الماء أبطأ من فلز الصوديوم في الظروف نفسها، ويعود ذلك إلى:

أ) درجة الحرارة ب) طبيعة المتفاعلات جـ) التركيز د) العامل المساعد

9 . في تجربة ما؛ جرى الحصول على البيانات عند درجةِ حرارةٍ مُعينةٍ لتفاعل مادتين A و B؛ أجيب عن الأسئلة (أ، ب) التي تليه:

التجربة	الزمن S	[A] M	[B] M
1	10	0.1	0.08
2	20	0.06	0.04
3	30	.....	.....

أ) **أحسب** سرعة تفاعل المادة A في الفترة الزمنية (10 – 20 s) بوحدة M/s؟

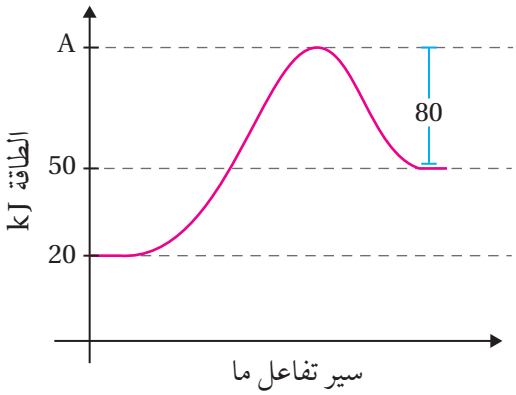
أ) 0.4 ب) 0.04 جـ) 0.004 د) 0.0004

ب) **أستنتج**: أي التراكيز الآتية يعدّ صحيحًا للمادتين A ، و B في التجربة رقم (3)؟

أ) [A] = 0.03، [B] = 0.07 ب) [A] = 0.08، [B] = 0.01

جـ) [A] = 0.04، [B] = 0.03 د) [A] = 0.09، [B] = 0.08

13. يُبيّن الشكل الآتي تغير الطاقة خلال سير التفاعل أدرس الشكل وأجيب عن الأسئلة الآتية:



ما قيمة كلّ مما يأتي:

أ) طاقة المعقّد المنشّط.

ب) التغيّر في المحتوى الحراري.

جـ) طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.

د) إذا أُضيف عامل مساعد كتلته 3 g، وانخفضت طاقة المعقد المنشّط بمقدار 10 kJ، فما قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بعد إضافة العامل المساعد؟

هـ) ما كتلة العامل المساعد بعد انتهاء التفاعل؟

14. اعتمادًا على البيانات في الجدول الآتي لتفاعل ما؛ ما قيمة كلٍّ من الرموز (أ، ب،ج ، د)؟

سير التفاعل	طاقة المواد الناتجة	طاقة المعقّد المنشّط	طاقة تنشيط التفاعل العكسي	طاقة تنشيط التفاعل الأمامي
دون عامل مساعد	أ	ب	170	ج
بوجود عامل مساعد	40	150	د	80

الوحدةُ 4

الكيمياء العضوية

Organic Chemistry

أتأمَّلُ الصورة

تعدّ صناعة الصابون من أقدم الصناعات التي مارسها الإنسان، ويصنع الصابون بتسخين الزيوت أو الدهون مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ فتتفكّك الإسترات المكوّنة لها منتجةً أملاح الحموض الكربوكسيلية أو الدهنية التي تمثل الصابون.؛ يعدّ هذا التفاعل مثالًا على تفاعلات المركبات العضوية. فما تفاعلات المركبات العضوية؟ وكيف تحدث؟ وكيف يجري توظيفها لإنتاج مركبات عضوية مختلفة في المختبر أو في الصناعة؟

الفكرة العامّة:

تُجري المركبات العضوية تفاعلات كيميائية كثيرة جدًا؛ يمكن تصنيفها إلى تفاعلات الإضافة، والحذف، والاستبدال، والتأكسد، والاختزال، حيث يسهّل تصنيفُ هذه التفاعلات دراستَها، ومعرفة طرائق حدوثها، والظروف التي تحدث فيها، وتوقع نواتجها العضوية، وتوظيفها في تحضير مركبات جديدة وتصنيعها.

الدرس الأول: تفاعلات المركبات العضوية؛ الإضافة والحذف.

الفكرة الرئيسة: تتفاعل المركبات العضوية بطرائق متنوعة؛ تعتمد على طبيعة المركب العضوي وظروف التفاعل؛ مما يؤدي إلى نواتج جديدة. ومنها تفاعلات الإضافة لتكسير الرابطة الثنائية والثلاثية، وكذلك تفاعلات الحذف؛ لإعادة تكوين الرابطة الثنائية.

الدرس الثاني: تفاعلات الاستبدال والتأكسد والاختزال .

الفكرة الرئيسة: تتفاعل بعض المركبات العضوية بطريقة الاستبدال، حيث يجري فيها استبدال ذرة أو مجموعة ذرات بذرة أو مجموعة ذرات أخرى، وتتأكسد بعض المركبات العضوية أو تختزل، وينتج عن ذلك مركبات جديدة مختلفة في خصائصها .

الدرس الثالث: تحضير المركبات العضوية.

الفكرة الرئيسة: توظّف تفاعلات المركبات العضوية في تحضير مواد عضوية جديدة وإنتاجها، ولذلك يجري تصنيع كثير من المركبات العضوية في المختبرات بطرائق مختلفة بهدف استكشاف طرق جديدة لإنتاجها على المستوى الاقتصادي بأقل كلفة، ودون إنتاج مواد أخرى غير مرغوبة.

الكشف عن المجموعات الوظيفية في بعض المركبات العضوية

المواد والأدوات: محلول حمض الكبريتيك H_2SO_4، محلول دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$، كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$، الإيثانول CH_3CH_2OH، محلول فهلنج،حمض الإيثانويك CH_3COOH، إيثانال CH_3CHO، أنابيب زجاجية، حامل أنابيب، لهب بنسن، ماسك أنابيب، ماصّة، شريط ورقي لاصق.

إرشاداتُ السلامة:

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

خطواتُ العمل:

1. أحضر ثلاثة أنابيب اختبار؛ وباستخدام الشريط الورقي اللاصق أرقّمها من (1–3)، وأضعها على حامل الأنابيب.
2. **أقيس** 3 mL من حمض الإيثانويك، ثم أسكبها في أنبوب الأختبار رقم (1).
3. **ألاحظ:** أضيف إلى الأنبوب رقم (1) كمية قليلة من كربونات الصوديوم الهيدروجينية، وأرجه بلطف ثم أقرب من فوهة أنبوب الإختبار بحذر عود كبريت مشتعل، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
4. **أقيس** 3 mL من الإيثانال، ثم أسكبها في أنبوب الأختبار رقم (2).
5. **ألاحظ:** أضيف إلى الأنبوب رقم (2) أربع قطرات من محلول فهلنج، وأسخنه مدة 3 min، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
6. **أقيس** 3 mL من الإيثانول باستخدام الماصّة، ثم أسكبها في أنبوب الأختبار رقم (3).
7. **ألاحظ:** أضيف أربع قطرات من محلول دايكرومات البوتاسيوم، وقطرتين من محلول حمض الكبريتيك إلى الأنبوب رقم (3)، ثم أرجّه مدة 1 min، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
8. **أنظم البيانات:** أسجل النتائج التي حصلت عليها في جدول البيانات الآتي:

المركب	المجموعة الوظيفية	الملاحظة
حمض الإيثانويك		

التحليل والاستنتاج:

1- **أتوقّع:** ما الغاز المتصاعد في الأنبوب رقم (1)؟

2- **أتوقّع** نوع التفاعل الذي حدث في كلّ أنبوب من الأنابيب الثلاثة.

الدرسُ 1

تفاعلات المركبات العضوية؛ الإضافة والحذف

Reactions of Organic Compounds, Addition and Elimination

الفكرةُ الرئيسة:

تتفاعل المركبات العضوية بطرائق متنوعة؛ تعتمد على طبيعة المركب العضوي وظروف التفاعل، مما يؤدي إلى نواتج جديدة. ومنها تفاعلات الإضافة؛ لتكسير الرابطة الثنائية والثلاثية، وكذلك تفاعلات الحذف؛ لإعادة تكوين الرابطة الثنائية.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أكتب معادلات كيميائية تعبّر عن تفاعلات الإضافة والحذف في بعض المركبات العضوية.
- أميّز بين الهيدروكربون المشبع وغير المشبع.

المفاهيمُ والمصطلحات:

تفاعل الإضافة	Addition Reaction
نيوكليوفيل	Nucleophile
إلكتروفيل	Electrophile
إضافة إلكتروفيلية	Electrophilic Addition
قاعدة ماركوفينيكوف	Markovnikov's Rule
إضافة نيوكليوفيلية	Nucleophilic Addition
تفاعل الحذف	Elimination Reaction

تفاعلات الإضافة Addition Reactions

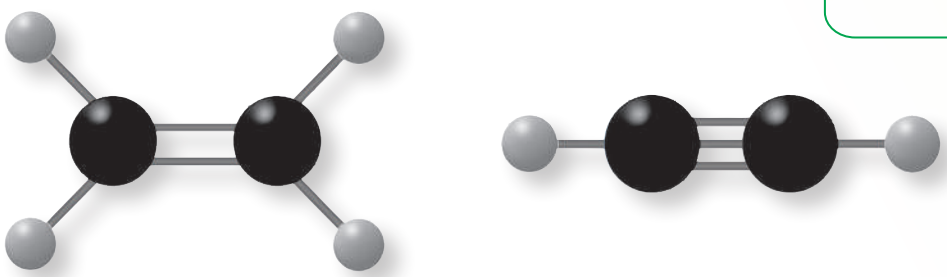
درست سابقًا؛ أن المركب العضوي يحتوي على ذرة أو مجموعة ذرات في صيغته الكيميائية تكون مسؤولة عن خصائصه ونشاطه الكيميائي، وتسمى المجموعة الوظيفية. وتختلف المركبات العضوية في مجموعاتها الوظيفية؛ وتختلف تفاعلاتها تبعًا لذلك. ورغم أن هذه التفاعلات كثيرة جدًا؛ إلا أنها صنّفت إلى تفاعلات الإضافة، والحذف، والاستبدال، والتأكسد، والاختزال؛ وذلك لتسهيل دراستها. وسندرس تفاعلات الإضافة والحذف في هذا الدرس.

عرفت سابقًا؛ أن المركبات العضوية غير المشبعة تحتوي رابطة ثنائية أو ثلاثية، وأن الرابطة التساهمية الثنائية أو الثلاثية تتكون من نوعين من الروابط هما سيجما σ القوية، وباي π الضعيفة. ولذلك تعدّ هذه المركبات نشطة كيميائيًا، ومن أشهر تفاعلاتها الإضافة.

تعتمد تفاعلات الإضافة في المركبات العضوية على طبيعة الروابط المكونة لها، فمثلًا؛ يحتوي الألكين على رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتي كربون C=C، في حين يحتوي الألكاين على رابطة تساهمية ثلاثية C≡C. أنظر الشكل (1). أمّا مركب الكربونيل (الألديهايد أو الكيتون)؛ فيحتوي على رابطة تساهمية ثنائية قطبية بين ذرة الكربون وذرة الأكسجين.

فما تفاعل الإضافة؟ وما المركبات العضوية التي تتفاعل بتفاعل الإضافة؟ وما نواتج تفاعلاتها العضوية؟

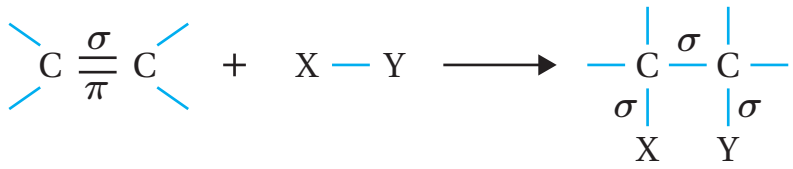
يُعرَف **تفاعل الإضافة Addition Reaction**؛ بأنه تفاعل بين جزيئين يحتوي أحد الجزيئين المتفاعلين على الرابطة الثنائية أو الثلاثية لتكوين جزيء واحد جديد. وعند حدوث التفاعل يتحول المركب العضوي غير المشبع إلى مركب عضوي مشبع.



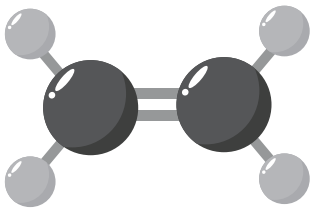
الشكلُ (1): الرابطة الثنائية في الإيثين والرابطة الثلاثية في الإيثاين.

تفاعلات الإضافة في الألكينات Addition Reactions in Alkenes

يتفاعل الألكين بإضافة جزيء إلى ذرتي كربون الرابطة الثنائية الموجودة فيه؛ فتنكسر رابطة π الضعيفة، وتتكون -بدلًا منها- رابطتان من النوع σ الأقوى؛ كما هو موضّح في المعادلة العامة الآتية:



ويمكن تفسير التفاعل؛ بأن الرابطة الثنائية منطقة ذات كثافة إلكترونية عالية سالبة الشحنة، تقوم بجذب الطرف الموجب للجزيء المضاف مكوّنةً معه رابطة تساهمية، ويطلق على الرابطة الثنائية والأيونات السالبة مثل OH^-, Br^- اسم **نيوكليوفيلات Nucleophiles**، كما يطلق على الأطراف الموجبة للجزيئات، مثل H^+ اسم **إلكتروفيلات Electrophiles**، وهي أطراف محبّة للإلكترونات، تنجذب إلى منطقة الكثافة الإلكترونية السالبة؛ وذلك لحاجتها الى زوج إلكترونات. ومن الأمثلة على هذه التفاعلات إضافة جزيء كلّ من الهيدروجين، أو الهالوجين، أو هاليد الهيدروجين، أو الماء، إلى الرابطة الثنائية في الألكين.

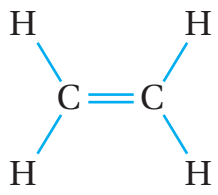


الشكلُ (2):الكين متماثل.

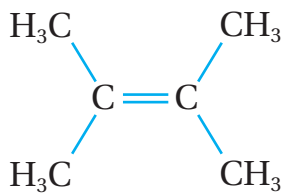
الألكين المتماثل والألكين غير المتماثل

Symmetrical and Unsymmetrical Alkenes

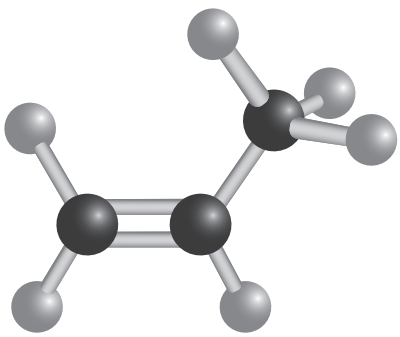
يعدّ الألكين متماثلًا أنظر الشكل (2)؛ عندما ترتبط كل ذرة كربون من ذرتي كربون الرابطة الثنائية بذرات أو مجموعات متماثلة. فمثلًا؛ ترتبط كل ذرة كربون في جزيء الإيثين بذرتي هيدروجين، وكذلك في المركب 2 ، 3- ثنائي ميثيل -2- بيوتين؛ ترتبط كل ذرة كربون من ذرتي كربون الرابطة الثنائية بمجموعتي ميثيل، كما يأتي:



إيثين



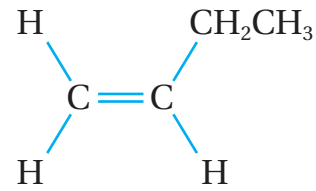
2 ، 3- ثنائي ميثيل -2- بيوتين



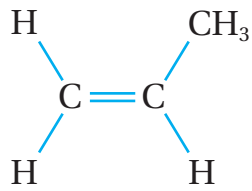
الشكلُ (3):الكين غير متماثل.

أما في الألكين غير المتماثل أنظر الشكل(3) فتكون الذرات أو المجموعات المرتبطة بذرتي كربون الرابطة الثنائية غير متماثلة. فمثلًا؛ في البروبين ترتبط إحدى ذرتي كربون الرابطة الثنائية بذرتي هيدروجين، وترتبط ذرة الكربون الأخرى بذرة هيدروجين ومجموعة ميثيل. وفي المركب 1- بيوتين؛ ترتبط إحدى ذرتي كربون

الرابطة الثنائية بذرتي هيدروجين، وترتبط الأخرى بذرة هيدروجين ومجموعة إيثيل كما يأتي:



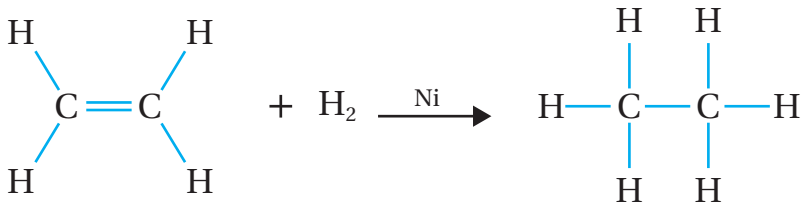
1– بيوتين

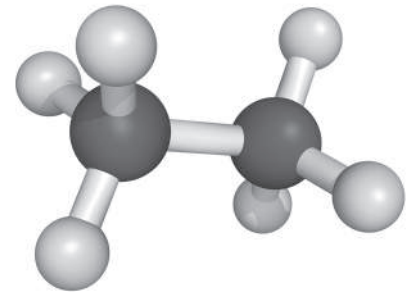


بروبين

إضافة الهيدروجين H_2 (الهدرجة) Addition of Hydrogen

يتفاعل جزيء الإيثين $CH_2 = CH_2$ مع غاز الهيدروجين H_2؛ بوجود عامل مساعد من النيكل Ni أو البلاتين Pt، وتحت درجة حرارة مناسبة، فينتج الإيثان CH_3CH_3 أنظر الشكل(4)، ويعبّر عن التفاعل بالمعادلة الآتية:





الشكلُ (4):جزيء الإيثان.

وكذلك يتفاعل جزيء البروبين $CH_3CH=CH_2$ مع غاز الهيدروجين مكوّنًا جزيء البروبان $CH_3CH_2CH_3$، كما يأتي:

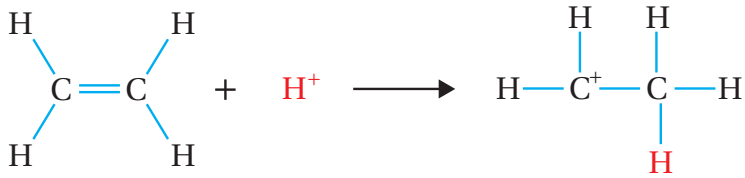
$$CH_3CH=CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2CH_3$$

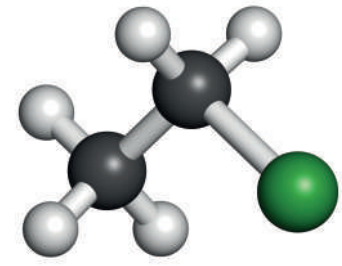
إضافة هاليد الهيدروجين (HCl , HBr, HI) Addition of Hydrogen Halide

يتفاعل بروميد الهيدروجين HBr مع الألكين المتماثل مثل الإيثين $CH_2=CH_2$؛ وفق المعادلة الآتية:

$$CH_2=CH_2 + HBr \longrightarrow CH_3CH_2Br$$

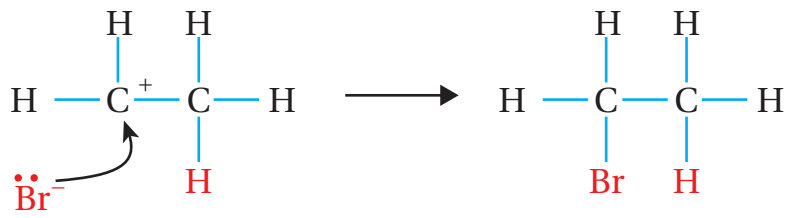
يتضح من المعادلة أن ذرة البروم ترتبط مع إحدى ذرتي كربون الرابطة الثنائية؛ مكوّنةً ناتجًا واحدًا هو بروموإيثان CH_3CH_2Br أنظر الشكل(5)، ويمكن تفسير التفاعل بأن ينجذب الإلكتروفيل H^+ من جزيء HBr نحو الرابطة الثنائية؛ مما يؤدي إلى كسر رابطة π، ويرتبط H^+ بإحدى ذرتي الكربون مكوّنًا الرابطة C–H، وتنشأ على ذرة الكربون الأخرى شحنة موجبة، فيتكون أيون كربوني موجب؛ كما هو موضّح في المعادلة الآتية:





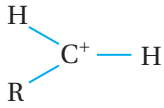
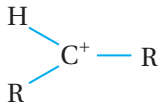
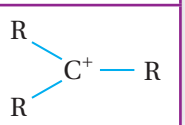
الشكلُ (5):جزيء بروموإيثان.

يتبع ذلك ارتباط النيوكليوفيل Br^- بالأيون الكربوني الموجب؛ فتتكون رابطة C–Br كما يأتي:



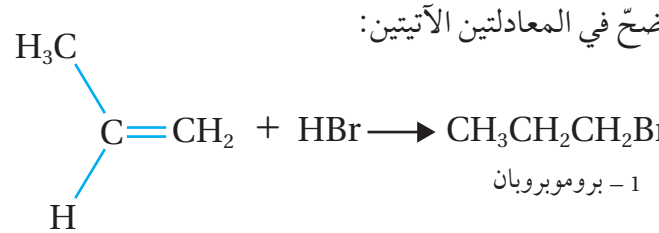
والأيون الكربوني قد يكون أوّليًا أو ثانويًا أو ثالِثيًّا. أنظر الجدول رقم (1)، حيث يوضح شكلًا مبسّطًا لأنواع الأيون الكربوني، حيث R مجموعة ألكيل. ويكون الأيون الكربوني الثالثي أكثر استقرارًا وثباتًا من الأيون الكربوني الثانوي، وأقلها ثباتًا؛ الأيون الكربوني الأولي.

الجدول (1): أنواع الأيون الكربوني.

الصيغة البنائية	نوع الأيون الكربوني
	الأيون الكربوني الأولي
	الأيون الكربوني الثانوي
	الأيون الكربوني الثالثي

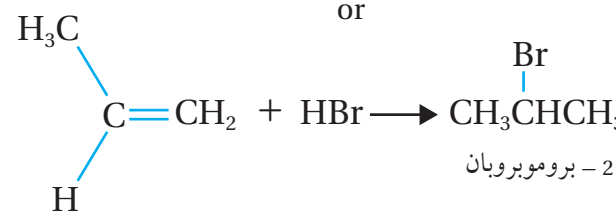
ويُسمّى التفاعل السابق؛ **إضافة إلكتروفيلية Electrophilic Addition**؛ لأن الإلكتروفيل H^+ هو الذي يبدأ التفاعل مع الرابطة الثنائية في الألكين.

ونذكر مثالًا آخر على هذه الإضافة؛ إضافة بروميد الهيدروجين HBr إلى ألكين غير متماثل، مثل البروبين $CH_3CH{=}CH_2$؛ فإنه يحتمل تكون ناتجين، كما هو موضحّ في المعادلتين الآتيتين:



1 – بروموبروبان

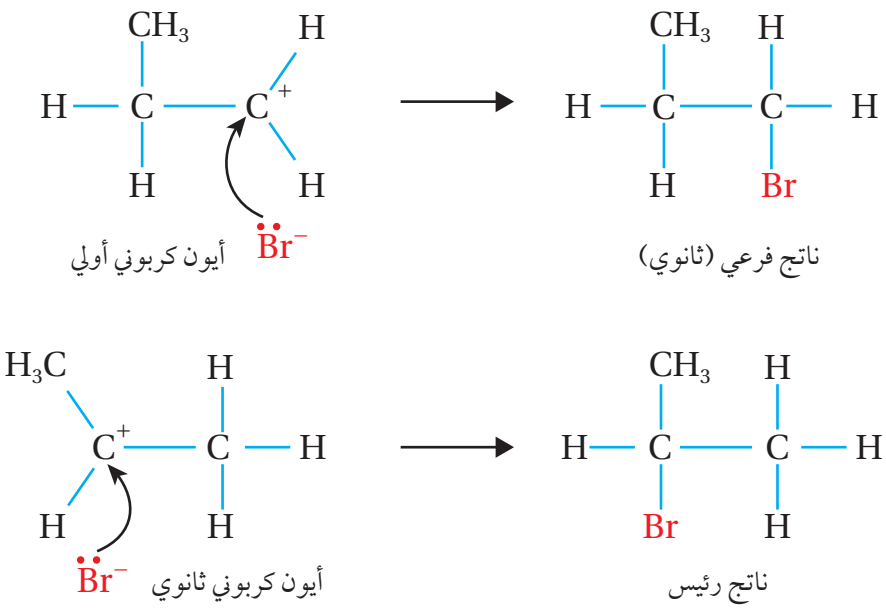
or



2 – بروموبروبان

يتضح من المعادلتين؛ أن ذرة البروم يمكن أن ترتبط مع إحدى ذرتي كربون الرابطة الثنائية، وبناء على ذلك؛ يحتمل أن يتكون المركب 1– برموبروبان أو 2– برموبروبان، وقد وجد عمليًا أن الناتج الرئيس الذي تكون هو 2– برموبروبان، أنظر الشكل (6). ويمكن تفسير ذلك عن طريق **قاعدة ماركوفينيكوف Markovnikov's Rule**، حيث تنصّ أن **إضافة هاليد الهيدروجين HX إلى ألكين غير متماثل؛ فإن ذرة الهيدروجين ترتبط بذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين**. وهو ما يؤدي إلى تكوين أيون كربوني ثانوي هو الأكثر استقرارًا وثباتًا وبهذا؛ فإن تفاعل أيون البروميد Br^- مع الأيون الكربوني الثانوي يؤدي إلى تكوين الناتج الرئيس

أفكّر: كيف أميّز بين أنواع الأيونات الكربونية الثلاثة؟



الشكلُ (6): الناتج الرئيس والناتج الثانوي لتفاعل Br^- مع الأيون الكربوني الأولي والثانوي.

2–بروموبروبان، مقارنةً بتفاعل أيون البروميد Br^- مع الأيون الكربوني الأوّلي الأقل استقرارًا وثباتًا، كما هو موضّح في الشكل (6).

أُفكِّر: أفسّر عدم تكون أيون كربوني ثالِثيّ في تفاعل بروميد الهيدروجين مع البروبين $CH_3CH{=}CH_2$؟

إضافة الماء H_2O Addition of Water

يتفاعل بخار الماء مع الإيثين $CH_2{=}CH_2$ مثلًا؛ بوجود عامل مساعد، مثل حمض الفسفوريك H_3PO_4، أو حمض الكبريتيك H_2SO_4، وتحت ضغط جوي ودرجة حرارة مناسبين؛ وذلك لإنتاج الإيثانول CH_3CH_2OH، ويعبّر عن التفاعل بالمعادلة الآتية:

$$CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_3PO_4} CH_3CH_2OH$$

وكذلك يتفاعل البروبين $CH_3CH{=}CH_2$ مع الماء في وسط حمضي؛ تبعًا لقاعدة ماركوفنيكوف مكوّنًا المركب 2– بروبانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_3PO_4} CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$$

إضافة الهالوجين (Cl_2, Br_2) Addition of Halogen

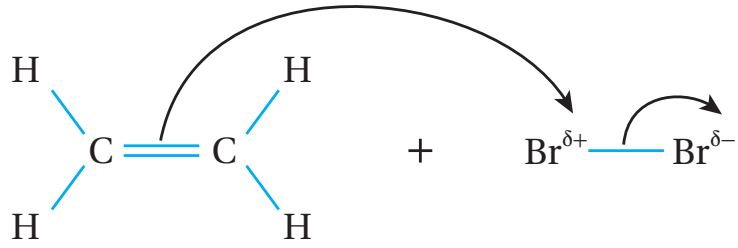
تتفاعل الألكينات مع الهالوجينات، مثل الكلور أو البروم عند درجة حرارة الغرفة، فمثلًا؛ يتفاعل الإيثين مع غاز الكلور مكوّنًا المركب 1، 2– ثنائي كلوروإيثان CH_2ClCH_2Cl؛ كما هو موضّح في المعادلة الآتية:

$$CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2ClCH_2Cl$$

ويتفاعل الإيثين مع البروم Br_2 المذاب في ثنائي كلورومِيثان CH_2Cl_2؛

الربط بالحياة

تُستخدم معقّمات اليدين بشكل شائع في مختلف الأماكن، مثل المستشفيات، والمطاعم، والمدارس، وفي الاستعمال الشخصي؛ وذلك لقتل الميكروبات والحدّ من انتقال العدوى. ورغم استخدام مكونات مختلفة في تصنيع المعقمات؛ إلا أن المكوّن الفعال هو الإيثانول أو 2– بروبانول.



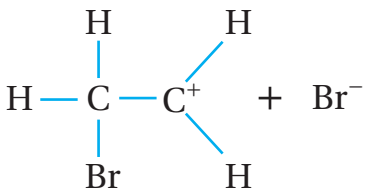
الشكلُ (7): استقطاب جزيء Br_2 عند اقترابه من الرابطة الثنائية.

مكوّنًا المركب 1، 2– ثنائي بروموإيثان CH_2BrCH_2Br، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$CH_2=CH_2 + Br_2 \xrightarrow{CH_2Cl_2} CH_2BrCH_2Br$$

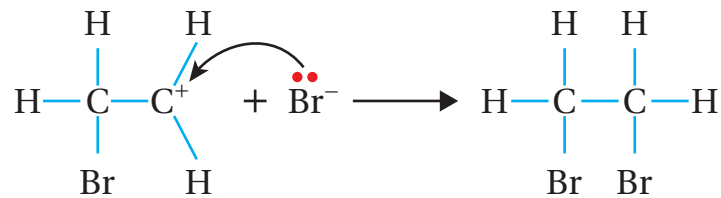
وتفسير ذلك؛ أن الرابطة الثنائية ذات كثافة إلكترونية عالية سالبة الشحنة تسبب استقطاب جزيء الهالوجين القريب منها، فتظهر على إحدى ذرتي الجزيء شحنة جزئية موجبة، وتظهر على الذرة الأخرى شحنة جزئية سالبة، كما هو موضّح في الشكل (7) الذي يُبيّن استقطاب جزيء Br_2 عند اقترابه من الرابطة الثنائية.

ثم يحدث تجاذب بين الشحنة السالبة للرابطة C=C من الألكين وذرة البروم ذات الشحنة الجزئية الموجبة؛ فتنكسر الرابطة π في الألكين، وتتكون الرابطة C – Br، وينتج أيون كربوني موجب، وأيون بروميد سالب. أنظر الشكل (8).



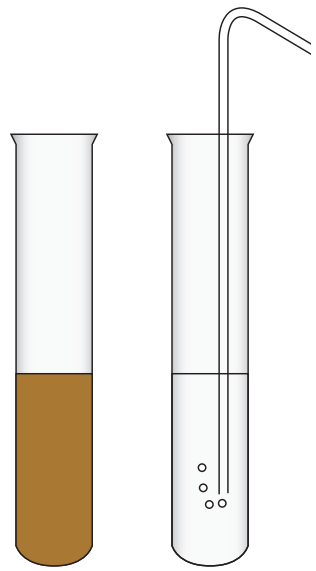
الشكلُ (8): تكون رابطة C – Br وأيون كربوني موجب وأيون بروميد سالب.

بعد ذلك؛ ينجذب أيون البروميد السالب إلى ذرة الكربون الموجبة في الأيون الكربوني، فتتكوّن رابطة جديدة C – Br؛ وبذلك يتكون المركب 1، 2– ثنائي بروموإيثان، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



يستعمل محلول البروم المائي (ماء البروم) ذو اللون البرتقالي المصفرّ في الكشف عن وجود الرابطة الثنائية أو الثلاثية، لذلك؛ يمكن التمييز مخبريًا بين الهيدروكربون المشبع وغير المشبع، باختفاء لون محلول البروم عند إضافته الى الهيدروكربون غير المشبع، فمثلًا؛ عند ضخ فقاعات غاز الإيثين $CH_2=CH_2$ عبر محلول البروم يختفي

لون محلول البروم، كما هو موضح في الشكل (9). أما عند إضافة محلول البروم إلى الإيثان CH_3CH_3 فإنه لا يتغير لون المحلول، مما يشير إلى عدم حدوث تفاعل.



الشكلُ (9): اختفاء لون ماء البروم عند تفاعله مع الإيثين.

✓ أتحقَّق:

1- أكمل المعادلات الآتية:

- $CH_3CH{=}CHCH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni}$
- $CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \longrightarrow$
- $CH_3\,CH_2CH{=}CH_2 + HCl \longrightarrow$
- $CH_3CH_2CH{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_3PO_4}$

2- أكتب معادلة كيميائية توضح إضافة بروميد الهيدروجين HBr إلى المركب

1− هكسين $CH_3CH_2CH_2CH_2CH{=}CH_2$

تفاعلات الإضافة في الألكاينات Addition Reactions in Alkynes

تتفاعل الألكاينات بتفاعلات الإضافة كما في الألكينات؛ إذ يمكن إضافة جزيئين من الهيدروجين، أو الهالوجين، أو هاليد الهيدروجين إلى الألكاين؛ فتنكسر رابطتي π، ويتكون بدلًا منها أربعة روابط من النوع σ، والأمثلة الآتية توضّح هذه الإضافة:

إضافة الهيدروجين Addition of Hydrogen

يتفاعل الألكاين مع كمية وافرة من الهيدروجين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt مكوّنًا الألكان، فمثلًا؛ يتفاعل جزيء الإيثاين $HC{\equiv}CH$ مع كمّية وافرة من الهيدروجين مكوّنًا جزيءالإيثان CH_3CH_3، ويمكن التعبير عن معادلة التفاعل كما يأتي:

$$H{-}C{\equiv}C{-}H + 2H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_3$$

وكذلك يتفاعل الجزيء 1− بيوتاين $CH_3CH_2C{\equiv}CH$، مع كمية وافرة من الهيدروجين، مكوّنًا جزيء البيوتان $CH_3CH_2CH_2CH_3$، كما يأتي:

$$CH_3CH_2C{\equiv}CH + 2H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2CH_2CH_3$$

أفكّر: أفسّر سبب استخدام جزيئين من الهيدروجين في التفاعل.

إضافة الهالوجين Addition of Halogen

يتفاعل الألكاين مع كمية وافرة من الهالوجين؛ مكوّنًا هاليد الألكيل، فمثلًا؛ يتفاعل جزيء الإيثاين $CH{\equiv}CH$ مع جزيئين من البروم $2Br_2$ المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2؛ مكوّنًا الجزيء 1،1،2،2− رباعي برومو إيثان $CHBr_2CHBr_2$، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$H{-}C{\equiv}C{-}H + 2Br_2 \xrightarrow{CH_2Cl_2} CHBr_2CHBr_2$$

وكذلك يتفاعل جزيء البروباين $CH_3C{\equiv}CH$ مع جزيئين من الكلور Cl_2 مكوّنًا 1،1،2،2– رباعي كلورو بروبان $CH_3CCl_2CHCl_2$؛ كما يأتي:

$$CH_3C{\equiv}CH + 2Cl_2 \longrightarrow CH_3CCl_2CHCl_2$$

إضافة هاليد الهيدروجين Addition of Hydrogen Halide

يضاف جزيئان من هاليد الهيدروجين إلى الألكاين وفق قاعدة ماركوفينكوف؛ إذ ترتبط ذرتا هيدروجين من هاليد الهيدروجين مع ذرة كربون الرابطة الثلاثية المرتبطة بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين في الألكاين، فمثلًا؛ يضاف جزيئان من بروميد الهيدروجين HBr، إلى جزيء البروباين $CH_3C{\equiv}CH$؛ فينتج جزيء 2،2– ثنائي بروموبروبان $CH_3CBr_2CH_3$؛ كما يأتي:

$$CH_3C{\equiv}CH + 2HBr \longrightarrow CH_3CBr_2CH_3$$

كما يضاف جزيئين من كلوريد الهيدروجين HCl، إلى جزيء الإيثاين $CH{\equiv}CH$ مكوّنًا الجزيء 1،1– ثنائي كلوروإيثان CH_3CHCl_2؛ كما يأتي:

$$CH{\equiv}CH + 2HCl \longrightarrow CH_3CHCl_2$$

✓ أتحقَّق:

1- أكمل المعادلتين الآتيتين:

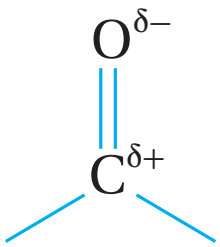
- $CH_3CH_2C{\equiv}CH + 2HCl \longrightarrow$
- $CH_3C{\equiv}CH + 2Cl_2 \longrightarrow$

2- أكتب معادلة تفاعل 2– بيوتاين $CH_3C{\equiv}CCH_3$ مع كمية وافرة من الهيدروجين.

تفاعلات الإضافة في الألديهايدات والكيتونات
Addition Reactions in Aldehydes and Ketones

تتشابه الألديهايدات والكيتونات في كثير من تفاعلاتهما الكيميائية؛ وذلك لاحتواء كلّ منها على مجموعة الكربونيل القطبية التي تحتوي على رابطة ثنائية بين ذرة الكربون وذرة الأكسجين، أنظر الشكل (10).

مما يجعل الألديهايدات والكيتونات تتفاعل بالإضافة، ومن الأمثلة على هذه التفاعلات، تفاعلاتها مع مركبات غرينارد، ومع الهيدروجين كما يأتي:



الشكلُ (10): مجموعة الكربونيل القطبية.

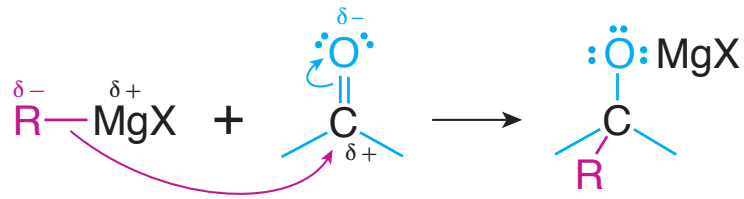
إضافة مركب غرينارد Addition of Grinard's Compound R – MgX

ينتج مركب غرينارد RMgX من تفاعل هاليد الألكيل R–X مع فلزّ المغنيسيوم، بوجود الإيثر Et الجاف، كما هو موضّح في المعادلة:

$$R{-}X + Mg \xrightarrow{Et} RMgX$$

فمثلًا؛ ينتج مركب ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl من تفاعل كلوريد الميثيل (كلورو ميثان) CH_3Cl مع فلزّ المغنيسيوم، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3Cl + Mg \xrightarrow{Et} CH_3MgCl$$



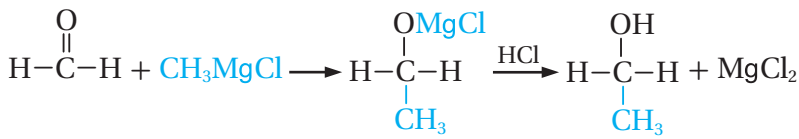
الشكلُ (11): الإضافة النيوكليوفيلية في الألديهايد والكيتون.

وكذلك ينتج مركب إيثيل بروميد المغنيسيوم CH_3CH_2MgBr من تفاعل بروميد الإيثيل (بروموإيثان) CH_3CH_2Br مع فلزّ المغنيسيوم بوجود الإيثر Et الجاف كما يأتي:

$$CH_3CH_2Br + Mg \xrightarrow{Et} CH_3CH_2MgBr$$

وحيث أن ذرة المغنيسيوم أقل سالبية كهربائية من ذرة كربون مجموعة الألكيل R المرتبطة بها، لذلك يظهر على ذرة المغنيسيوم شحنة جزئية موجبة، ويظهر على ذرة الكربون المرتبطة بذرة المغنيسيوم من مجموعة الألكيل R شحنة جزئية سالبة، ($\overset{\delta-}{R}-\overset{\delta+}{MgX}$)، وبهذا فإن ذرة الكربون تعدّ نيوكليوفيلا يبدأ التفاعل مع مجموعة الكربونيل، حيث ينجذب النيوكليوفيل نحو ذرة الكربون الموجبة الشحنة في مجموعة الكربونيل في الألديهايد أو الكيتون، ولذلك يطلق على هذا النوع من الإضافة؛ **الإضافة النيوكليوفيلية Nucleophilic Addition**، كما هو موضح في الشكل (11) الذي يُبيّن هذه الإضافة.

يتضح من الشكل أن النيوكليوفيل $\overset{\delta-}{R}$ يرتبط مع ذرة الكربون ذات الشحنة الجزئية الموجبة في مجموعة الكربونيل، ثم يرتبط الالكتروفيل $\overset{\delta+}{MgX}$ مع ذرة الأكسجين ذات الشحنة الجزئية السالبة؛ وبذلك يتكون ناتج وسطي يتفاعل مع حمض HCl، أو حمض HBr؛ فتحلّ ذرة هيدروجين من الحمض محل MgX في المركب الوسطي، وينتج الكحول، ويكون عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج مساويًا لمجموع عدد ذرات كربون المادتين المتفاعلتين من مركب الكربونيل ومركب غرينارد، فمثلًا؛ يتفاعل الميثانال HCHO مع ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl بوجود حمض HCl، فينتج كحول الإيثانول CH_3CH_2OH ؛ كما هو موضح في المعادلة الآتية:



يتضح من معادلة التفاعل أن عدد ذرات الكربون في الإيثانول CH_3CH_2OH يساوي اثنتين، وهذا يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في المادتين المتفاعلتين؛ ميثانال HCHO، وميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl.

الربط بالصناعة

استخدمت إحدى الشركات العالمية في تصنيع العطور خليطًا من بعض الألديهايدات فمثلًا؛ الألديهايد الذي يحتوي 10 ذرات كربون يعطي رائحة البرتقال، والذي يحتوي 12 ذرة كربون يعطي رائحة البنفسج. ولكن ليس كل الألديهايدات تعطي رائحة طيبة؛ فمنها ما يعطي رائحة تشبه رائحة الخضار المتعفنة، لذلك يجب استخدام الألديهايد المناسب في صناعة العطور.

ومن الأمثلة أيضًا؛ تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl مع الإيثانال CH_3CHO، وكذلك تفاعله مع البروبانون CH_3COCH_3؛ كما هو موضّح في المعادلتين الآتيتين:

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H + CH_3CH_2MgCl \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{OMgCl}{|}}{\underset{\underset{CH_2CH_3}{|}}{C}}-H \xrightarrow{HCl} CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{CH_2CH_3}{|}}{C}}-H + MgCl_2$$

إيثانال — إيثيل كلوريد المغنيسيوم — 2 – بيوتانول

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3 + CH_3CH_2MgCl \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{OMgCl}{|}}{\underset{\underset{CH_2CH_3}{|}}{C}}-CH_3 \xrightarrow{HCl} CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{CH_2CH_3}{|}}{C}}-CH_3 + MgCl_2$$

بروبانون — إيثيل كلوريد المغنيسيوم — 2 – ميثيل – 2 – بيوتانول

إضافة الهيدروجين Addition of Hydrogen

تتفاعل الألديهايدات والكيتونات مع غاز الهيدروجين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt مكوّنةً الكحولات. فمثلًا؛ يتفاعل الإيثانال CH_3CHO مع غاز الهيدروجين H_2 مكوّنًا الإيثانول CH_3CH_2OH؛ وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3CHO + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2OH$$

وكذلك يتفاعل البروبانون CH_3COCH_3 مع غاز الهيدروجين H_2 مكوّنًا 2 – بروبانول $CH_3CHOHCH_3$؛ وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3COCH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CHOHCH_3$$

الربط بالحياة

خلق الله –عزّ وجلّ– النباتات ولكل منها رائحة مميزة، فاللوز مثلًا؛ يحتوى على مركب ألديهايد يعطيه رائحة مميزة. وقد جرى استخلاص هذا المركب ويستخدم في صناعة منكهات المواد الغذائية وفي المستحضرات الطبية.

أفكّر: أكتب الصيغة البنائية المحتملة لمركبي غرينارد والألديهايد اللازمين لتكوين مركب 3– بنتانول.

$CH_3CH_2CHOHCH_2CH_3$

أتحقّق:

1- أكمل المعادلتين الآتيتين:

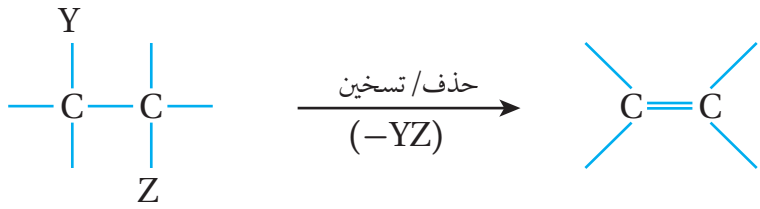
- $CH_3COCH_2CH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni}$ .....
- $CH_3CH_2CH_2CHO + CH_3CH_2MgBr \longrightarrow$ ..... $\xrightarrow{HBr}$ .....

2- أكتب معادلة تفاعل البيوتانون $CH_3CH_2COCH_3$ مع ايثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl، متبوعًا بإضافة حمض HCl .

أُصَمِّمُ، باستخدام برنامج السكراتش (Scratch)، عرضًا يوضح إضافة CH_3MgCl إلى البيوتانال $CH_3CH_2CH_2CHO$ متبوعًا بإضافة حمض HCl، وكذلك إضافته إلى البيوتانون $CH_3CH_2COCH_3$، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

تفاعلات الحذف Elimination Reactions

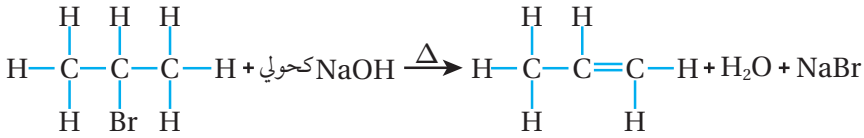
درست سابقًا؛ تفاعلات الإضافة في الألكينات، حيث جرى كسر الرابطة π من الرابطة الثنائية في الألكين عند إضافة جزيء هاليد الهيدروجين HX إليه مكوّنًا هاليد الألكيل R–X، وكذلك إضافة جزيء الماء H_2O مكوّنًا الكحول R–OH. أما **تفاعل الحذف Elimination Reaction**؛ فهو تفاعل يحدث فيه نزع جزيء هاليد الهيدروجين HX من هاليد الألكيل من ذرتي كربون متجاورتين، أو نزع جزيء الماء H_2O من الكحول مكوّنًا الألكين. وتوضح المعادلة العامة الآتية تفاعل الحذف:



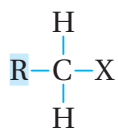
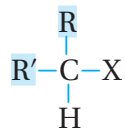
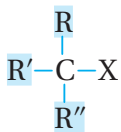
الحذف من هاليد الألكيل Elimination from Alkyl Halide

تُصنّف هاليدات الألكيل المحتوية على ذرة هالوجين واحدة إلى أولية 1°، وثانوية 2°، وثالثية 3°، وذلك حسب عدد مجموعات الألكيل المرتبطة بذرة الكربون المتصلة بذرة الهالوجين، كما يوضح الجدول (2):

يُنتزع جزيء HX من هاليد الألكيل الثانوي أو الثالثي بشكل رئيس؛ وذلك بالتسخين مع محلول مركز من قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد البوتاسيوم KOH أو هيدروكسيد الصوديوم NaOH المذاب في الإيثانول فينتج الألكين. فمثلًا؛ عند تسخين 2– بروموبروبان $CH_3CHBrCH_3$ مع محلول هيدروكسيد الصوديوم الكحولي؛ فإنه يتكون المركب العضوي بروبين $CH_3CH{=}CH_2$، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



الجدول (2): أنواع هاليدات الألكيل والصيغة العامة لكل نوع، وأمثلة عليها.

نوع هاليد الألكيل	هاليد ألكيل أولي 1°	هاليد ألكيل ثانوي 2°	هاليد ألكيل ثالثي 3°
الصيغة العامة			
مثال	$CH_3CH_2CH_2Br$	CH_3CHCH_3 Br	CH_3 $CH_3–C–CH_3$ Br

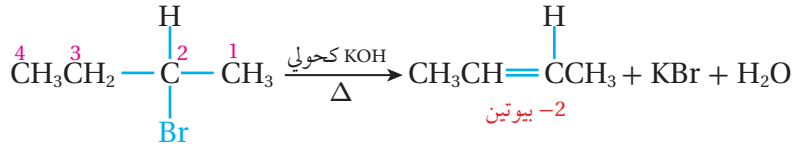
ويمكن كتابة معادلة التفاعل على النحو الآتي:

$$CH_3CHBrCH_3 + \text{KOH كحولي} \xrightarrow{\Delta} CH_3CH{=}CH_2 + KBr + H_2O$$

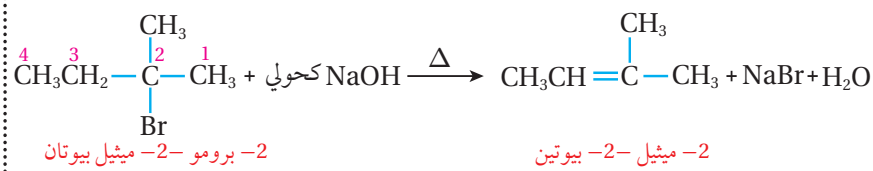
يتضح من المعادلة أنه تم نزع ذرة البروم Br عن ذرة الكربون المرتبطة بها، ونزع ذرة هيدروجين H عن ذرة الكربون المجاورة لها؛ فتكونت رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون المتجاورتين ونتج البروبين.

وعند زيادة عدد ذرات الكربون في هاليد الألكيل عن 3 ذرات كربون؛ فيجري نزع ذرة الهيدروجين H من ذرة الكربون المجاورة لذرة الكربون المرتبطة بالهالوجين التي ترتبط بعدد أكبر من مجموعات الألكيل.

فمثلًا؛ عند تسخين 2– بروموبيوتان $CH_3CHBrCH_2CH_3$ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي تنتزع ذرة البروم Br عن ذرة الكربون المرتبطة بها، ويمكن نزع ذرة الهيدروجين عن ذرة الكربون رقم (1) المرتبطة بمجموعة ألكيل واحدة أو نزع ذرة الهيدروجين عن ذرة كربون رقم (3) المرتبطة بمجموعتي ألكيل، وقد وجد أن نزع ذرة الهيدروجين عن ذرة الكربون رقم (3)، يؤدي إلى تكوين الرابطة الثنائية الأكثر ثباتًا بين ذرتي كربون 2 و 3 ويكون الناتج 2– بيوتين هو الناتج الرئيس.



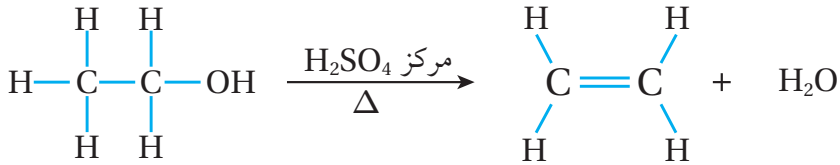
وكذلك عند تسخين 2– برومو –2– ميثيل بيوتان مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH الكحولي؛ فإن ذرة البروم تنتزع عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وتنتزع ذرة الهيدروجين عن ذرة الكربون رقم (3) المرتبطة بعدد أكبر من مجموعات الألكيل؛ فيكون الناتج الرئيس 2– ميثيل –2– بيوتين، كما توضح المعادلة الآتية:



✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلة تفاعل تسخين 2– كلوروبنتان $CH_3\overset{\overset{Cl}{|}}{C}HCH_2CH_2CH_3$ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي.

الحذف من الكحول Elimination from Alcohol

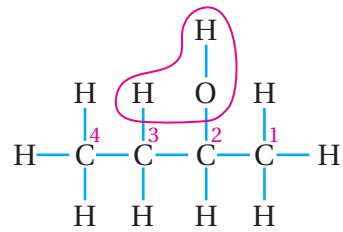
عند تسخين الكحول مع حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز أو حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركز؛ يجري نزع جزيء H_2O من ذرتي كربون متجاورتين، حيث تنكسر الرابطة C–OH؛ مما يؤدي إلى نزع مجموعة OH عن ذرة الكربون المرتبطة بها، ونزع ذرة الهيدروجين H عن ذرة الكربون المجاورة، فتتكون رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون المتجاورتين وينتج الألكين، ومثال ذلك نزع جزيء الماء من الإيثانول CH_3CH_2OH؛ فينتج الإيثين $CH_2=CH_2$، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



أما عند تسخين 2– بيوتانول $CH_3\underset{\underset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3$ مع حمض الفسفوريك المركز H_3PO_4 ؛ فيجري نزع مجموعة الهيدروكسيل OH عن ذرة الكربون المرتبطة بها، ونزع ذرة الهيدروجين H عن ذرة الكربون رقم (3) التي ترتبط بعدد أكبر من مجموعات الألكيل، كما يوضح الشكل (12) ويتكون 2– بيوتين $CH_3CH=CHCH_2$، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2CHOHCH_3 \xrightarrow[\Delta]{\text{مركز } H_3PO_4} CH_3CH=CHCH_3 + H_2O$$

✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلة تفاعل تسخين المركب 2– هكسانول $CH_3CH_2CH_2CH_2\underset{\underset{OH}{|}}{C}HCH_3$ مع حمض H_2SO_4 المركز.



الشكلُ (12): نزع الماء من المركب 2– بيوتانول.

مراجعة الدرس

1- **الفكرة الرئيسة:** أقارن بين تفاعلي الإضافة والحذف.

2- أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:

- $CH_3COCH_3 + C_2H_5MgBr \longrightarrow \ldots\ldots \xrightarrow{HBr}$
- $CH_3CHO + H_2 \xrightarrow{Ni}$
- $CH_3CH_2CH=CH_2 + HCl \longrightarrow$
- $CH_3CH_2CH_2C\equiv CH + 2HCl \longrightarrow$
- $CH_3CH_2CHOHCH_2CH_3 \xrightarrow{\text{مركز } \Delta/H_2SO_4}$

3- أكتب معادلة كيميائية تبين كُلًا مما يأتي:

- إضافة الماء بوسط حمضي إلى المركب 1– بنتين $CH_2=CHCH_2CH_2CH_3$
- إضافة جزيئين من غاز الهيدروجين الى المركب 2– هكساين $CH_3C\equiv CCH_2CH_2CH_3$؛ بوجود عامل مساعد Ni.
- أضافة بروبيل كلوريد المغنيسيوم $CH_3CH_2CH_2MgCl$ الى بروبانون CH_3COCH_3، متبوعًا بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl.
- تسخين 1– بيوتانول $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$، مع حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركّز.
- تسخين 2– كلورو –2– ميثيل بنتان $CH_3\overset{\overset{Cl}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}CH_2CH_2CH_3$، مع محلول KOH المركّز الكحولي.

4- **أطبّق**: مركب عضوي X صيغته C_2H_6O، عند تسخينه مع محلول مركز من حمض H_2SO_4؛ نتج المركب العضوي Y الذي يزيل لون ماء البروم، وعند تفاعل Y مع كلوريد الهيدروجين HCl؛ نتج المركب العضوي Z. **أستنتج** صيغة المركبات العضوي المحتملة X,Y,Z.

5- **أستنتج** صيغة المركب المستخدم في التفاعل الآتي:

$$\boxed{G} + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2CHOHCH_3$$

6- أدرس الجدول الذي يضم المركبات العضوية الآتية، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:

CH_3CH_2Br	$CH_2=CH_2$	CH_3CH_3
$CH\equiv CH$	CH_3CHO	CH_3CH_2OH

أ. أكتب صيغة المركب الناتج من تفاعل الإيثين $CH_2=CH_2$ مع بروميد الهيدروجين HBr.

ب. أكتب صيغة المركب الناتج من تسخين الإيثانول CH_3CH_2OH ، مع حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركّز.

جـ. أكتب معادلة تفاعل الإيثاين $CH\equiv CH$، مع جزيئين من الهيدروجين بوجود النيكل Ni.

د. ما صيغة المركب الناتج من تفاعل الإيثانال CH_3CHO، مع الهيدروجين بوجود النيكل Ni.

هـ. أكتب صيغة المركب الناتج من تفاعل الميثانال HCHO، مع ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl متبوعًا بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl.

تفاعلات الاستبدال والتأكسد والاختزال
Substitution and Oxidation Reduction Reactions

الفكرةُ الرئيسة:

تتفاعل بعض المركبات العضوية بطريقة الاستبدال، حيث يجري خلالها استبدال ذرة أو مجموعة ذرات بذرة أو مجموعة ذرات أخرى، وتتأكسد بعض المركبات العضوية أو تختزل، وينتج عن ذلك مركبات جديدة مختلفة في خصائصها.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أميّز بين تفاعلات المركبات العضوية الآتية: الاستبدال، والتأكسد والاختزال.
- أكتب معادلات كيميائية تعبر عن تفاعلات الاستبدال، والتأكسد والاختزال؛ لبعض المركبات العضوية.
- أجري تجارب بسيطة للتمييز بين بعض المجموعات الوظيفية المختلفة مثل الألديهايدات والكيتونات، الكحولات والحموض الكربوكسيلية.

المفاهيمُ والمصطلحات:

تفاعل الاستبدال
Substitution Reaction

جذر حرّ Free Radical

الاستبدال النيوكليوفيلي
Nucleophilic Substitution

الأسترة Esterification

التصبّن Saponification

تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions

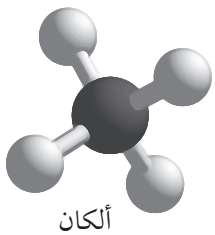
يعدّ تفاعل الاستبدال أحد تفاعلات المركبات العضوية المهمة التي تستخدم في تحضير كثير منها، ويعرّف **تفاعل الاستبدال Substitution Reaction**؛ بأنه تفاعل تحلّ فيه ذرة أو مجموعة ذرات محل ذرة أو مجموعة ذرات أخرى في المركّب العضوي. ومن المركبات العضوية التي تتفاعل بالاستبدال؛ الألكانات، وهاليدات الألكيل، والكحولات، والحموض الكربوكسيلية. أنظر الشكل (13) الذي يُمثّل نماذج لأمثلة من المركبات العضوية التي تتفاعل بالاستبدال.

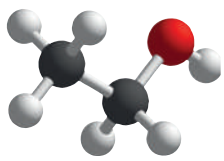
تفاعلات الاستبدال في الألكانات (هلجنة الألكانات)
Substitution Reactions of the Alkanes

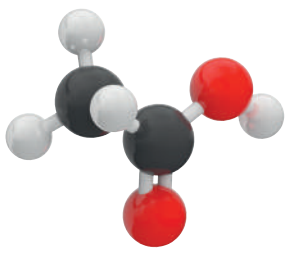
يُعرَف تفاعل هلجنة الألكانات بأنه؛ تفاعل استبدال تحلّ فيه ذرة هالوجين أو أكثر محل ذرة هيدروجين أو أكثر في الألكان مكوّنًا هاليد الألكيل، ويحدث التفاعل؛ بوجود الضوء، أو بالتسخين الذي يعمل على كسر الرابطة بين ذرتي الهالوجين مكوّنًا ما يسمى **جذرًا حرًا Free Radical**؛ ويُعَرَّف بأنه ذرة أو مجموعة ذرات تمتلك إلكترونًا منفردًا؛ مما يجعله شديد النشاط؛ فيتفاعل مع الألكان لتكوين هاليد الألكيل حسب المعادلة:

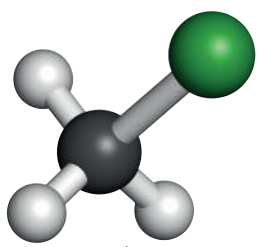
$$R{-}H + X_2 \xrightarrow{\text{ضوء أو تسخين}} R{-}X + H{-}X$$

وتترتب الهالوجينات حسب شدة تفاعلها مع الألكان كما يأتي: $F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$ ، ويكون تفاعل الفلور نشطًا جدًا، ويحتاج إلى ظروف خاصة لضبطه، أمّا اليود فلا يتفاعل في نفس الظروف؛ لذلك سيُكتفى بدراسة التفاعل مع الكلور والبروم.


ألكان


كحول


حمض كربوكسيلي


هاليد ألكيل

الشكلُ (13): أمثلة لمركبات عضوية تتفاعل بالاستبدال.

فمثلًا؛ يتفاعل الميثان CH_4 مع الكلور Cl_2؛ بوجود الضوء منتجا كلورو ميثان CH_3Cl حسب المعادلة:

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

ألاحظ أن ذرة كلور واحدة حلت محل ذرة هيدروجين في استبدال أحادي؛ ويمكن للتفاعل أن يستمر، بحيث تحلّ أكثر من ذرة كلور محل ذرات الهيدروجين، وسيُكتفى فقط بدراسة الاستبدال الأحادي في الميثان والإيثان CH_3CH_3.

✓ **أتحقَّق:** أكمل المعادلة الآتية: $CH_3CH_3 + Br_2 \xrightarrow{\text{ضوء}}$

تفاعلات الاستبدال في هاليدات الألكيل
Substitution Reactions of Alkyl Halides

يحدث تفاعل الاستبدال في هاليدات الألكيل؛ عندما تحلّ ذرة أو مجموعة ذرات محل ذرة الهالوجين فيها.

تتفاعل هاليدات الألكيل الأولية بشكل رئيس بالاستبدال؛ وذلك عند تفاعلها مع قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH، أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH المذابة في مزيج من الماء والإيثانول بنسبة 1:1 مكوّنةً كحول ROH، كما تتفاعل مع أيون ألكوكسيد RO^- وتنتج الإيثر ROR′، والمعادلة الآتية تمثل المعادلة العامة للتفاعل:

$$R{-}X + Nu{:}^- \longrightarrow R{-}Nu + X^-$$

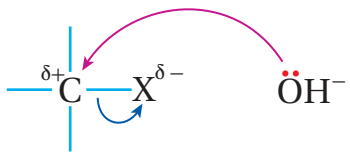
حيث: Nu تشير إلى نيوكليوفيل يمتلك زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة، ويمكن أن يكوّن أيونًا سالبًا، مثل OH^-، RO^-.

يحدث تفاعل الاستبدال في هاليدات الألكيل الأولية عند تفاعل نيوكليوفيل، مثل أيون الهيدروكسيد (OH^-)، مع ذرة الكربون المرتبطة بذرة الهالوجين التي تحمل شحنة جزئية موجبة، حيث يرتبط الأيون السالب OH^- مع ذرة الكربون باستخدام زوج الإلكترونات غير الرابط الذي يمتلكه ويخرج الهالوجين مع زوج إلكترونات الرابطة C–X على شكل X^-، ويسمى هذا التفاعل **الاستبدال النيوكليوفيلي Nucleophilic Substitution**. أنظر الشكل (14).

توضح المعادلة الآتية تفاعل بروميد إيثان مع محلول NaOH، ويمكن التعبير عن المحلول NaOH بأيون OH^- كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Br + OH^- \longrightarrow CH_3CH_2OH + Br^-$$

ويتفاعل 1– كلوروبيوتان $CH_3CH_2CH_2CH_2Cl$ مع محلول KOH، كما في



الشكلُ (14): استبدال OH^- محل X^-.

المعادلـة الآتية:

$$CH_3CH_2CH_2CH_2Cl + KOH \longrightarrow CH_3CH_2CH_2CH_2OH + KCl$$

كما يتفاعل هاليد الألكيل الأولي مع أيون ألكوكسيد RO^- حسب المعادلة العامة الآتية:

$$\acute{R}X + RO^- \longrightarrow ROR\grave{} + X^-$$

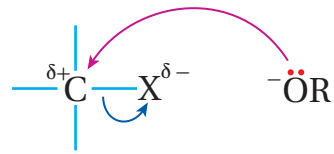
حيث يحـل الأيون RO^- محل X^-؛ كما يوضـح الشكل (15). والمعادلـة الآتيـة توضح تفاعل أيون الميثوكسيد CH_3O^- مع كلوروإيثان CH_3CH_2Cl؛ لتكوين إيثيل ميثيل إيثر حسب المعادلة:

$$CH_3CH_2Cl + CH_3O^- \longrightarrow CH_3CH_2OCH_3 + Cl^-$$

يجري الحصول على أيون CH_3O^-؛ من تفاعل كحول الميثانول CH_3OH مع فلزّ نشط، مثل الصوديوم؛ إذ ينتج المركب الأيوني ميثوكسيد الصوديوم $CH_3O^-Na^+$ الذي يتفكك في الماء منتجًا أيون CH_3O^- اللازم للتفاعل، وسنتطرق إلى دراسة تفاعل الكحولات مع الفلزات النشطة لاحقًا.

أتحقَّق: أكمل المعادلات الآتية:

- $CH_3CH_2CH_2Cl + OH^- \longrightarrow$
- $CH_3CH_2CH_2Br + CH_3CH_2O^- \longrightarrow$



الشكلُ (15): يحل الأيون RO^- محل X^-.

تفاعلات الاستبدال في الكحولات Substitution Reactions of Alcohols

تعدّ الكحولات من المركبات المهمة التي تستخدم لتحضير العديد من المركبات العضوية، وتتفاعل بطرائق مختلفة منها الاستبدال.

يحدث تفاعل الاستبدال في الكحولات R–OH؛ عندما تحل ذرة أو مجموعة ذرات محل مجموعة الهيدروكسيل OH فيها. وتُصنّف الكحولات المحتوية على مجموعة هيدروكسيل واحدة إلى أولية 1°، وثانوية 2°، وثالِثيّة 3°، وذلك حسب عدد مجموعات الألكيل المرتبطة بذرة الكربون المتصلة بمجموعة الهيدروكسيل، كما يوضح الجدول (3): ولهذا التصنيف أهمية عند دراسة تفاعلات الكحولات.

الجدول (3): أنواع الكحولات والصيغة العامة لكل نوع منها، وأمثلة عليها.

نوع الكحول	كحول أولي 1°	كحول ثانوي 2°	كحول ثالثي 3°
الصيغة العامة	$R-\underset{H}{\overset{H}{C}}-OH$	$R'-\underset{H}{\overset{R}{C}}-OH$	$R''-\underset{OH}{\overset{R'}{C}}-R$
مثال	CH_3CH_2OH	$CH_3-\underset{OH}{CH}-CH_3$	$CH_3-\underset{OH}{\overset{CH_3}{C}}-CH_3$

يتفاعل الكحول سواء كان أوليًا، أو ثانويًا، أو ثالثيًا، مع حمض HX المُركّز، وعند درجة حرارة الغرفة بالاستبدال، حيث تحل ذرة الهالوجين X من الحمض محل مجموعة الهيدروكسيل OH في الكحول حسب المعادلة العامة الآتية:

$$R{-}OH + HX\,(\text{مركز}) \longrightarrow R{-}X + HOH$$

حيث HX هي: HI، HBr، HCl.

ويعدّ التفاعل من الطرائق الشائعة لتحضير هاليدات الألكيل، كما توضح المعادلات الآتية:

1- $CH_3CH_2OH + HCl\,(\text{مركز}) \longrightarrow CH_3CH_2Cl + H_2O$

2- $CH_3\underset{\underset{OH}{|}}{C}HCH_3 + HBr\,(\text{مركز}) \longrightarrow CH_3\underset{\underset{Br}{|}}{C}HCH_3 + H_2O$

3- $CH_3{-}\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}{-}OH + HI\,(\text{مركز}) \longrightarrow CH_3{-}\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}{-}I + H_2O$

تفاعل الكحولات مع الفلزّات النشطة

Reaction of Alcohol with active Metals

تتفاعل الكحولات ROH مع الفلزّات النشطة، مثل الصوديوم؛ إذ يحل الصوديوم محل ذرة الهيدروجين في مجموعة الهيدروكسيل OH، مكوّنًا ألكوكسيد الصوديوم RO^-Na^+، ويتصاعد غاز الهيدروجين حسب المعادلة:

$$R{-}OH + Na \longrightarrow R{-}O^-Na^+ + \tfrac{1}{2}H_2$$

فمثلًا؛ يتفاعل الإيثانول مع الصوديوم مكونا إيثوكسيد الصوديوم حسب المعادلة:

$$CH_3CH_2OH + Na \longrightarrow CH_3CH_2O^-Na^+ + \tfrac{1}{2}H_2$$

أهمية هذا التفاعل أنه يستخدم لتحضير أيون ألكوكسيد RO^- الذي يتفاعل مع هاليد الألكيل الأولي لتكوين الإيثر كما ورد سابقًا، وكذلك يستخدم للكشف عن الكحولات مخبريًّا، إذ يجري تمييز الكحول عن غالبية المركبات العضوية الأخرى بمفاعلتها جميعًا مع فلزّ الصوديوم، وسيلاحظ تصاعد غاز الهيدروجين في أثناء التفاعل مع الكحولات فقط، ويتكون ألكوكسيد الصوديوم $R{-}O^-Na^+$، وتشترك الحموض الكربوكسيلية مع الكحولات في هذا التفاعل، وإن كان تفاعلها أكثر نشاطًا من تفاعل الكحولات عند الظروف نفسها.

أُفكّر: أكتب الصيغة البنائية للمركب A

$$A + HI\,(\text{مركز}) \longrightarrow CH_3\underset{\underset{I}{|}}{C}HCH_2CH_3 + H_2O$$

أتحقّق: أكمل المعادلات الآتية:

- $CH_3CH_2CH_2CH_2OH + HBr\,(\text{مُركّز}) \longrightarrow$
- $CH_3CH_2{-}\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}{-}CH_2CH_3 + HCl\,(\text{مُركّز}) \longrightarrow$
- $CH_3CH_2\underset{\underset{OH}{|}}{C}HCH_3 + Na \longrightarrow$

تفاعل الاستبدال في الحموض الكربوكسيلية

Substitution Reaction of Carboxylic Acid

تتفاعل الحموض الكربوكسيلية مع الكحولات بوجود عامل مساعد، مثل حمض الكبريتيك المركّز H_2SO_4؛ لتكوين الإسترات، ويمكن زيادة سرعة التفاعل بالتسخين، ويسمى هذا التفاعل **الأسترة Esterification.**

تمثّل المعادلة العامة الآتية تفاعل تكوين الإستر:

$$RC(=O)-OH + HO-R` \underset{}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} RC(=O)-O-R` + HOH$$

ألاحظ من المعادلة أن `OR من الكحول حلت محل OH من مجموعة الكربوكسيل في الحمض الكربوكسيلي لتكوين الإستر `RCOOR، لذلك؛ يعد تفاعل الأسترة من تفاعلات الاستبدال في الحموض الكربوكسيلية، وهو تفاعل منعكس يمكن إزاحته باتجاه تكوين الإستر بإزالة الماء من وسط التفاعل.

فمثلًا؛ يتفاعل حمض الميثانويك مع 1− بروبانول لتكوين الماء وميثانوات البروبيل حسب المعادلة:

$$HC(=O)-OH + CH_3CH_2CH_2OH \underset{}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} HC(=O)-OCH_2CH_2CH_3 + H_2O$$

ويتفكك الإستر بالماء في وسط حمضي مكونًا الحمض الكربوكسيلي والكحول من جديد فمثلا يمكن لإستر ميثانوات البروبيل في التفاعل العكسي في المعادلة السابقة أن يتفكك عند إضافة الماء بوجود حمض HCl المخفف كعامل مساعد؛ إذ يزاح الاتزان نحو تكوين حمض الميثانويك وكحول 1− بروبانول.

وتمثل المعادلة الآتية تفكك إستر بروبانوات الميثيل $CH_3CH_2COOCH_3$، بوجود حمض الهيدركلوريك المخفف؛ لإنتاج حمض البروبانويك والميثانول.

$$CH_3CH_2C(=O)-OCH_3 + H_2O \underset{\text{مخفف}}{\overset{HCl}{\rightleftharpoons}} CH_3CH_2COOH + CH_3OH$$

ويتفكك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية أيضا، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ وينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي في تفاعل يسمى **التصبّن Saponification**، حيث يشبه التفاعل المستخدم في صناعة الصابون.

وتُمثّل المعادلة الآتية تفكك إستر إيثانوات البروبيل عند تسخينه في الوسط القاعدي مكونا إيثانوات الصوديوم و 1− بروبانول:

$$CH_3C(=O)-OCH_2CH_2CH_3 + NaOH \xrightarrow{\text{تسخين}} CH_3C(=O)-ONa + CH_3CH_2CH_2OH$$

الربط بالصناعة

استخلص الإنسان منذ القدم مسكنًا للألم من لُحاء شجر الصفصاف، إلى أن صُنع الأسبرين فأصبح يستخدم في أنحاء العالم كافة بوصفه مسكنًا للألم بوجه عام، حيث يحضر من خلال تفاعل الأسترة.

وللحموض الكربوكسيلية تفاعلات استبدال أخرى منها:

تفاعل الحموض الكربوكسيلية مع الفلزّات النشطة مثل فلزّ الصوديوم؛ إذ ينتج عن التفاعل ملح الحمض الكربوكسيلي، ويتصاعد غاز الهيدروجين؛ كما توضّح المعادلة الآتية:

$$CH_3COOH + Na \longrightarrow CH_3COO^-Na^+ + \frac{1}{2}H_2$$

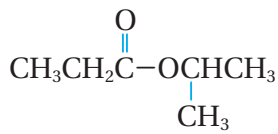
تتفاعل الحموض الكربوكسيلية مع بعض الأملاح القاعدية، مثل كربونات الصوديوم Na_2CO_3 أو كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$، ويتصاعد غاز CO_2، ويستخدم هذا التفاعل للكشف عن الحموض الكربوكسيلية؛ إذ يميزها عن غيرها من المركبات العضوية، والمعادلة الآتية مثال على ذلك:

$$2CH_3CH_2COOH + Na_2CO_3 \longrightarrow 2CH_3CH_2COO^-Na^+ + CO_2 + H_2O$$

أُفكّر: أصف كيف أميز مخبريًّا بين كحول الإيثانول CH_3CH_2OH، وحمض الإيثانويك CH_3COOH، وأكتب معادلة كيميائية للتفاعل الحاصل.

✓ أتحقَّق:

1- أُحدّد الكحول والحمض الكربوكسيلي اللذَين تكون منهما الإستر الآتي:



2- أكمل المعادلات الآتية:

- $CH_3CH_2CH_2COOH + CH_3OH \overset{H^+}{\rightleftharpoons}$
- $CH_3COOCH_2CH_2CH_2CH_3 + NaOH \xrightarrow{\Delta}$
- $HCOOH + NaHCO_3 \longrightarrow$

تفاعلات التأكسد والاختزال في المركبات العضوية
Oxidation Reduction Reactions for Organic Compounds

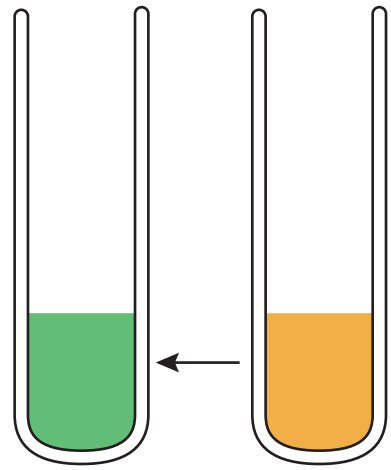
يصاحب تفاعل تأكسد المركبات العضوية زيادة في عدد ذرات الأكسجين، أو نقص في عدد ذرات الهيدروجين، أما تفاعل الاختزال؛ فيصاحبه نقص في عدد ذرات الأكسجين أو زيادة في عدد ذرات الهيدروجين. وستجري دراسة تفاعلات التأكسد أو الاختزال لكل من المركبات العضوية الآتية: الكحولات، والألديهايدات، والكيتونات، والحموض الكربوكسيلية.

تأكسد الكحولات Oxidation of Alkohols

تعتمد نواتج تأكسد الكحولات على نوع الكحول الذي يتأكسد، حيث يتأكسد الكحول الأوليّ بوجود عامل مؤكسد مكوّنًا ألديهايدًا، وقد يستمر تأكسده إلى حمض كربوكسيلي، ويعتمد ذلك على العامل المؤكسد المستخدم وظروف التفاعل. فمثلًا؛ يتأكسد 1– بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ عاملًا مؤكسدًا قويًا في وسط حمضي إلى البروبانال CH_3CH_2CHO الذي يتأكسد مباشرة إلى حمض البروبانويك CH_3CH_2COOH؛ وفق المعادلة الآتية التي تبين الناتج النهائي لتأكسد 1– بروبانول:

$$CH_3CH_2CH_2OH \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$$

ألاحظ أن تأكسد الكحول الأولي 1– بروبانول وتحوله إلى حمض البروبانويك؛ يصاحبه نقص في عدد ذرات الهيدروجين وزيادة في عدد ذرات الأكسجين O. ويرافق التفاعل تغير لون محلول دايكرومات البوتاسيوم البرتقالي إلى أخضر وهو لون أيونات Cr^{3+}، أنظر الشكل (16).



الشكلُ (16): يرافق تفاعل تأكسد الكحول تغير لون محلول $K_2Cr_2O_7$ البرتقالي إلى الأخضر.

ويستخدم العامل المؤكسد كلورو كرومات البيريدينيوم المذاب في ثنائي كلورومِيثان PCC/CH_2Cl_2 وهو عامل مؤكسد ضعيف؛ للحصول على الألديهايد، فمثلًا؛ يتأكسد 1– بروبانول إلى البروبانال حسب المعادلة الآتية (ولا يتأكسد البروبانال):

$$CH_3CH_2CH_2OH \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$$

ألاحظ أن تأكسد 1– بروبانول وتحوله إلى البروبانال صاحبه نقص في عدد ذرات الهيدروجين H؛ إذ حُذفت ذرة هيدروجين مجموعة الهيدروكسيل OH وذرة هيدروجين من ذرة الكربون المرتبطة بها، وتكونت رابطة ثنائية بين ذرتي الأكسجين والكربون.

ويتفاعل 3– ميثيل –1– بيوتانول مع العامل المؤكسد دايكرومات الصوديوم $Na_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي مكوّنًا حمض 3– ميثيل بيوتانويك حسب المعادلة:

$$CH_3CH(CH_3)CH_2CH_2OH \xrightarrow{Na_2Cr_2O_7/H^+} CH_3CH(CH_3)CH_2C(=O)OH$$

ولكن عند استخدام العامل المؤكسد PCC/CH_2Cl_2؛ فإن 3– ميثيل –1– بيوتانول يتأكسد مكوّنًا 3– ميثيل بيوتانال حسب المعادلة:

$$CH_3CH(CH_3)CH_2CH_2OH \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} CH_3CH(CH_3)CH_2C(=O)H$$

ويتأكسد الكحول الثانوي سواء باستخدام العامل المؤكسد دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7/H^+$، أو كلوروكرومات البيريدينيوم PCC/CH_2Cl_2، وينتج عن أكسدته الكيتون، حيث يجري نزع ذرة هيدروجين مجموعة الهيدروكسيل OH، وذره هيدروجين من ذرة الكربون المرتبطة بها، وترتبط ذرتا الكربون والأكسجين برابطة ثنائية مكوّنةً مجموعة الكربونيل المميزة للكيتونات؛ كما هو موضح في الأمثلة الآتية:

$$CH_3CH_2CH(OH)CH_3 \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3CH_2C(=O)CH_3$$

2– بيوتانول — بيوتانون

$$CH_3CH_2CH(OH)CH_2CH_3 \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} CH_3CH_2-C(=O)-CH_2CH_3$$

3– بنتانول — 3–بنتانون

أما في الكحولات الثالثية؛ فإن ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل OH، لا ترتبط بأي ذرة هيدروجين H، فلا يمكن نزع ذرتيّ H من المركب، لذلك؛ فإن الكحولات الثالثية لا تتأكسد عند الظروف نفسها.

$$CH_3-C(OH)(CH_3)-CH_3$$

فمثلًا؛ في الكحول الثالثي 2– ميثيل –2– بروبانول؛ ألاحظ أن ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل لا ترتبط بأي ذرة هيدروجين، وبذلك لا يتأكسد.

ويمكن تلخيص أكسدة الكحولات بالمخطط الآتي:

$$R-CH(OH)-H \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} R-C(=O)-H \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} R-C(=O)-OH$$

$K_2Cr_2O_7/H^+$ — تأكسد/ نقص في عدد ذرات الهيدروجين وزيادة في عدد ذرات الأوكسجين

كحول أولي 1° — الديهايد — حمض كربوكسيلي

تأكسد/ نقص في عدد ذرات الهيدروجين — تأكسد/ زيادة في عدد ذرات الأوكسجين

$$R-CH(OH)-R \xrightarrow[PCC/CH_2Cl_2 \text{ أو}]{K_2Cr_2O_7/H^+} R-C(=O)-R$$

كحول ثانوي 2° — كيتون

تأكسد/ نقص في عدد ذرات الهيدروجين

أُصَمِّمُ، باستخدام برنامج سكراتش Scratch عرضًا أقارن فيه بين تأكسد الكحولات الأولية والثانوية والثالثية، مستخدمًا أمثلة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي.

أُفكِّر: مركب عضوي A صيغته الجزيئية $C_4H_{10}O$؛ على شكل سلسلة مستمرة، عند أكسدته باستخدام $K_2Cr_2O_7/H^+$، نتج المركب B؛ صيغته الجزيئية $C_4H_8O_2$، حيث يتفاعل مع كربونات الصوديوم Na_2CO_3، وينتج عن تفاعله غاز CO_2. أكتب الصيغ البنائية للمركبين A وB.

✓ أتحقَّق:

أ. أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:

1– $CH_3CH_2CH_2CH_2OH \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2}$

2– $CH_3\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCH_3 \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+}$

3– $CH_3(CH_2)_4CH_2OH \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+}$

ب. أفسّر: لا تتأكسد الكحولات الثالثية باستخدام محلول دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي.

تأكسد الألديهايدات Oxidation of Aldehydes

تتأكسد الألديهايدات باستخدام عامل مؤكسد مناسب مكوّنةً حموضًا كربوكسيلية، فمثلًا؛ عند استخدام عامل مؤكسد قوي، مثل دايكرومات البوتاسيوم في وسط حمضي $K_2Cr_2O_7/H^+$؛ فإن الإيثانال CH_3CHO يتأكسد منتجًا حمض الإيثانويك CH_3COOH؛ حسب المعادلة الآتية:

$$CH_3CHO \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3COOH$$

ويمكن كتابتها بصورة أخرى:

$$CH_3\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-H \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-OH$$

ألاحظ من المعادلة الكيميائية السابقة أن تأكسد الألديهايد إلى حمض كربوكسيلي يرافقهُ زيادة في عدد ذرات الأكسجين.

أما الكيتونات؛ فإنها لا تتأكسد عند الظروف نفسها، وبناء على ذلك يستخدم تفاعل أكسدة الألديهايد للتمييز بين الألديهايدات والكيتونات.

ومن أمثلة ذلك؛ يستخدَم محلول تولينز، وهو عامل مؤكسد ضعيف في وسط قاعدي $[Ag(NH_3)_2]^+/OH^-$، في التمييز بين الألديهايد والكيتون، حيث يتأكسد الألديهايد وتُختزَل أيونات الفضة Ag^+ من محلول تولينز، وتترسب على السطح الداخلي لوعاء التفاعل مكوّنةً مرآة فضيّة كما يوضح

الشكلُ (17): ترسب مرآة فضية على السطح الداخلي لأنابيب الاختبار.

الشـكل (17)، أما الكيتـون فإنه لا يتأكسـد.

وتمثـل المعادلـة الآتيـة تأكسـد الإيثانـال باسـتخدام محلـول تولينـز فـي وسـط قاعـدي:

$$CH_3CHO \xrightarrow[OH^-]{[Ag(NH_3)_2]^+} CH_3COO^- + Ag\downarrow$$

إيثانال — مرآة فضية

أما الكيتونات فلا تتأكسد باستخدام محلول تولينز.

$$R-CO-R'' \xrightarrow[OH^-]{[Ag(NH_3)_2]^+} \times$$

ويستخدام محلول فهلنج؛ وهو عامل مؤكسد ضعيف -أيضا- للتمييز بين الألديهايد والكيتون، يتكون محلول فهلنج من محلول قاعدي يحتوي أيونات النحاس Cu^{2+}.

يسخُن الألديهايد مع محلول فهلنج؛ فيتأكسد في الوسط القاعدي إلى أيون الحمض الكربوكسيلي $RCOO^-$، وتختزل أيونات النحاس Cu^{2+}، إلى Cu^+، وتترسب على شكل راسب بُنيّ محمرّ من أكسيد النحاس (I) Cu_2O، مثلًا؛ يتأكسد الإيثانال حسب المعادلة:

$$CH_3CHO \xrightarrow[5OH^-]{2Cu^{2+}} CH_3COO^- + Cu_2O\downarrow + 3H_2O$$

راسب بُنيّ محمرّ

أما الكيتونات فلا تتأكسد باستخدام محلول فهلنج.

✓ أتحقَّق:

1-أكتب معادلة تأكسد البيوتانال $CH_3CH_2CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$، باستخدام محلول دايكرومات البوتاسيوم الحمضي $K_2Cr_2O_7/H^+$.

2-أصف كيف أميز مخبريًا بين البروبانال CH_3CH_2CHO والبروبانون CH_3COCH_3 وأكتب معادلات كيميائية توضح ذلك.

التجربة 1

التمييز بين الألديهيدات والكيتونات

الهدف: أميّز عمليًا بين الألديهايد والكيتون

الموادُّ والأدواتُ:

أنابيب اختبار عدد 2، مخبار مدرج سعة 10 mL، الإيثانال CH_3CHO، الأسيتون (البروبانون) CH_3COCH_3، محلول تولينز حديث التحضير، حامل أنابيب اختبار، ماسك أنابيب اختبار، حمام مائي ساخن 50° C، قطارة.

إرشاداتُ السلامةِ:

- أتبعُ إرشاداتِ السلامةِ العامةِ في المختبرِ.
- أرتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- أتعامل مع المواد الكيميائية بحذر.
- أبعد المركّبات العضوية جميعها عن أي مصدر للّهب؛ فهي قابلة للإشتعال.

خطوات العمل:

1- **أجرّب:** أحضر أنبوبي اختبار نظيفين، وأضعهما على حامل الأنابيب وأرقّمهما (1، 2).

2- **أقيس:** استخدم المخبار المدرج، وأضع 5 mL من محلول تولينز في كل أنبوب اختبار.

3- **أجرّب:** أضيف باستخدام القطارة 5– 10 نقاط من الإيثانال إلى الأنبوب رقم (1)، وأرجّه بلطف.

4- **أجرّب:** أكرر الخطوة رقم (3) للبروبانون (الأسيتون)، وأضيفه إلى الأنبوب رقم (2).

5- **ألاحظ:** أسخّن كلا المحلولين في الحمام المائي الساخن بدرجة 50 °C، مدة 5 min، وأسجّل ملاحظاتي في جدول البيانات.

6- **أُنظّم البيانات:** أسجل ملاحظاتي في جدول البيانات الآتي:

اسم المركب	التفاعل مع محلول تولينز (يتفاعل أو لا يتفاعل)	دليل حدوث تفاعل
الإيثانال CH_3CHO		
البروبانون CH_3COCH_3		

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- **أفسّر:** هل يُمثّل محلول تولينز عاملًا مؤكسدًا أم عاملًا مختزلًا؟

2- أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي حدث.

اختزال الألكينات والألكاينات Reduction of Alkenes and Alkynes

يعدّ تفاعل إضافة الهيدروجين إلى الرابطة الثنائية في الألكينات والرابطة الثلاثية في الألكاينات -بوجود البلاتين Pt أو النيكل Ni -عاملًا مساعدًا- اختزالًا؛ إذ يصاحبه زيادة في عدد ذرات الهيدرجين في كل منهما، كما توضح المعادلات الآتية:

$$CH_2{=}CH_2 + H_2 \xrightarrow{Pt} CH_3{-}CH_3$$

$$CH_3{-}C{\equiv}CH + 2H_2 \xrightarrow{Pt} CH_3CH_2CH_3$$

✓ **أتحقَّق:** أكمل المعادلة الآتية:

$$CH_3CH{=}CHCH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni}$$

اختزال الألديهايدات والكيتونات
Reduction of Aldehydes and Ketones

تعلّمتُ أن تأكسد الكحول الأوليّ ينتج ألديهايد، وأن تأكسد الكحول الثانوي يكوّن كيتون. ويمكن اختزال كل من الألديهايد والكيتون لتكوين كحول أولي وكحول ثانوي على الترتيب بطريقتين هما:

إضافة الهيدروجين في وجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt؛ إذ يعمل العامل المساعد على إضعاف الرابطة بين ذرتي الهيدروجين؛ فيسهل إضافتهما إلى الرابطة الثنائية في مجموعة الكربونيل، كما توضح المعادلة الآتية:

$$CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}H + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3{-}\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}}{-}H$$

ألاحظ أن إضافة الهيدروجين إلى الإيثانال CH_3CHO صاحبتهُ زيادة في عدد ذرات الهيدروجين، أي اختزال الإيثانال؛ إذ كسرت الرابطة π بين ذرتي الكربون والأكسجين في مجموعة الكربونيل، وأضيفت ذرتا هيدروجين H إلى كلّ من ذرة الكربون وذرة الأكسجين، ونتج كحول الإيثانول CH_3CH_2OH، وهو كحول أوليّ.

وتختزل الألديهايدات والكيتونات -أيضًا- باستخدام عوامل مختزلة، مثل هيدريد الليثيوم والألمنيوم $LiAlH_4$، المذاب في الإيثر الجاف (Et)، أو بوروهيدريد الصوديوم $NaBH_4$، المذاب في الإيثانول. ويعدّ العاملان

المختزلان كلاهما مصدرًا لأيونات الهيدريد H^-؛ إذ يرتبط أيون H^- بذرة كربون مجموعة الكربونيل التي تحمل شحنةً جزئيّةً موجبةً، ثم يضاف إلى التفاعل محلول مخفف من حمض مثل H_2SO_4؛ فينتج الكحول، والمعادلات الآتية توضح ناتج التفاعل:

$$CH_3CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3 \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ NaBH_4/\text{إيثانول}} CH_3CH_2-\overset{OH}{\overset{|}{C}}H-CH_3$$

بيوتانون — 2– بيوتانول

$$CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}HCH \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ LiAlH_4/Et} CH_3CH_2CHCH_2OH$$
$$\qquad\qquad\quad | \qquad\qquad\qquad\quad |$$
$$\qquad\quad CH_3 \qquad\qquad\quad CH_3$$

2– ميثيل بيوتانال — 2– ميثيل 1– بيوتانول

ألاحظ أن اختزال البيوتانون أدى إلى تكوّن 2– بيوتانول؛ وهو كحول ثانوي، وكذلك اختُزِل 2– ميثيل بيوتانال إلى 2– ميثيل 1– بيوتانول؛ وهو كحول أولي، وصاحب ذلك زيادة في محتوى المركب من الهيدروجين في المركبين الناتجين.

عمليا يتم التعامل بحذر شديد جدًا مع العامل المختزل $LiAlH_4$؛ إذ أنه شديد التفاعل مع الماء لذلك يذاب في الإيثر الجاف، ولا يضاف H_3O^+ إلى التفاعل إلا بعد انتهاء تفاعله مع الألديهايد أو الكيتون، أو الحمض الكربوكسيلي كما سيرد لاحقًا.

✓ **أتحقَّق:** أكمل المعادلات الآتية:

1– $$H-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ NaBH_4/\text{إيثانول}}$$

2– $$CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_2CH_3 \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ LiAlH_4/Et}$$

اختزال الحموض الكربوكسيلية Reduction of Carboxylic Acids

تحتوي مجموعة الكربوكسيل $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$ المميزة للحموض الكربوكسيلية على مجموعة كربونيل $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$ قابلة للاختزال كما في الألدهيدات والكيتونات؛ لذلك يُختزل الحمض الكربوكسيلي باستخدام عامل مختزل قوي؛ هو هيدريد

الربط بالحياة

يكوّن الإيثانال مبلمرات بسيطة منها؛ مبلمر مكون من ثلاثة مونومرات $(CH_3CHO)_3$، ويستخدم دواءً مُنوّمًا. أيضًا مبلمر مكون من أربعة مونومرات $(CH_3CHO)_4$، حيث يستخدم وقودًا صُلبًا لمواقد التخييم.

أُفكِّر: أفسّر: تُختَزل الكيتونات إلى كحولات ثانوية وليست أولية.

الليثيوم والألمنيوم $LiAlH_4$، المذاب في الإيثر الجاف – ولا يختزل باستخدام العامل $NaBH_4$ لأنه أقل قوة – ويَنتج ألديهايد يُختزَل فَوْرَ تكونه إلى كحول أولي، وتكتب المعادلة العامة كالآتي:

$$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ LiAlH_4/Et} R-CH_2OH$$

ألاحظ أن اختزال الحمض الكربوكسيلي يرافقه زيادة في عدد ذرات الهيدروجين ونقص في عدد ذرات الأكسجين. فمثلا يختزل حمض الإيثانويك مكونا الإيثانول وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ LiAlH_4/Et} CH_3CH_2OH$$

ويختزل حمض 2– ميثيل بروبانويك إلى كحول 2– ميثيل –1– بروبانول؛ كما توضح المعادلة الآتية:

$$CH_3\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)LiAlH_4/Et} CH_3\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}CH_2OH$$

✓ **أتحقَّق:** أكمل المعادلة الآتية :

$$CH_3CH_2CH_2CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ LiAlH_4/Et}$$

الربط بالصناعة

حمض الأستيك أو حمض الإيثانويك CH_3COOH؛ هو المكون للخلّ، ويُستخدم ما يقارب ثلث إجمالي حمض الأستيك المنتج صناعيًّا في جميع أنحاء العالم في إنتاج أسيتات الفينيل $CH_3COOCH=CH_2$، وهو مركب يستخدم مونومرًا لإنتاج مبلمر بولي فينيل أسيتات PVA المكون لأصماغ الخشب. ويستخدم حمض الأستيك –أيضًا– في إنتاج إسترات مختلفة منها؛ أسيتات السليلوز، حيث تستخدم لصناعة الأفلام الفوتوغرافية، ويمكن استخدامه –أيضًا– في تحضير بعض الأدوية مثل الأسبرين. في المنزل غالبًا ما يستخدم حمض الأستيك منظفًا منزليًّا، إذ يدخل في تكوين مزيلات التكلُّس. وقد ثبت –أيضًا– أن حمض الأستيك له خصائص مضادة للبكتيريا والفطريات حتى عند تخفيفه، لذلك استخدم لتطهير الجروح ومنظّفًا للأسطح في المطابخ.

مراجعة الدرس

1- الفكرة الرئيسة: أقارن بين تفاعل الاستبدال في هاليدات الألكيل والكحولات؛ وفق محتويات الجدول الآتي:

وجه المقارنة / المركب	نوع المركب الذي يتفاعل بالاستبدال	المادة غير العضوية المستخدمة في التفاعل	الناتج العضوي للتفاعل
الكحول			
هاليد الألكيل			

2- أوضّح المقصود بكل من: أ. الاستبدال النيوكليوفيلي ب. تفاعل الأسترة

3- يختزل البيوتانال $CH_3CH_2CH_2CHO$؛ باستخدام العامل المختزل $NaBH_4$، المذاب في الإيثانول، ثم إضافة محلول حمض مخفف مثل H_2SO_4.

أ. أكتب معادلة التفاعل الكيميائية.

ب. ما نوع المركب الناتج.

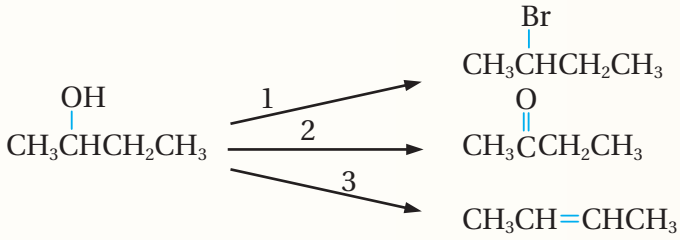
4- أضيفت قطعة صغيرة من الصوديوم إلى كأس يحتوي كحول 1– بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$.

أ. أصف ما ألاحظ.

ب. أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي يحدث.

جـ. أكتب معادلة كيميائية تمثل تفاعل الناتج السابق مع 1– كلورو بروبان $CH_3CH_2CH_2Cl$.

5- المخطط الآتي يشير إلى ثلاثة أنواع من تفاعلات المركب العضوي 2– بيوتانول



أ. أحدّد نوع كل من التفاعلين (2، 1).

ب. أكتب الصيغة الجزيئية للمواد الكيميائية التي تتفاعل مع 2– بيوتانول $CH_3CH_2\underset{OH}{C}HCH_3$؛ لتعطي النواتج في كل من التفاعلين (2، 3).

جـ. أكتب الظروف المناسبة لحدوث التفاعلين (2، 3).

6- أكمل المعادلات الآتية:

1– $CH_3OH \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2}$

2– $CH_3\underset{OH}{C}HCH_3 + HCl \longrightarrow$

3– $CH_3CH_2COOH + Na \longrightarrow$

4– $CH_3CH_2CH_2CH_2Br + KOH \longrightarrow$

5– $CH_3CH_2\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCOOH \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ LiAlH_4/Et}$

6– $CH_3COCH_2CH_2CH_3 \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ NaBH_4/\text{إيثانول}}$

7– $CH_3\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCH_3 + CH_3CH_2COOH \overset{H^+}{\rightleftharpoons}$

8– $CH_3CH_2Br + CH_3CH_2CH_2O^- \longrightarrow$

7- **أستنتج** صيغة المركب A في المعادلة الآتية:

$$A \xrightarrow[2)\ H_3O^+]{1)\ NaBH_4/\text{إيثانول}} CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH_2CH_2OH$$

8- أدرس الجدول الآتي الذي يُبيّن الصيغ البنائية لبعض المركبات العضوية المشار إليها بالأرقام من (8–1)، ثم أجيب عن الأسئلة التي تتبعه:

1 CH_3CH_2COOH	2 CH_3CH_2Cl	3 CH_3CH_2CHO	4 $CH_3CH_2COOCH_2CH_3$
5 $CH_3CH_2COCH_3$	6 $CH_3CH_2OCH_3$	7 CH_3CH_2OH	8 $CH_3CH_2CH_2OH$

أُحدّد من الجدول الرقم الذي يشير إلى مركب:

أ. ينتج عن تفاعل المركب 2 مع CH_3O^-.

ب. الناتج النهائي لأكسدة المركب 8؛ باستخدام محلول دايكرومات البوتاسيوم الحمضي $K_2Cr_2O_7/H^+$.

جـ. يتفاعل مع محلول تولينز مكونًا مرآة فضيّة.

د. يتصبّن.

هـ. مركبان يتفاعلان معًا لتكوين المركب 4 في وسط حمضي.

و. ينتج عن أكسدة المركب 8؛ باستخدام PCC/CH_2Cl_2.

ز. يُنتِج المركب 7؛ عند تفاعله مع KOH.

الدرسُ 3

تحضير المركبات العضوية
Preparation of Organic Compounds

الفكرةُ الرئيسة:

توظف تفاعلات المركبات العضوية في تحضير مواد عضوية جديدة وإنتاجها؛ ولذلك يجري تصنيع كثير من المركبات العضوية في المختبرات بطرائق مختلفة بهدف استكشاف طرائق جديدة لإنتاجها على المستوى الاقتصادي بأقل كلفة، ودون إنتاج مواد أخرى غير مرغوبة.

نتاجاتُ التعلُّم:

- أكتب معادلات كيميائية تبين كيفية تحضير بعض المركبات العضويـة.
- أصمّم مخططًا لتحضير مركب عضوي جديد بشكل صحيح.

المفاهيمُ والمصطلحات:

التكسير الحراري Thermal Cracking

طرائق تحضير المركبات العضوية
Methods of Preparing Organic Compounds

تنتج ملايين المركبات العضوية سنويًا، ولكل منها استخداماته وأهميته على المستوى الصناعي وفي الحياة اليومية؛ فقد أنعم اللَّهُ على خلقه بكثير من النعم، وجعل لكل من النباتات وثمارها طعمًا ورائحة مميزين؛ إذ تعود إلى أنواع المركبات العضوية التي توجد فيها، مثل الإسترات، والألديهايدات، وغيرها من المركبات العضوية التي تعرف بالنكهات الطبيعية، وقد تمكن الباحثون من استخلاص كثير من هذه المواد ودراستها والتعرف إلى مكوناتها وخصائصها؛ مما ساعد على تصنيع مواد مشابهة عرفت بالنكهات الصناعية، حيث تستخدم في صناعة المواد الغذائية وأنواع العصائر المختلفة.

وتسهم الصناعات القائمة على المركبات العضوية وتفاعلاتها في النمو الاقتصادي في عدد من الدول؛ إذ تدخل في صناعة الوقود، والمستحضرات الصيدلانية، ومواد التجميل، والصناعات الزراعية، ولذلك يهتم الكيميائيون المختصون في الكيميـاء العضويـة بدراسـة المركبات العضويـة وطرائـق تحضيرها والصناعات القائمة عليها أنظر الشكل (18).

الشكلُ (18): تحضير المركبات العضوية.

تحضير الألكانات Preparation of Alkanes

تُستخلص الألكانات بشكل رئيس بعملية التقطير التجزيئي للنفط والغاز الطبيعي، كما يمكن تحضيرها بالتكسير الحراري أو إضافة الهيدروجين إلى الألكين.

إنتاج الألكانات بالتكسير الحراري

Produce Alkanes by Thermal cracking

يُسخّن خليط النفط إلى درجات حرارة عالية في أبراج ضخمة، أنظر الشكل (19)؛ فتتكسر سلاسل المركبات الهيدروكربونية الطويلة إلى مركبات أصغر في ما يعرف بعملية **التكسير الحراري Thermal Cracking**. تؤدي إلى تكوين خليط غازيّ من الألكانات والألكينات؛ يتراوح عدد ذرات الكربون في مركباتها (2–10)، وتُفصل مكونات هذا الخليط عن طريق عملية التقطير التجزيئي، بالاعتماد على تفاوت درجات غليانها، فمثلًا؛ عند إجراء تكسير للمركب C_8H_{18}؛ فإن الجزيء الواحد يتكسر بحيث يكون مجموع عدد ذرات الكربون في الألكان والألكين الناتجين عن تكسيره مساويا لعدد ذرات الكربون فيه.

الشكلُ (19): برج التكسير الحراري.

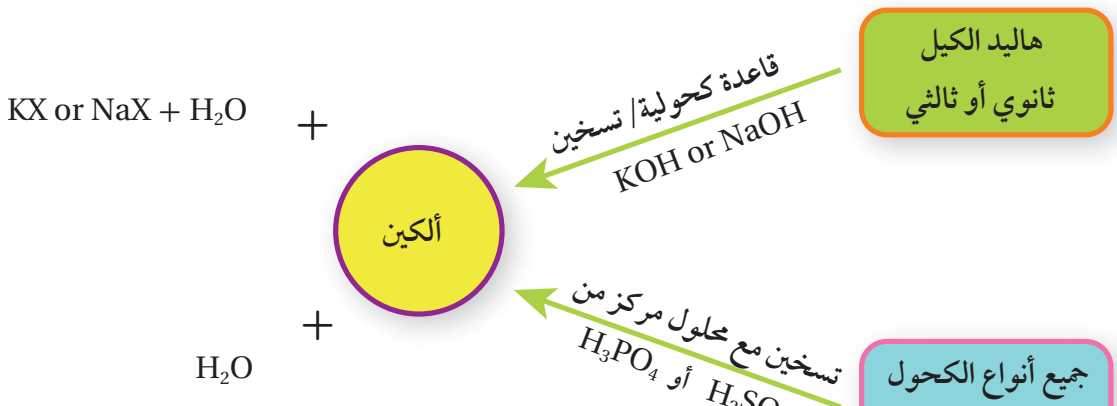
تحضير الألكانات من الالكينات

Preparation of Alkanes from Alkenes

يحضر الألكان بإضافة الهيدروجين H_2 الى الألكين فيما يعرف بعملية الهدرجة التي تستخدم في هدرجة الزيوت صناعيًّا الى دهون مشبعة. حيث يتم إضافة الهيدروجين H_2 إلى الألكين؛ بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt، فمثلًا؛ يُحضّر الإيثان بإضافة غاز الهيدروجين إلى الإيثين عند درجة حرارة 150 °C، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_2 = CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_3$$

✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلة كيميائية توضح تحضير البروبان $CH_3CH_2CH_3$؛ باستخدام البروبين $CH_2{=}CH\ CH_3$.



الشكلُ (20): مخطط لتحضير الألكينات من تفاعلات الحذف في هاليدات الألكيل والكحولات.

تحضير الألكينات Preparation of Akenes

تنتج الألكينات صناعيًّا بالتكسير الحراري للألكانات. وتحضر مخبريًّا باستخدام تفاعلات الحذف في كلّ من هاليدات الألكيل RX، أو الكحولات ROH، أنظر الشكل (20).

إنتاج الألكينات بالتكسير الحراري

Produce Alkenes by Thermal Cracking

عرفتُ في ما سبق أن تكسير السلاسل الكربونية الطويلة للألكانات يؤدي إلى إنتاج خليط غازي من الألكانات والألكينات. حيث تفصل المكونات بالاعتماد على درجة غليان كل منها. فمثلًا؛ عند تكسير سلسلة من الديكان $C_{10}H_{22}$، ينتج خليط من الأوكتان C_8H_{18} والإيثين C_2H_4، والهبتان C_7H_{16} والبروبين C_3H_6 وغيرهما.

تحضير الألكينات من هاليدات الألكيل

Preparation of Alkenes from Alkyl Halides

يحضر الألكين مخبريًّا بتسخين هاليد الألكيل الثانوي أو الثالثي مع محلول مركّز من أيونات الهيدروكسيد (OH^-)، الناتجة من محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH، المذاب في الإيثانول، أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، المذاب في الايثانول.

الربط بالصناعة

هدرجة الزيوت
Hydrogenation of Oils

تعرف الزيوت المهدرجة باسم الدهون الصناعية (السمن)، حيث تُحول الزيوت السائلة غير المشبعة إلى زيوت مشبعةعلى شكل سمن نباتي أو زبدة صُلبة؛ ويتم ذلك بإضافة الهيدروجين إلى الزيوت غير المشبعة (هدرجة الزيوت) بوجود عامل مساعد مناسب، وعند ظروف عالية من الضغط والحرارة. وذلك بهدف إطالة مدة الصلاحية وتسهيل عمليات الحفظ والتخزين.

المثال 1

يحضر البروبين $CH_3CH=CH_2$، من تسخين 2– برومو بروبان $CH_3CHBrCH_3$، مع محلول مركز من هيدروكسيد الصوديوم NaOH الكحولي. أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير البروبين.

الحلّ:

$$CH_3CHBrCH_3 + NaOH \xrightarrow[\text{كحولي}]{\text{تسخين}} CH_3CH=CH_2 + H_2O + NaBr$$

تحضير الألكينات من الكحولات Preparation of Alkenes from Alcohols

يحضر الألكين بتسخين الكحول مع محلول مركز من حمض الكبريتيك H_2SO_4، أو محلول مركز من حمض الفسفوريك H_3PO_4، إذ ينزع جزيء ماء H_2O، من الكحول في أثناء التفاعل وينتج الألكين.

المثال 2

أكتب معادلة تحضير الإيثين الناتج عن تسخين الإيثانول CH_3CH_2OH؛ مع محلول مُركّز من حمض الكبريتيك H_2SO_4.

الحلّ:

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[\Delta]{H_2SO_4 \text{ مركز}} CH_2 = CH_2 + H_2O$$

✓ أتحقَّق:

1- أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 2– بيوتين $CH_3CH=CHCH_3$؛ باستخدام 2– برومو بيوتان $CH_3CHBr\,CH_2CH_3$، ومحلول مركز من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي.

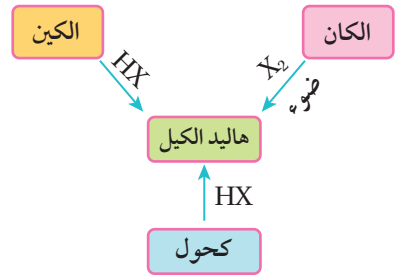
2- أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير البروبين $CH_3CH=CH_2$؛ بتسخين 2– بروبانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$ مع محلول حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز.

تحضير هاليدات الألكيل Preparation of Alkyl Halide

تستخدم هاليدات الألكيل في كثير من الصناعات، مثل صناعة المبيدات الحشرية، ومحاليل المُعقّمات الطبية، وصناعة طفايات الحريق، وصناعة المبلمرات، وغيرها.

تُحضّر هاليدات الألكيل بطرائق عدة في المختبر منها:

الاستبدال في الألكان (هلجنة الألكان)، وإضافة هاليد الهيدروجين إلى الألكين، والاستبدال في الكحولات أنظر الشكل **(21)**.



الشكلُ (21): مخطط لتفاعلات تحضير هاليدات الألكيل.

تحضير هاليدات الألكيل من الالكانات
Preparation of Alkyl Halide from Alkanes

تُحضّر هاليدات الألكيل؛ باستبدال ذرة هالوجين بذرة هيدروجين في الألكان بوجود الضوء، مثل تفاعل الميثان مع الكلور Cl_2، أو البروم Br_2، بوجود الضوء.

المثال 3

يُحضّر كلورومیثان CH_3Cl بتفاعل الميثان CH_4 مع الكلور Cl_2؛ بوجود الضوء أكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الحاصل.

الحلّ:

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

تحضير هاليدات الألكيل من الكينات Preparation of Alkyl Halides from Alkenes

يُحضّر هاليد الالكيل RX؛ بإضافة هاليد الهيدروجين الى الألكين؛ وفق قاعدة ماركو فينكوف.

المثال 4

يُحضّر 2 – كلوروبروبان $CH_3CHClCH_3$؛ بإضافة كلوريد الهيدروجين HCl، إلى البروبين $CH_2=CHCH_3$، أكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الحاصل.

الحلّ:

$$CH_2=CHCH_3 + HCl \longrightarrow \overset{\overset{Cl}{|}}{CH_3CHCH_3}$$

المثال 5

أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير المركب 2– برومو –2– ميثيل بروبان $\overset{\overset{Br}{|}}{CH_3C}\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH_3}$

بإضافة بروميد الهيدروجين HBr إلى 2– ميثيل بروبين. $CH_2=\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}-CH_3$

الحلّ:

$$CH_2=\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}}-CH_3 + HBr \longrightarrow CH_3\overset{\displaystyle Br}{\overset{\displaystyle |}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\displaystyle |}{C}}}}CH_3$$

تحضير هاليدات الألكيل من الكحولات

Preparation of Alkyl Halides from Alcohols

تُحضّر هاليدات الألكيل باستخدام تفاعل الاستبدال في الكحولات؛ وذلك بتفاعل الكحول مع محلول حمض مركز مثل HCl، أو HBr.

أُصَمِّمُ، باستخدام برنامج سكراتش scratch عرضًا يوضح طرائق تحضير هاليدات الألكيل موضحًا بالأمثلة، وأشاركه زملائي/ زميلاتي.

المثال 6

يُحضّر كلورو إيثان CH_3CH_2Cl؛ بتفاعل الإيثانول CH_3CH_2OH، مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl المركّز، اكتب معادلة كيميائية للتفاعل الحاصل.

الحلّ:

$$CH_3CH_2OH + HCl \xrightarrow{\text{مركز}} CH_3CH_2Cl + H_2O$$

المثال 7

أكتب معادلة كيميائية تُبيّن تحضير 2– بروموبروبان $CH_3CHBrCH_3$ من تفاعل 2– بروبانول $CH_3\overset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle |}{C}}HCH_3$ مع حمض HBr المركّز.

الحلّ:

$$\underset{\text{2– بروبانول}}{CH_3\overset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle |}{C}}HCH_3} + HBr \xrightarrow{\text{مركز}} \underset{\text{2– بروموبروبان}}{CH_3\overset{\displaystyle Br}{\overset{\displaystyle |}{C}}HCH_3} + H_2O$$

✓ أتحقَّق:

1- أكتب معادلة كيميائية لتحضير برومو إيثان CH_3CH_2Br بتفاعل الإيثان CH_3CH_3، مع البروم Br_2؛ بوجود الضوء.

2- أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 2– كلورو –2– ميثيل بروبان $CH_3\overset{\displaystyle Cl}{\overset{\displaystyle |}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\displaystyle |}{C}}}}CH_3$ من تفاعل 2– ميثيل –2– بروبانول $CH_3\overset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle |}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\displaystyle |}{C}}}}CH_3$ مع حمض الهيدروكلوريك HCl المركّز.

أفكّر: أصمّم مخططًا لسلسلة التفاعلات المستخدمة في تحضير الإيثانال بدءًا من الإيثين.

الربط بالصحة

الكشف عن الكيتون في البول

يعدّ ارتفاع مستويات الكيتون في البول -أو ما يعرف بالحماض الكيتوني السكري – Diabetic Ketoacidosis أول مؤشرات الإصابة بمرض السكري غير المكتشف، كما يعدّ أحد مضاعفات مرض السكري عند المصابين. يجري الكشف عن الكيتون في البول باستخدام اختبار روثيرا، الذي يكشف عن وجود البروبانون (الأسيتون) في البول، إذ يحول لون البول إلى اللون الأحمر.

تحضير الألديهايد والكيتون Preparation of Aldehyde and Ketone

تعدّ تفاعلات التأكسد من الطرق الرئيسة لتحضير الألديهايدات والكيتونات التي تستخدم في المجالات الصناعية المتعددة في حياتنا اليومية؛ فتستخدم الألديهايدات في صناعة العطور، والمنظفات، والصابون، كما تستخدم الكيتونات في صناعة المنسوجات، والأصماغ، ومذيبات الدهانات، وغيرها.

تُحضّر الألديهايدات والكيتونات صناعيًّا؛ بتسخين الكحولات الأولية أو الثانوية عند درجة حرارة 300 °C، بوجود فلزّ النحاس الذي يعمل عاملًا مساعدًا لنزع الهيدروجين، فمثلًا؛ يتأكسد الإيثانول بوجود النحاس وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[300\ ^\circ C]{Cu} CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}H$$

الإيثانول — الإيثانال

وكذلك يتأكسد الكحول الثانوي 2– بروبانول $CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3$ بوجود النحاس؛ وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3 \xrightarrow[300\ ^\circ C]{Cu} CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$$

2– بروبانول — بروبانون

أما في المختبر؛ فهناك طرائق عدة لتحضير كل من الألديهايد والكيتون، ومن أشهرها أكسدة الكحول الأولي باستخدام كلوروكرومات البيريدينيوم PCC المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2، وينتج الألديهايد.

المثال 8

يتأكسد الايثانول CH_3CH_2OH، باستخدام كلوروكرومات البيريدينيوم PCC المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2، وينتج الايثانال CH_3CHO، أكتب معادلة التفاعل الحاصل.

الحلّ:

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$$

الايثانول — الايثانال

في حين يتأكسد الكحول الثانوي باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$، في وسط حمضي أو باستخدام المركب PCC، المذاب في CH_2Cl_2؛ وينتج الكيتون.

المثال 9

يتأكسد 2– بروبانول $CH_3CHOHCH_3$، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$، في وسط حمضي وينتج البروبانون CH_3COCH_3، أكتب معادلة التفاعل الحاصل.

الحلّ:

$$\underset{\text{2– بروبانول}}{CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3} \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} \underset{\text{بروبانون}}{CH_3\overset{\overset{O}{||}}{C}CH_3}$$

المثال 10

أكتب معادلة اكسدة 2– بروبانول $CH_3CHOHCH_3$، باستخدام كلوروكرومات البيريدينيوم PCC، المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2، لتحضير البروبانون CH_3COCH_3.

الحلّ:

$$\underset{\text{2– بروبانول}}{CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3} \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} \underset{\text{بروبانون}}{CH_3\overset{\overset{O}{||}}{C}CH_3}$$

المثال 11

أكتب معادلات تُبيّن تحضير الميثانال CH_2O، باستخدام الميثان CH_4، وبوجود الضوء وكلّ من المواد الآتية:

Cl_2, KOH, PCC, CH_2Cl_2

الحلّ:

يتفاعل الميثان CH_4 مع الكلور Cl_2، بوجود الضوء لتكوين كلوروميثان CH_3Cl؛ كما في المعادلة الآتية:

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

ثم يتفاعل كلوروميثان CH_3Cl، مع القاعدة KOH، لتكوين الميثانول CH_3OH، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3Cl + KOH \longrightarrow CH_3OH + KCl$$

يتأكسد الميثانول CH_3OH، باستخدام العامل المؤكسد PCC، وبوجود CH_2Cl_2، وينتج الميثانال ؛ كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{الميثانول}}{CH_3OH} \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} \underset{\text{الميثانال}}{H-\overset{\overset{O}{||}}{C}-H}$$

المثال 12

أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير البروبانون $CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$ ، باستخدام البروبين $CH_3CH=CH_2$، والمواد غير العضوية الآتية: $K_2Cr_2O_7$, H_2O , H_2SO_4

الحلّ:

يُحضّر البروبانون من أكسدة 2– بروبانول $CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3$، وهو كحول ثانويّ يمكن الحصول عليه من إضافة الماء إلى البروبين $CH_3CH=CH_2$، والمعادلات الآتية توضح ذلك:

أولاً يضاف الماء إلى البروبين بوجود حمض H_2SO_4؛ فينتج 2– بروبانول $CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3$، كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{بروبين}}{CH_3CH=CH_2} + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{2– بروبانول}}{CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3}$$

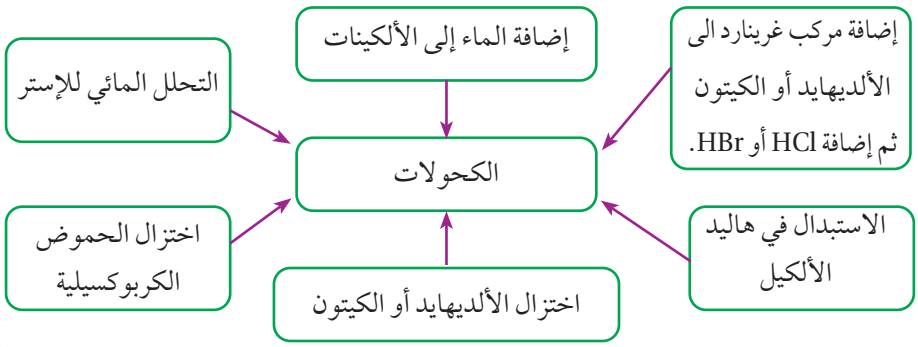
ثم يتأكسد 2– بروبانول باستخدام العامل المؤكسد $K_2Cr_2O_7$، بإضافة قطرات من الحمض؛ فينتج البروبانون كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3 \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$$

✓ **أتحقَّق:** أصمّم مخططًا يُبيّن صيغ المركبات العضوية الناتجة من سلسلة التفاعلات الكيميائية التي تجري لتحضير البيوتانون $CH_3COCH_2CH_3$؛ من 1– كلورو بيوتان $CH_3CH_2CH_2CH_2Cl$، باستخدام مصدر حرارة والمواد الآتية: H_2O , H_2SO_4 مُركّز , $K_2Cr_2O_7$, KOH

تحضير الكحولات Preparation of Alcohols

تعد الكحولات من أشهر المركبات العضوية، ولها أهمية كبيرة في الكيمياء العضوية؛ ويمكن تحضيرها من عدد من المركبات العضوية أنظر الشكل (22).



الشكلُ (22): تحضير الكحولات من مركبات عضوية.

يعدُّ كل من الميثانول CH_3OH، والإيثانول CH_3CH_2OH، أبسط أنواع الكحولات، ولهما أهمية في الصناعات المختلفة، لذلك يجري تحضيرهما صناعيًّا بكميات تجارية.

يُحضّر الميثانول صناعيًّا عن طريق هدرجة غاز أول أكسيد الكربون CO، عند درجة حرارة 400°C، وبوجود أكسيد الخارصين ZnO، أو أكسيد الكروم Cr_2O_3، بوصفها عوامل مساعدة؛ كما في المعادلة الآتية:

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \xrightarrow[400\ °C]{ZnO/Cr_2O_3} CH_3OH_{(g)}$$

يُحضّر الإيثانول صناعيًّا؛ من تخمير الجلوكوز الموجود في الذرة، أو العنب، أو الشعير، باستخدام أنزيمات الخميرة، كما في المعادلة الآتية:

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{خميرة}} 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$$

تحضير الكحولات من الألكينات Preparation of Alcohols from Alkenes

يُحضّر الكحول بإضافة الماء إلى الألكين؛ بوجود عامل مساعد مثل حمض الكبريتيك H_2SO_4، أو حمض الفسفوريك H_3PO_4.

المثال 13

يُحضّر 2– بروبانول $CH_3CHOHCH_3$، باستخدام البروبين $CH_3CH=CH_2$، والماء، وحمض الفسفوريك H_3PO_4؛ اكتب معادلة التفاعل الحاصل.

$$CH_3CH=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_3PO_4} CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$$

✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلة تحضير 2– بيوتانول $CH_3\ CH_2CHOHCH_3$؛ من تفاعل 1– بيوتين $CH_3\ CH_2CH=CH_2$، مع الماء، بوجود حمض الكبريتيك H_2SO_4.

تحضير الكحولات من هاليدات الألكيل

Preparation of Alcohols from Alkyl Halides

يُحضّر الكحول الأولي من تفاعل هاليد الألكيل الأولي مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

المثال 14

أكتب معادلة كيميائية تُبيّن ناتج تفاعل 1– برومو بروبان $CH_3CH_2CH_2Br$، مع محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH.

الحلّ:

$$CH_3CH_2CH_2Br + NaOH \longrightarrow CH_3CH_2CH_2OH + NaBr$$

ويمكن كتابة المعادلة على النحو الآتي:

$$CH_3CH_2CH_2Br + OH^- \longrightarrow CH_3CH_2CH_2OH + Br^-$$

أفكّر: يصعب تحضير المركب 2– بروبانول $CH_3CHOHCH_3$ مباشرة من تفاعل 2– كلورو بروبان $CH_3CHClCH_3$.

✓ **أتحقّق:** أكتب معادلات كيميائية تُبيّن تحضير الإيثانول CH_3CH_2OH، إذا توافر لديك في المختبر الإيثان CH_3CH_3، والكلور Cl_2، والضوء، ومحلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

تحضير الكحولات من الألديهايدات أو الكيتونات

Preparation of Alcohols from Aldehydes or Ketones

يحضر الكحول باختزال الألديهايد أو الكيتون؛ باستخدام عوامل مختزلة، مثل هيدريد الليثيوم والألمنيوم $LiAlH_4$، في وسط من الإيثر الجافّ، أو بورو هيدريد الصوديوم $NaBH_4$، مذابا في الايثانول، ثم إضافة محلول مخفف من حمض H_2SO_4؛ إذ يؤدي اختزال الألديهايد إلى إنتاج كحول أولي، بينما يؤدي اختزال الكيتون إلى إنتاج كحول ثانوي.

المثال 15

أكتب معادلة كيميائية تُبيّن تحضير الإيثانول بتفاعل الإيثانال $CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}H$؛ مع بورو هيدريد الصوديوم $NaBH_4$، ثم يضاف إليه محلول مخفّف من حمض الكبريتيك H_2SO_4.

الحلّ:

يُحضّر الإيثانول باختزال الإيثانال كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}H \xrightarrow[2.\ H_3O^+]{1.\ NaBH_4/\text{إيثانول}} CH_3CH_2OH$$

الإيثانال — الإيثانول

المثال 16

أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 2– بروبانول $CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3$، من البروبانون، باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم $LiAlH_4$.

الحلّ:

يُحضّر 2– بروبانول باختزال البروبانون كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3 \xrightarrow[2.\ H_3O^+]{1.\ LiAlH_4/Et} CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3$$

البروبانون — 2– بروبانول

كما يمكن الحصول على الكحولات صناعيًّا باختزال الألديهايد والكيتون أيضًا؛ بإضافة غاز الهيدروجين إلى كلّ منهما بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni، عند درجة حرارة 150 °C، والمعادلتان الآتيتان توضحان اختزال كلّ من الإيثانال والبروبانون:

$$CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}H + H_2 \xrightarrow[150\ ^\circ C]{Ni} CH_3CH_2OH$$

الإيثانال — الإيثانول

$$CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3 + H_2 \xrightarrow[150\ ^\circ C]{Ni} CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3$$

البروبانون — 2– بروبانول

✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 2– بيوتانول $CH_3CH_2\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3$، بتفاعل البيوتانون $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$، مع بوروهيدريد الصوديوم $NaBH_4$.

تحضير الكحولات من الحموض الكربوكسيلية

Preparation of Alcohols from Carboxylic Acids

يُحضّر الكحول الأولي باختزال الحمض الكربوكسيلي؛ باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم $LiAlH_4$، المذاب في الايثر الجاف حيث يُختزل الحمض الكربوكسيلي وينتج الكحول الأولي.

المثال 17

أكتب معادلة كيميائية لتحضير الإيثانول CH_3CH_2OH، من حمض الإيثانويك CH_3COOH ؛ باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم $LiAlH_4$.

الحلّ:

يُحضّر الإيثانول CH_3CH_2OH، باختزال حمض الإيثانويك CH_3COOH، في وسط جاف من الإيثر، ثم إضافة قطرات من محلول حمض مُخفّف، كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{حمض الإيثانويك}}{CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}OH} \xrightarrow[2.\ H_3O^+]{1.\ LiAlH_4/Et} \underset{\text{الإيثانول}}{CH_3CH_2OH}$$

✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 1– بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$، من حمض البروبانويك $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}OH$؛ بوجود هيدريد الليثيوم والألمنيوم $LiAlH_4$، والإيثر وحمض H_2SO_4 المخفّف.

تحضير الكحولات من الاسترات Preparation of Alcohols from Esters

يتفكّك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ وينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي.

المثال 18

أكتب معادلة كيميائية لتحضير الايثانول CH_3CH_2OH بتسخين إيثانوات الإيثيل $CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}OCH_2CH_3$، مع محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH.

الحلّ:

$$\underset{\text{إيثانوات الايثيل}}{CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}OCH_2CH_3} + NaOH \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{إيثانوات الصوديوم}}{CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}ONa} + \underset{\text{الإيثانول}}{CH_3CH_2OH}$$

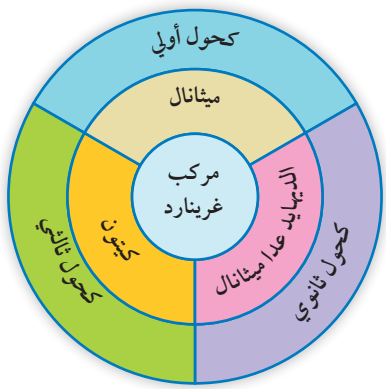
✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلات كيميائية تُبيّن تحضير الميثانول بتسخين إستر إيثانوات الميثيل CH_3COOCH_3، مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH.

تحضير الكحولات باستخدام مركبات غرينارد
Preparation of Alcohols from Grinard's Compounds

عرفت سابقا ان مركب غرينارد RMgX ينتج من تفاعل هاليد ألكيل RX، مع المغنيسيوم بوجود الإيثر الجاف.

تتفاعل مركبات غرينارد RMgX، مع كلٍّ من الألديهايد RCHO، والكيتون RCOR؛ وينتج الكحول ROH، وتعدّ هذه التفاعلات من أشهر الطرائق المتّبعة في تحضير الكحولات، ويكون عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في كلٍّ من مركب غرينارد والألديهايد أو الكيتون.

يعتمد نوع الكحول الناتج على نوع الألديهايد أو الكيتون المتفاعل، ويبيّن الشكل (23) مخطّطًا عامًّا لنواتج تفاعلات الألديهايد أو الكيتون مع مركب غرينارد.



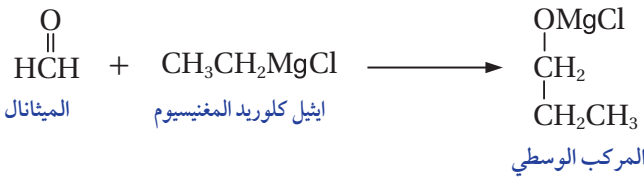
الشكلُ (23): مخطط عام لنواتج تفاعلات مركبات الكربونيل مع مركب غرينارد.

المثال 19

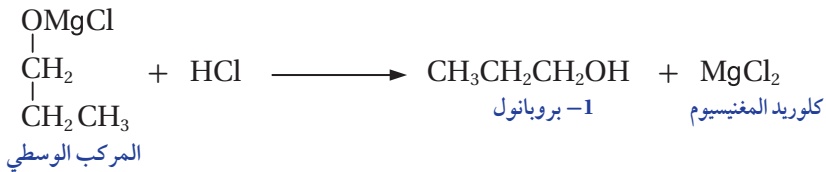
أكتب معادلات كيميائية تُبيّن تحضير 1– بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$، من تفاعل الميثانال CH_2O، مع إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl.

الحلّ:

المركب $CH_3CH_2CH_2OH$ هو كحول أوليّ؛ عدد ذرات الكربون فيه يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في كلّ من مركب غرينارد CH_3CH_2MgCl، حيث عدد ذرات الكربون فيه يساوي 2، والميثانال وعدد ذرات الكربون فيه يساوي 1، وبهذا يمكن تحضير 1– بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$؛ بإضافة مركب غرينارد CH_3CH_2MgCl، إلى الميثانال CH_2O؛ وينتج المركب الوسطي كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل المركب الوسطي الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl؛ وينتج الكحول 1– بروبانول؛ كما في المعادلة الآتية:

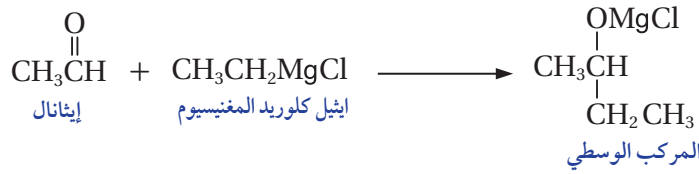


المثال 20

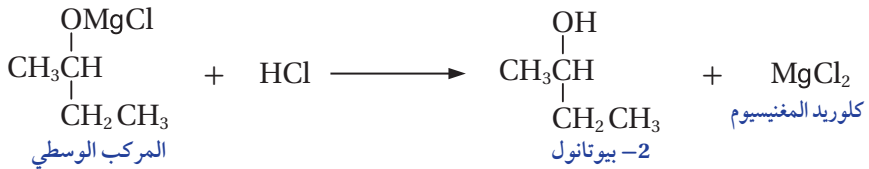
أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير 2– بيوتانول $CH_3\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCH_2CH_3$؛ من تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl، مع الإيثانال CH_3CHO.

الحلّ:

المركب $CH_3\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCH_2CH_3$، هو كحول ثانوي يتكون من أربع ذرات كربون، وتساوي مجموع عدد ذرات الكربون في مركب غرينارد والإيثانال، أي أن اثنتين منها مصدرهما إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl، والأخريين مصدرهما الإيثانال CH_3CHO. وبذلك يُحضّر المركب 2– بيوتانول $CH_3CHOHCH_2CH_3$؛ بإضافة إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl، إلى الإيثانال CH_3CHO؛ وينتج المركب الوسطي كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل المركب الوسطي الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl، وينتج 2– بيوتانول؛ كما في المعادلة الآتية:



المثال 21

كحول 2– ميثيل –2– بيوتانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}CH_2CH_3$
$\quad\quad\quad

المثال 22

أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2– بيوتانول $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3$؛ إذا توافر الإيثين $CH_2=CH_2$، و PCC/CH_2Cl_2 والمواد الآتية: H_2O , H_2SO_4 , HCl , Mg , Et.

الحل:

الكحول المطلوب تحضيره 2– بيوتانول هو كحول ثانوي، ويتكون من أربع ذرات كربون؛ أي ضعف عدد ذرات الكربون في الإيثين. ولتحضيره أستخدم مركب غرينارد؛ وألديهايدًا، ويكون عدد ذرات الكربون فيهما يساوي أربع ذرات؛ لذا أستخدم مركب غرينارد وألديهايدًا يتكون كلّ منهما من ذرتي كربون.

أقسم الكمية المتوافرة من الإيثين إلى قسمين؛ أستخدم أحدهما لتحضير الألديهايد (الإيثانال)، وأستخدم القسم الآخر لتحضير مركب غرينارد (إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl).

يمكن الحصول على الإيثانال من أكسدة كحول أولي؛ ولذلك أضيف الماء إلى الإيثين بوجود حمض الكبريتيك H_2SO_4، للحصول على الإيثانول كما يأتي:

$$CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3CH_2OH$$

أجري أكسدة الإيثانول باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم المذاب في ثنائي كلوروميثان $PCC\backslash CH_2Cl_2$ للحصول على الإيثانال كما يأتي:

$$\underset{\text{الإيثانول}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} \underset{\text{الإيثانال}}{CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}H}$$

أحضر مركب غرينارد(إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl)، من تفاعل هاليد الألكيل مع المغنيسيوم؛ بوجود الإيثر الجاف؛ ولذلك أحضر هاليد الألكيل(كلورو إيثان CH_3CH_2Cl)؛ بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl، إلى الإيثين، ثم أفاعل كلورو إيثان الناتج مع المغنيسيوم بوجود الإيثر، وينتج ايثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl؛ كما يأتي:

$$CH_2=CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl$$

$$CH_3CH_2Cl + Mg \xrightarrow{Et} CH_3CH_2MgCl$$

أضيف مركب غرينارد الناتج إلى الإيثانال، وينتج المركب الوسطي الذي يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك لتكوين الكحول المطلوب، كما يأتي:

$$\underset{\text{الإيثانال}}{CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}H} + \underset{\text{ايثيل كلوريد المغنيسيوم}}{CH_3CH_2MgCl} \longrightarrow \underset{\text{المركب الوسطي}}{CH_3\overset{\overset{OMgCl}{|}}{C}HCH_2CH_3} \xrightarrow{HCl} \underset{\text{2– بيوتانول}}{CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3} + MgCl_2$$

المثال 23

أكتب المعادلات الكيميائية التي توضح كيفية تحضير الإيثانول CH_3CH_2OH؛ من الميثان CH_4 بوجود الضوء، والمواد الآتية: الإيثر، PCC/CH_2Cl_2 , HBr , NaOH , Mg , Br_2

الحلّ:

المركب المطلوب تحضيره هو الإيثانول CH_3CH_2OH، هو كحول أولي، وعدد ذرات الكربون فيه أكبر من الميثان، ولا يمكن أن ينتج إلا بتفاعل الميثانال مع مركب غرينارد؛ ولتحضيره أُحضّر مركب غرينارد أولًا، ثم أُحضّر الميثانال، وأفاعلهما معًا كي أحصل على الإيثانول.

يتفاعل الميثان مع الهالوجين؛ مثل البروم بالاستبدال لتكوين هاليد الألكيل كما في المعادلة:

$$CH_4 + Br_2 \xrightarrow{\text{ضوء}} \underset{\text{بروموميثان}}{CH_3Br} + HBr$$

أقسم المركب برومو ميثان CH_3Br الناتج إلى قسمين؛ أستخدم أحدهما لتحضير مركب غرينارد ميثيل بروميد المغنيسيوم CH_3MgBr، كما يأتي:

$$CH_3Br + Mg \xrightarrow{Et} \underset{\text{ميثيل بروميد المغنيسيوم}}{CH_3MgBr}$$

أستخدم القسم المتبقي من برومو ميثان CH_3Br، لتحضير الميثانال CH_2O، حيث يتفاعل CH_3Br مع NaOH، وينتج الميثانول CH_3OH، كما يأتي:

$$CH_3Br + NaOH \longrightarrow \underset{\text{الميثانول}}{CH_3OH} + NaBr$$

وبعدها أجري أكسدة الميثانول؛ باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم $PCC\backslash CH_2Cl_2$، لتكوين الميثانال كما يأتي:

$$\underset{\text{الميثانول}}{CH_3OH} \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} \underset{\text{الميثانال}}{HC(=O)H}$$

ثم أضيف ميثيل بروميد المغنيسيوم إلى الميثانال؛ فينتج المركب الوسطي ثم أفاعله مع حمض HBr، فيتكون كحول الإيثانول المطلوب؛ كما في المعادلات الآتية:

$$\underset{\text{الميثانال}}{HC(=O)H} + \underset{\substack{\text{ميثيل بروميد}\\ \text{المغنيسيوم}}}{CH_3MgBr} \longrightarrow \underset{\text{المركب الوسطي}}{HC(OMgBr)(CH_3)} \xrightarrow{HBr} \underset{\text{الإيثانول}}{CH_2(OH)CH_3} + MgBr_2$$

المثال 24

أكتب المعادلات التي تبين تحضير 2– بروبانول $CH_3\overset{OH}{\underset{|}{C}}HCH_3$؛ من: الميثان CH_4 والإيثين $CH_2=CH_2$، بوجود الضوء، والمواد الآتية: الماء، الإيثر، Cl_2 , Mg , H_2SO_4 , PCC/CH_2Cl_2 .

الحلّ:

الكحول المراد تحضيره 2– بروبانول هو كحول ثانوي، وعدد ذرات الكربون فيه أكبر من عددها في أيّ من المركبين العضويين المتوافرين، ويساوي مجموع عددها في كلّ من المركّبين، ولتحضير هذا المركب؛ نستخدم طريقة غرينارد، حيث يجري تحضير ألديهايد ومركب غرينارد أولًا، ثم تجري مفاعلتهما معًا. ولمّا كان الكحول المطلوب ثانويًا؛ فإنه يلزم لتحضيره ألديهايد عدا الميثانال، ولذلك؛ يستخدم المركب $CH_2=CH_2$، لتحضير الألديهايد CH_3CHO، ويستخدم المركب CH_4، لتحضير مركب غرينارد ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl، كما يأتي:

أضيف الماء إلى الإيثين $CH_2=CH_2$؛ للحصول على كحول الإيثانول CH_3CH_2OH، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3CH_2OH$$

ثم تجري أكسدة الإيثانول باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم $PCC\backslash CH_2Cl_2$؛ للحصول على الإيثانال كما يأتي:

$$\underset{\text{الإيثانول}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} \underset{\text{الإيثانال}}{CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}H}$$

يتفاعل الميثان مع الكلور Cl_2 بالاستبدال؛ فينتج كلورو ميثان CH_3Cl ، كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{الميثان}}{CH_4} + Cl_2 \xrightarrow{\text{ضوء}} \underset{\text{كلورو ميثان}}{CH_3Cl} + HCl$$

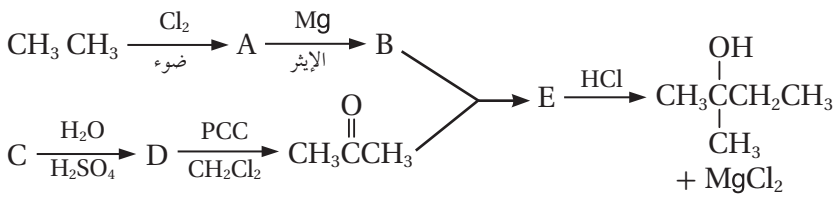
يتفاعل كلورو ميثان CH_3Cl، مع المغنيسيوم Mg؛ بوجود الإيثر للحصول على مركب غرينارد(ميثيل كلوريد المغنيسيوم) كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{كلورو ميثان}}{CH_3Cl} + Mg \xrightarrow{Et} \underset{\text{ميثيل كلوريد المغنيسيوم}}{CH_3MgCl}$$

أضيف ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl الى الإيثانال CH_3CHO؛ فينتج المركب الوسطي ثم أفاعله مع الحمض HCl، فيتكون 2– بروبانول، كما في المعادلات الآتية:

$$\underset{\text{ميثيل كلوريد المغنيسيوم}}{CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}H + CH_3MgCl} \longrightarrow \underset{\text{المركب الوسطي}}{CH_3\overset{OMgCl}{\overset{|}{C}}HCH_3} \xrightarrow{HCl} \underset{\text{2– بروبانول}}{CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3} + MgCl_2$$

✓ **أتحقّق:** أكتب صيغ المركبات العضوية A, B, C, D, E, الناتجة من سلسلة التفاعلات المبيّنة في المخطط الآتي:



أُصَمِّمُ، باستخدام الكاميرا الرقمية فيلمًا أوضّح فيه بعض الأمثلة التي أوظف فيها أنواع التفاعلات العضوية في تحضير بعض المركبات العضوية في المختبر مثل الكحولات، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي.

تحضير الايثرات Preparation of Ethers

يُحضر العديد من الإيثرات صناعيًّا؛ ومن أهمها ثنائي إيثيل إيثر $CH_3CH_2OCH_2CH_3$، حيث يستخدم مذيبًا عضويًا في كثير من التفاعلات، ويُحضّر صناعيًّا بتسخين الإيثانول CH_3CH_2OH، مع حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4، إلى درجة حرارة تصل 140 °C، والمعادلة الآتية توضح ذلك:

$$2CH_3CH_2OH \xrightarrow[140\ ^\circ C]{H_2SO_4\ \text{مركز}} CH_3CH_2OCH_2CH_3$$

أما في المختبر؛ فتُحضّر الإيثرات بشكل أساسي بتفاعل هاليد الألكيل الأولي RX، مع مركبات ألكوكسيد، مثل ألكوكسيد الصوديوم R–ONa، حيث يحلّ أيون الألكوكسيد RO^-، محلّ أيون الهالوجين.

المثال 25

أكتب معادلات كيميائية توضّح تحضير ثنائي ميثيل إيثر $CH_3–O–CH_3$؛ بوجود الضوء والمواد الآتية: $NaOH\ ,Br_2\ ,Na\ ,CH_4$

الحلّ:

ثنائي ميثل إيثر $CH_3–O–CH_3$، المراد تحضيره يتكون من مجموعتين ألكيل متماثلتين CH_3، على جانبي ذرة الأكسجين، تتكون كلّ منهما من ذرة كربون واحدة، يكون مصدر إحداهما هاليد الألكيل بروموميثان CH_3Br، ومصدر الأخرى أيون الميثوكسيد CH_3O^-، لذلك أستخدم الميثان لتحضير بروموميثان كما يأتي:

$$\underset{\text{الميثان}}{CH_4} + Br_2 \xrightarrow{\text{ضوء}} \underset{\text{برومو ميثان}}{CH_3Br} + HBr$$

أقسم المركب بروموميثان إلى قسمين أحتفظ بأحدهما، وأستخدم القسم الآخر لتحضير أيون الميثوكسيد، حيث أفاعل بروموميثان مع هيدروكسيد الصوديوم؛ فينتج الميثانول CH_3OH، كما يأتي:

$$\underset{\text{برومو ميثان}}{CH_3Br} + NaOH \longrightarrow \underset{\text{الميثانول}}{CH_3OH} + NaBr$$

ثم أفاعل الميثانول CH_3OH، مع الصوديوم Na، فينتج ميثوكسيد الصوديوم CH_3ONa؛ كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3OH + Na \longrightarrow CH_3ONa + \frac{1}{2}H_2$$

وبعدها أفاعل بروموميثان CH_3Br مع ميثوكسيد الصوديوم CH_3ONa، الذي يتأين وينتج أيون CH_3O^-، الذي يحلّ محل ذرة الهالوجين Br، في بروموميثان، وينتج ثنائي ميثيل ايثر CH_3-O-CH_3؛ كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3Br + CH_3O^- \longrightarrow CH_3-O-CH_3 + Br^-$$

المثال 26

أكتب معادلات كيميائية توضّح تحضير إيثيل ميثيل ايثر $CH_3CH_2-O-CH_3$، إذا توافر في المختبر الميثان CH_4 والإيثين $CH_2=CH_2$؛ وبوجود الضوء ، والمواد الآتية: $NaOH\ ,\ HCl\ ,\ Cl_2\ ,Na$

الحلّ:

الإيثر المراد تحضيره هو إيثيل ميثيل ايثر $CH_3CH_2-O-CH_3$، ويتكون من مجموعتي ألكيل مختلفتين إحداهما CH_3 والأخرى CH_3CH_2، ولذلك أستخدم أحد المركّبين العضويين لتحضير هاليد الألكيل RX، ويستخدم الآخر لتحضير مركب الألكوكسيد RONa، ولذلك أضيف HCl إلى الإيثين $CH_2=CH_2$؛ فينتج كلورو ايثان CH_3CH_2Cl، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_2=CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl$$

ثم أستخدم الميثان CH_4، لتحضير الألكوكسيد CH_3ONa، حيث يتفاعل الميثان مع الكلور Cl_2، بوجود الضوء بتفاعل الاستبدال، وينتج كلورو ميثان CH_3Cl؛ كما في المعادلات الآتية:

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

ثم أفاعل كلورو ميثان CH_3Cl، مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ فينتج الميثانول CH_3OH، كما يأتي:

$$CH_3Cl + NaOH \longrightarrow CH_3OH + NaCl$$

بعد ذلك؛ أفاعل الميثانول CH_3OH، مع الصوديوم Na؛ فينتج ميثوكسيد الصوديوم CH_3ONa.

$$CH_3OH + Na \longrightarrow CH_3ONa + \frac{1}{2}H_2$$

ثم أفاعل كلورو إيثان CH_3CH_2Cl، مع ميثوكسيد الصوديوم؛ فينتج إيثيل ميثيل إيثر؛ كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Cl + CH_3ONa \longrightarrow CH_3CH_2OCH_3 + NaCl$$

✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير الإيثر $CH_3CH_2-O-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH_3$، إذا توافر في المختبر 1- كلورو بروبان $CH_3CH_2CH_2Cl$، والإيثين $CH_2=CH_2$، والمواد الآتية:

$$NaOH\ ,\ HCl\ ,\ Na,\ H_3PO_4,\ H_2O$$

تحضير الحموض الكربوكسيلية Preparation of Carboxylic Acids

يُحضّر حمض الإيثانويك صناعيًّا على نطاق واسع عن طريق تفاعل الميثانول CH_3OH، مع أول أكسيد الكربون CO؛ بوجود عامل مساعد من يود – روديوم (RhI)؛ كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3OH + CO \xrightarrow{RhI} CH_3COOH$$

وتُحضّر الحموض الكربوكسيلية في المختبر بطرائق عدة منها، أكسدة الكحولات الأولية أو أكسدة الألديهايدات باستخدام عوامل مؤكسدة قوية، مثل دايكرومات الصوديوم $Na_2Cr_2O_7$، أو دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي، وتحضر ايضاً من التحلل المائي للإستر في وسط حمضي وكذلك بتفاعل الإستر مع محلول قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH (التصبن)؛ فينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي الذي تجري مفاعلته مع محلول مخفف من حمض الهيدروكلوريك HCl؛ فينتج الحمض الكربوكسيلي، كما في المعادلة العامة الآتية:

$$RCOO^- + H^+ \longrightarrow RCOOH$$

أُصَمِّمُ، باستخدام برنامج صانع الأفلام (Movie Maker) فيلمًا قصيرًا يوضح طرائق تحضير الحموض الكربوكسيلية، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي.

المثال 27

أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير حمض الميثانويك HCOOH؛ من ميثانوات الإيثيل $HCOOCH_2CH_3$، باستخدام قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH، وحمض الهيدروكلوريك HCl.

الحلّ:

يُحضّر حمض الميثانويك بتسخين ميثانوات الإيثيل مع محلول القاعدة NaOH، وينتج الإيثانول وميثانوات الصوديوم؛ كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{ميثانوات الايثيل}}{HC(=O)OCH_2CH_3} + NaOH \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{ميثانوات الصوديوم}}{HC(=O)ONa} + \underset{\text{الإيتانول}}{CH_3CH_2OH}$$

يُفصل الإيثانول من المحلول بعملية التقطير، ثم يضاف حمض الهيدروكلوريك HCl، إلى محلول ميثانوات الصوديوم المتبقي؛ فيتفاعل أيون الهيدروجين H^+ مع أيون $HCOO^-$، وينتج حمض الميثانويك HCOOH، كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{}{HC(=O)O^-} + H^+ \longrightarrow \underset{\text{حمض الميثانويك}}{HC(=O)OH}$$

المثال 28

أكتب معادلات كيميائية تبين أكسدة البروبانال CH_3CH_2CHO للحصول على حمض البروبانويك CH_3CH_2COOH.

الحل:

يُحضّر حمض البروبانويك CH_3CH_2COOH؛ بأكسدة البروبانال CH_3CH_2CHO، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$، في وسط حمضي (H^+)، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}H \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}OH$$

البروبانال — حمض البروبانويك

أتحقَّق: أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير حمض الميثانويك HCOOH مخبريًا؛ من الميثان CH_4، بوجود الضوء، والمواد الآتية:

$$NaOH\ ,\ K_2Cr_2O_7/H^+\ ,\ Cl_2$$

تحضير الإسترات Preparation of Esters

تُستخدم عملية الأسترة في تحضير الكثير من المركبات العضوية ذات الأهمية الكبرى في حياتنا؛ مثل الأسبرين ومضافات لتحسين الوقود، ومُنكّهاتٍ غذائيةً، وفي صناعة النسيج، وتستخدم في صناعة الصابون، والمنظّفات، وغيرها.

يُحضّر الإستر في المختبر بتفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول في وسط حمضي (محلول حمض الكبريتيك H_2SO_4)، وهي أيضًا العملية الأكثر شيوعًا صناعيًّا.

المثال 29

أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير إيثانوات الميثيل CH_3COOCH_3، في المختبر إذا توافر $CH_4\ ,\ CH_3CH_2Br$ والضوء والمواد الآتية: $K_2Cr_2O_7\ ,\ KOH\ ,\ H_2SO_4\ ,\ Br_2$

الحلّ:

المركب CH_3COOCH_3؛ هو إستر ينتج من تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول في وسط حمضي، وبالتدقيق في صيغته؛ يمكن تحديد الجزء المشتق من الحمض والجزء المشتق من الكحول كما يأتي:

$$CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O\,CH_3$$

الجزء المشتق من الحمض الكربوكسيلي — الجزء المشتق من الكحول

ألاحظ أن الجزء المشتق من الحمض يتكون من ذرتي كربون؛ ولذلك أستخدم المركب CH_3CH_2Br، لتحضير الحمض الكربوكسيلي CH_3COOH، بينما يتكون الجزء المشتق من الكحول من ذرة كربون واحدة؛ فأستخدم المركب CH_4، لتحضير الكحول، والمعادلات الآتية توضح ذلك:

أفاعل بروميد إيثان CH_3CH_2Br، مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، فينتج الإيثانول CH_3CH_2OH، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Br + KOH \longrightarrow CH_3CH_2OH + KBr$$

ثم تجري أكسدة الإيثانول CH_3CH_2OH، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$، في وسط حمضي، وينتج حمض الإيثانويك CH_3COOH، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow{K_2Cr_2O_7\backslash H^+} CH_3COOH$$

ثم يجري تحضير الميثانول CH_3OH، من الميثان CH_4 كما يأتي:

أفاعل الميثان CH_4، مع البروم بوجود الضوء؛ فينتج بروميثان CH_3Br، كما يأتي:

$$\underset{\text{بروميثان}}{CH_3Br} + HBr \xleftarrow{\text{ضوء}} CH_4 + Br_2$$

ثم أفاعل بروميثان CH_3Br، مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH؛ فينتج الميثانول CH_3OH، كما في المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{الميثانول}}{CH_3OH} + KBr \longleftarrow CH_3Br + KOH$$

بعدها أفاعل الميثانول CH_3OH، مع حمض الايثانويك CH_3COOH، في وسط حمضي، وينتج الإستر CH_3COOCH_3؛ كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}OH + CH_3OH \underset{}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}OCH_3 + H_2O$$

✓ **أتحقَّق:** أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير إيثانوات الإيثيل $CH_3COOCH_2CH_3$؛ بدءًا من الإيثانال CH_3CHO، وباستخدام المواد الآتية: $K_2Cr_2O_7/H^+$, H_2SO_4 مركز , Ni, H_2

التجربةُ 2

تحضير الإستر

الموادُّ والأدوات:

أنبوب اختبار، كأس زجاجية 250 mL، كأس زجاجية 50 mL، سخان كهربائي، مخبار مدرج، حامل أنابيب، قطارة، ماسك انابيب، محلول حمض الكبريتيك المركّز H_2SO_4، حمض الإيثانويك المركز CH_3COOH، الإيثانول CH_3CH_2OH.

إرشاداتُ السلامة:

- أتّبع إرشادات السلامة العامّة في المختبر.
- أرتدي معطفَ المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- أحذر استنشاق الحموض أو لمسها باليد فهي مواد كاوية.

خطواتُ العمل:

1- أضع 200 mL من الماء في الكأس الزجاجية ذات السعة 250 mL، وأضعها على السخان الكهربائي وأبدأ عملية التسخين.

2- **أقيس:** أستخدمُ المخبار المُدَرَّج في قياس 5 mL من محلول حِمض الإيثانويك؛ ثم أضعُها في أُنبوب الاختبار.

3- **أقيس:** أستخدمُ المخبار المُدَرَّج في قياس 5 mL من محلول الإيثانول، ثم أضيفها إلى حمض الإيثانويك في أُنبوب الاختبار.

4- أضيف –باستخدام القطارة– ثلاث قطرات من حمض الكبريتيك إلى الخليط في أنبوب الاختبار.

5- **أُلاحظ:** أمسك أنبوب الاختبار بالماسك وأغمسه داخل الكأس الزجاجية الموجودة على السخان الكهربائي، وأنتظر حتى غليان الخليط، ما الرائحة الناتجة؟

6- أرفع أنبوب الاختبار من الكأس الزجاجية عندما يبدأ الماء بالغليان، وأضعه على حامل الأنابيب.

التحليلُ والاستنتاج:

1. أكتب معادلة التفاعل التي تحدث بين حمض الإيثانويك والإيثانول.
2. أسمّي الإستر الناتج.

مراجعة الدرس

1- **الفكرة الرئيسة**: أوضّح أهمية تحضير المركبات العضوية في المختبر.

2- **أوضّح** المقصود بتفاعل التكسير الحراري.

3- **أصمّم** مخططًا يبيّن سلسلة التفاعلات المستخدمة في تحضير الإيثانول CH_3CH_2OH؛ باستخدام الإيثان CH_3CH_3.

4- أكتب معادلة تحضير الإيثانول CH_3CH_2OH، صناعيًّا من تخمّر سكر الغلوكوز.

5- أكتب معادلة التحضير الصناعي للإيثانال CH_3CHO.

6- أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير البروبانون CH_3COCH_3؛ باستخدام 1− كلوروبروبان $CH_3CH_2CH_2Cl$؛ والمواد الآتية: H_2O , $K_2Cr_2O_7/H^+$, $NaOH$, H_2SO_4 مركز.

7- أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2− بيوتانول $CH_3\underset{\underset{OH}{|}}{C}HCH_2CH_3$؛ باستخدام الايثانول CH_3CH_2OH، ومستعيناً بالمواد الآتية:

إيثر، Mg , HBr , PCC/CH_2Cl_2

8- أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2− ميثيل −2− بيوتانول $CH_3\underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}CH_2CH_3$ إذا توافرت المواد الآتية في المختبر:

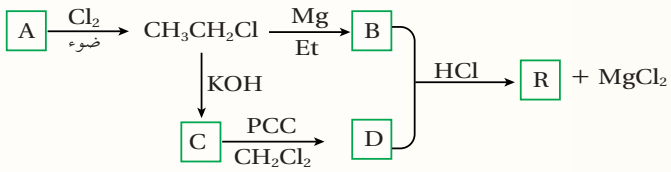
الإيثين $CH_2=CH_2$، البروبين $CH_3CH=CH_2$، إيثر، $K_2Cr_2O_7/H^+$, H_2O , H_2SO_4 , Mg , HBr

9- أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير بروبانوات الميثيل $CH_3CH_2COOCH_3$؛ اذا توافر في المختبر كلّ من: الميثان CH_4، والبروبانال CH_3CH_2CHO، الضوء، والمواد الآتية:

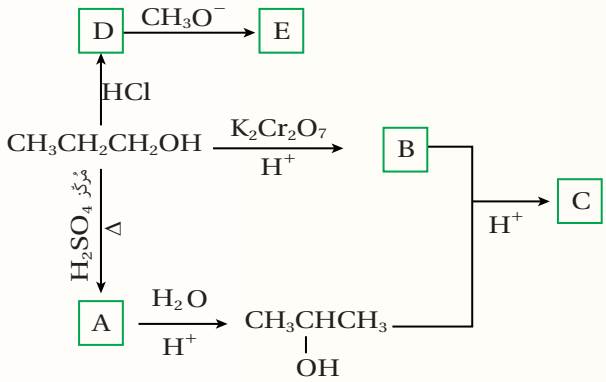
مركز H_2SO_4 , $K_2Cr_2O_7/H^+$, Cl_2 , $NaOH$

10- **أستنتج**: مركب عضوي A؛ يتكون من ثلاث ذرات كربون، يتفاعل مع الصوديوم مطلقًا غاز الهيدروجين H_2، وعند أكسدته باستخدام دايكرومات البوتاسيوم في وسط حمضي $(K_2Cr_2O_7/H^+)$؛ يتنتج مركبًا عضويًّا B، حيث يتفاعل مع كربونات الصوديوم Na_2CO_3، ويطلق غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، وعند تسخين مزيج من المركبين A, B؛ ينتج مركبًا عضويًّا C؛ ذا رائحة تشبه رائحة الفواكه، أستنتج الصيَغ البنائية للمركبات A, B , C.

11- أدرس المخطط الآتي، وأستنتج صيغ المركبات العضوية: A ، B ، C ، D ، R.



12- أدرس المخطط الآتي وأكتب الصيغ العضوية لكل من المركبات : A ، B ، C ، D ، E.



13- أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة في ما يأتي:

1. يُحضّر المركب CH_3COOCH_3؛ من تفاعل المركبين الآتيين:

أ . CH_3COONa/CH_3OH.
ب. CH_3CHO/CH_3OH.
جـ. CH_3COOH/CH_3OH.
د . CH_3COOH/CH_3ONa.

2. يُحضّر المركب $CH_3CH=CH_2$؛ بإحدى الطرق الآتية:

أ . طريقة التكسير الحراري.
ب. اختزال الكيتون.
جـ. هدرجة الألكان.
د . الاستبدال في الكحول.

3. يُحضّر المركب CH_3OCHCH_3 (مع CH_3 على CH)؛ مباشرة من تفاعل المركبين:

أ . CH_3Cl/CH_3CHONa (CH_3 على CH).
ب. CH_3OH/CH_3CHCl (CH_3 على CH).
جـ. $CH_3Cl/CH_3CH_2CH_2ONa$.
د . CH_3OH/CH_3CHONa (CH_3 على CH).

4. سلسلة التفاعلات الصحيحة لتحضير المركب CH_3CHO، بدءًا من CH_3CH_3 هي:

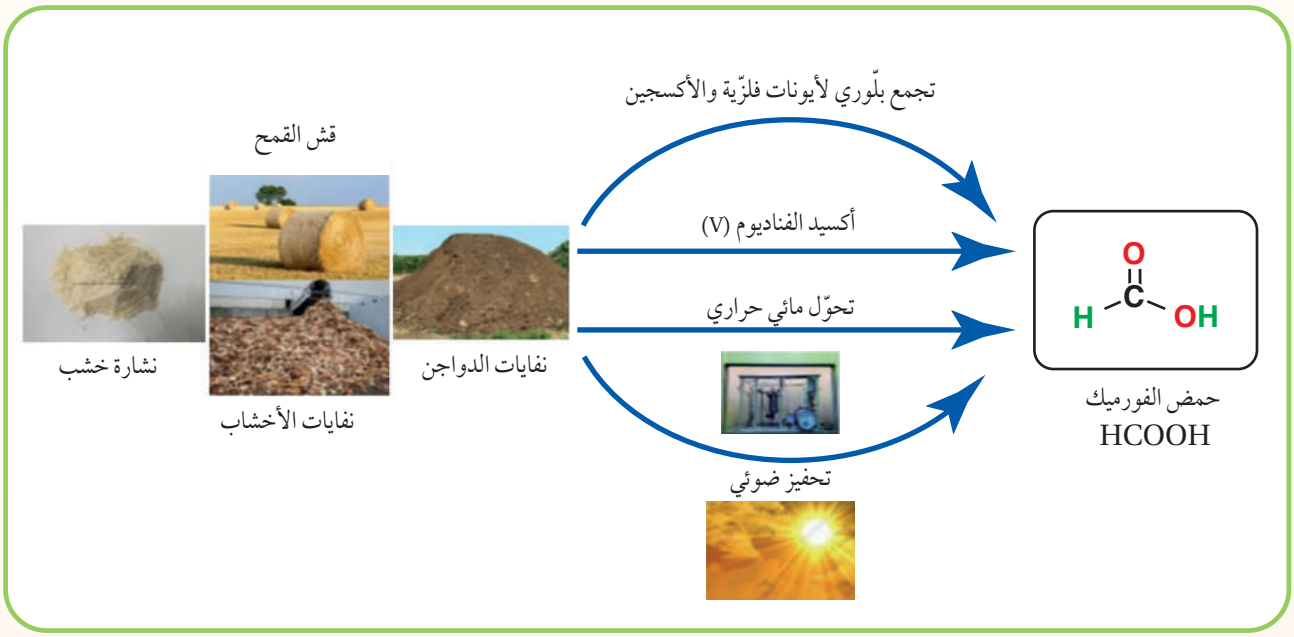
أ . استبدال – إضافة – أكسدة.
ب. استبدال – استبدال – اختزال.
جـ. إضافة – استبدال – اختزال.
د . استبدال – استبدال – أكسدة.

تحضير حمض الفورميك من أكسدة الكتلة الحيوية
Preparation of Formic Acid from Biomass Oxidation

يعدّ حمض الفورميك أو حمض الميثانويك HCOOH، من المواد الكيميائية المهمة في صناعات متعددة منها؛ صناعة المنسوجات، والأدوية، والمواد الكيميائية الغذائية، وصناعة الجلود، والدباغة، ويستخدم مادةً حافظةً ومضادة للجراثيم في أعلاف الماشية. وكذلك يتوقع أن يصبح حمض الفورميك مصدرا لوقود الهيدروجين؛ إذ يمكن الحصول على حوالي 100% من الهيدروجين المخزّن فيه لاستخدامه في خلايا الوقود.

ويحضر حمض الفورميك بعدة طرائق؛ وأكثرها شيوعا التحلّل المائي لميثانوات الميثيل، حيث يجري تحضيره صناعيًّا بتفاعل أول أكسيد الكربون مع الميثانول بوجود ميثوكسيد الصوديوم كعامل مساعد ودرجة حرارة 80 سيليسية وضغط 60 جوي مكونًا ميثانوات الميثيل، وبعد ذلك تتحلّل ميثانوات الميثيل في الماء لينتج حمض الميثانويك وكحول الميثانول، ويفصل الحمض، ثم يعاد استخدام الميثانول مرة أخرى لتكوين ميثانوات الميثيل، وهكذا.

أما في الوقت الحاضر؛ فهناك دراسات متعددة تركز على الكتلة الحيوية Biomass، بوصفها مصدرًا للحصول على حمض الفورميك؛ نظرا لوفرتها وتدني تكلفتها. يطلق مصطلح الكتلة الحيوية على المخلفات العضوية للمحاصيل المختلفة، مثل قشّ القمح، ومخلفات الأخشاب، ونشارة الخشب، ومخلفات الدواجن.



حيث تجري أكسدة الكتلة الحيوية تحت ظروف مختلفة كما في الشكل، فتتحلّل وتتحول إلى حمض الفورميك؛ بوجود فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، والأكسجين O_2، بوصفهما عاملان مؤكسدان.

مراجعةُ الوحدةِ

1 . أوضّح المقصود: أ. التصبن ب. الإضافة الإلكتروفيلية

2 . أكتب معادلات كيميائية توضح الحالات الآتية:

أ - إضافة الهيدروجين إلى 1– هكسين $CH_3(CH_2)_3CH=CH_2$ بوجود العامل المساعد Ni.

ب - إضافة الكلور Cl_2 الى 2– بيوتين $CH_3CH=CHCH_3$.

جـ- إضافة الماء إلى 1– بنتين $CH_3CH_2CH_2CH=CH_2$؛ بوجود حمض H_3PO_4 المركّز.

د - إضافة كمّية وافرة من كلوريد الهيدروجين الى 1– بيوتاين $CH_3CH_2C\equiv CH$.

هـ - إضافة الهيدروجين إلى البيوتانال $CH_3CH_2CH_2CHO$؛ بوجود العامل المساعد Ni.

و - إضافة إيثيل بروميد المغنيسيوم CH_3CH_2MgBr ، إلى بروبانال CH_3CH_2CHO، ثم التفاعل مع حمض HBr.

ز - تسخين 2– بنتانول $CH_3\,CH_2\,CH_2\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}\,CH_3$؛ مع حمض H_2SO_4 المركّز.

ح - تسخين 2– برومو –2– ميثيل بيوتان $CH_3CH_2\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{\displaystyle Br}{\overset{|}{C}}}}CH_3$، مع محلول مركز من NaOH.

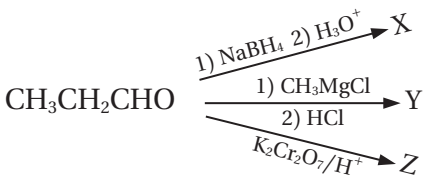
ط - تفاعل حمض البيوتانويك $CH_3CH_2CH_2COOH$ مع $LiAlH_4/Et$، ثم إضافة محلول مخفّف من H_2SO_4.

3 . تم أكسدة مركبين كحوليين أحدهما أوليّ والآخر ثانوي؛ باستخدام PCC/CH_2Cl_2، عاملًا مؤكسدًا، كيف يمكن استخدام محلول تولينز لتحديد أيّ الكحولين هو الكحول الأولي؟

4 . إستر أعطي الرمز الإفتراضي A صيغته الجزيئية $C_6H_{12}O_2$؛ تكوّن من تفاعل الحمض الكربوكسيلي B والكحول C، بوجود عامل مساعد مناسب؛ فإذا كانت الصيغة البنائية للكحول C هي: $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$.

أكتب معادلة كيميائية توضح تَكوُن الأستر A، مبيّنًا الصيغ البنائية للإستر A، والحمض الكربوكسيلي B، والعامل المساعد المستخدم.

5 . يمكن للبروبانال CH_3CH_2CHO أن يتحول إلى ثلاثة مركبات عضوية مختلفة عن طريق التفاعلات الآتية:

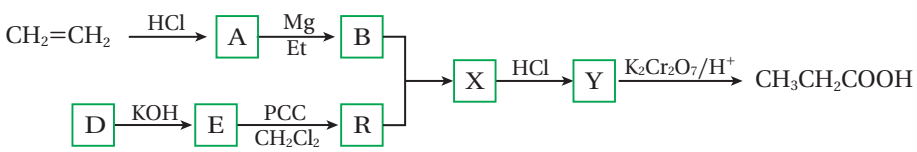


أ - أكتب الصيغة البنائية لكلٍّ من X، Y، Z.

ب - أحدد نوع التفاعل الذي يُكوِّن المركب X.

جـ- أكتب معادلة التفاعل بين Y و Z بوجود حمض H_2SO_4.

6 . **أستنتج**: أدرس المخطط الآتي وأستنتج صيغ المركبات العضوية المشار اليها بالرموز: A , B , D , E , R, X , Y



7 . **أستنتج**: مركب عضوي A يتكون من اربع ذرات كربون؛ عند تسخينه مع محلول NaOH، يتكون المركبين C و D، يتفاعل المركب C مع الحمض HCl ينتج المركب B الذي يتفاعل مع كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$؛ مطلقًا غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، وعند أكسدة المركب D، باستخدام PCC/CH_2Cl_2؛ ينتج مركب عضوي R، لا يستجيب لتفاعل تولنز، أما عند تسخين المركب D مع محلول حمض الفسفوريك H_3PO_4؛ ينتج مركب عضوي Y، يزيل لون محلول البروم. **أستنتج** الصيغ العضوية للمركبات A, B , C, D, R, Y

8 . **أستنتج**: مركب عضوي A، يتكون من ثلاث ذرات كربون، يتفاعل مع الصوديوم منتجاً المركب B ومطلقاً غاز الهيدروجين H_2، وعند أكسدته باستخدام $(K_2Cr_2O_7/H^+)$؛ ينتج مركبًا عضويًّا C، الذي يتفاعل مع كربونات الصوديوم Na_2CO_3، ويطلق غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، وعند تفاعل A مع محلول مركز من HCl ينتج مركب عضوي D، الذي يتفاعل مع المركب B ينتج المركب E، **أستنتج** الصيغ العضوية للمركبات A, B , C, D, E.

9 . أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 3– بنتانول $CH_3CH_2CHOHCH_2CH_3$، إذا توافر في المختبر المواد الآتية: الإيثين $CH_2=CH_2$، 1– كلوروبروبان $CH_3CH_2CH_2Cl$، الإيثر، PCC/CH_2Cl_2، HBr, NaOH, Mg,

10. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2– بيوتين $CH_3CH=CHCH_3$، إذا توافر في المختبر: الإيثان CH_3CH_3، مصدر حرارة، الضوء ، الايثر، PCC/CH_2Cl_2 , Br_2, H_2SO_4, Mg , NaOH , HBr

11. **أختارُ الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:**

1 . مركب الألكوكسيد المستخدم في تكوين الإيثر $CH_3CH_2O\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}HCH_3$ هو:

أ) $CH_3\overset{\overset{ONa}{|}}{C}HCH_3$. ب) $CH_3CH_2CH_2ONa$. جـ) $CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{C}HCH_3$. د) CH_3CH_2ONa.

2 . يُحضّر المركب CH_3CH_2ONa من تفاعل:

أ) CH_3COOH مع Na. ب) CH_3CH_2OH مع Na.

جـ) CH_3CH_2OHمع NaOH. د) CH_3CH_3 مع NaOH.

3 . عند تسخين المركب $CH_3CHOHCH_3$، مع حمض الكبريتيك المركز ينتج:

أ) CH_3COCH_3. ب) $CH_3CH=CH_2$. جـ) $CH_3CHBrCH_3$. د) CH_3CH_2CHO.

4 . ينتج عن إضافة HBr إلى $CH_3CH=CH_2$، المركب:

أ) $CH_3CHOHCH_3$. ب) $CH_3CH_2CH_3$. جـ) $CH_3CHBrCH_3$. د) CH_3COCH_3.

5 . يستخدم محلول البروم للتمييز بين:

أ) الألكان والألكين. ب) الألكان والكحول. جـ) الألديهايد والكيتون. د)الألكان والكيتون.

6 . عند إضافة (H_2O) إلى ($CH_3\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}=CH_2$) في وسط حمضي ينتج:

أ) $CH_3\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}\overset{OH}{\overset{|}{C}}H_3$ ب) $CH_3\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}HCH_3$ جـ) $CH_3-\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}HCH_2OH$ د) $CH_3-\overset{CH_3}{\overset{|}{\underset{Cl}{\underset{|}{C}}}}-CH_3$

7 . صيغة المركب A في التفاعل: $A + 2HI \rightarrow CH_3CI_2CH_3$ ؛ هي:

أ) $CH_3C\equiv CH$ ب) $CH_3CH_2CI_2$ جـ) $CH_3CHICHI$ د) $CH_3CH=CH_2$

8 . المركب الذي لا يحدث له تفاعل إضافة:

أ) CH_3CH_2OH ب) $CH_2=CH_2$ جـ) $CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$ د) $CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$

9 . ناتج التفاعلين الآتيين هو:

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H + \overset{1.\ CH_3MgCl}{2.\ HCl}\longrightarrow$$

أ) CH_3CH_3 ب) CH_3COOH جـ) $CH_3CHOHCH_3$ د) $CH_2=CH_2$

10. ناتج التفاعل الآتي هو:

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3 + H_2 \xrightarrow{Pt}$$

أ) $CH_3CH_2CH_2OH$ ب) $CH_3CH_2CH_2Br$ جـ) $CH_3CHOHCH_3$ د) $CH_3CH=CH_2$

11. مركب عضوي صيغته C_3H_8O، يجري سلسلة من التفاعلات العضوية ،كما في المخطط الآتي، علمًا بأن المركب العضوي A يتفاعل مع محلول تولنز. فإن الصيغة البنائية للمركب C_3H_8O هي:

$$C_3H_8O \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} \boxed{A} \xrightarrow[HCl]{CH_3MgCl} \boxed{B} \xrightarrow[\text{تسخين}]{\text{مركز } H_2SO_4} \boxed{C}$$

أ) $CH_3CH_2CH_2OH$ ب) $CH_3\overset{OH}{\overset{|}{C}}HCH_3$

جـ) $CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$ د) $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}H$

12. الصيغة البنائية للمركب العضوي C، في سلسلة التفاعلات العضوية السابقة هي:

أ) $CH_3CH=CHCH_3$ ب) $CH_3\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}=CH_2$

جـ) $CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_3$ د) $CH_3CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}H$

13. يُحضّر الألديهايد بإحدى الطرق الآتية:
أ) أكسدة كحول ثانوي باستخدام $K_2Cr_2O_7/H^+$.
ب) اختزال كحول ثانوي باستخدام $K_2Cr_2O_7/H^+$.
جـ) أكسدة كحول اولي باستخدام PCC/CH_2Cl_2.
د) إضافة H_2O إلى الألكين بوجود H_2SO_4.

14. يُحضّر ثنائي ايثيل ايثر $CH_3CH_2OCH_2CH_3$ صناعيًّا بإحدى الطرق الآتية:
أ) تسخين الايثانول CH_3CH_2OH مع هاليد الألكيل الأولي.
ب) تسخين هاليد الألكيل الأولي مع الكحول.
جـ) تفكّك الإستر في وسط قاعدي.
د) تسخين الايثانول CH_3CH_2OH مع حمض الكبريتيك المركز.

15. في التفاعل الآتي: $A + X \rightarrow CH_3CH_2CH_2Br + H_2O$؛ فإن الصيغة الكيميائية لكل من A و X، هي:
أ) $CH_2=CHCH_3/HBr$.
ب) $CH_3CH_2CH_3/HBr$.
جـ) $CH_3CH_2CH_2OH/Br_2$.
د) $CH_3CH_2CH_2OH/HBr$.

16. سلسلة التفاعلات الصحيحة لتحضير المركب CH_3COCH_3 بدءًا من 1– كلورو بروبان $CH_3CH_2CH_2Cl$ هي:
أ) استبدال – استبدال – أكسدة.
ب) استبدال – حذف– إضافة – أكسدة.
جـ) استبدال – إضافة – حذف – أكسدة.
د) استبدال – حذف– إضافة – اختزال.

17. يُحضّر حمض الإيثانويك CH_3COOH صناعيًّا بإحدى الطرائق الآتية:
أ) هدرجة أول أكسيد الكربون CO.
ب) تفاعل الإيثانول CH_3CH_2OH مع أول أكسيد الكربون CO.
جـ) تفاعل الميثانول CH_3OH مع أول أكسيد الكربون CO.
د) أكسدة الإيثانول CH_3CH_2OH باستخدام PCC؛ بوجود CH_2Cl_2.

18. صيغة المركب العضوي الذي لا يتأكسد هي:
أ) $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$.
ب) $CH_3CH_2CH_2CHO$.
جـ) $CH_3CH_2CHOHCH_3$.
د) $CH_3COCH_2CH_3$.

19. يمكن تحضير المركب 1– بيوتانول $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ بخطوة واحدة؛ باستخدام أحد المركبات الآتية:
أ) $CH_3CH_2CH=CH_2$.
ب) $CH_3CH_2CH_2CH_2Cl$.
جـ) $CH_3CH_2CHOHCH_3$.
د) $CH_3CH_2CH_2OCH_3$.

20. المركب الذي يختزل فقط باستخدام $LiAlH_4/Et$، ثم إضافة محلول مخفف من حمض H_2SO_4 هو:
أ) $CH_3CH=CH_2$.
ب) CH_3CHO.
جـ) CH_3COCH_3.
د) CH_3COOH.

مسردُ المصطلحات

- **سرعة التفاعل الكيميائي Rate of Chemical Reaction:** مقياس لمقدار التغير في كمية مادة متفاعلة أو كمية مادة ناتجة في فترة زمنية محددة.
- **سرعة التفاعل المتوسطة Mean Rate (S):** وهي التغير الكلّي لكمية المادة المتفاعلة أو الناتجة خلال الزمن المستغرق في ذلك.
- **سرعة التفاعل اللحظية Instantaneous Rate:** سرعة التفاعل عند أي لحظة زمنية.
- **رتبة التفاعل لمادة متفاعلة Reaction Order:** الأسّ المرفوع إليه تركيز المادة المتفاعلة في قانون سرعة التفاعل، ويبين أثر تغير تركيز مادة متفاعلة على سرعة التفاعل.
- **الرتبة الكلية للتفاعل Overall Reaction Order:** مجموع رتب المواد المتفاعل في قانون سرعة التفاعل.
- **السرعة الابتدائية Initial Rate:** سرعة التفاعل عند الزمن صفر؛ بدلالة التراكيز الابتدائية للمادة المتفاعلة.
- **نظرية التصادم Collision Theory:** يجب اصطدام جسيمات المواد المتفاعلة بعضها ببعض، وامتلاكها طاقة تصادم كافية لتكسير الروابط بينها.
- **التصادم الفعال Effective Collision:** التصادم الذي يمتلك طاقة كافية ويؤدي إلى حدوث التفاعل وتكوين النواتج.
- **المعقّد المنشّط Activated Complex:** حالة انتقالية غير مستقرة من تجمع الذرات، تمتلك أعلى طاقة، ويحدث فيها تكسير الروابط وتكوينها، وقد يؤدي إلى تكوين المواد الناتجة أو المواد المتفاعلة.
- **طاقة التنشيط Activation Energy:** الحدّ الأدنى من الطاقة الحركية التي تمتلكها الجسيمات المتفاعلة لتكسير الروابط بين الذرات؛ كي تبدأ التفاعل وتكوّن روابط جديدة.
- **العامل المساعد Catalyst:** مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي دون أن تستهلك أثناء التفاعل.
- **تفاعل الإضافة Addition Reaction:** تفاعل بين جزيئين لتكوين جزيء واحد جديد. ويتضمن ذلك أن يحتوي أحد الجزيئين المتفاعلين الرابطةَ الثنائية أو الثلاثية
- **تفاعل الحذف Elemenation Reaction:** هو حذف جزيء هاليد الهيدروجين من هاليد الأكيل بالتسخين مع قاعدة قوية، وحذف جزيء الماء من الكحول؛ بالتسخين مع حمض الكبريتيك أو حمض الفسفوريك المركّز؛ فيتنج عن كلا الحالتين الألكين المقابل.
- **نيوكليوفيل Nucleophile:** جزيء متعادل أو أيون سالب مثل OH^- أو RO^- يمتلك زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة، وينجذب للطرف الموجب للرابطة القطبية ويرتبط معه. ويوصف بأنه محب للشحنة الموجبة.
- **إلكتروفيل Electrophile:** الأطراف الموجبة للجزيئات وهي أطراف محبة للإلكترونات تنجذب إلى منطقة الكثافة الإلكترونية السالبة؛ وذلك لحاجتها إلى زوج إلكترونات.

- **إضافة إلكتروفيلية Electrophilic Addition:** انجذاب إلالكتروفيل إلى إلكترونات الرابطة π من الرابطة الثنائية في الألكين.

- **قاعدة ماركوفينيكوف Markovnikov,s Rule:** عند إضافة هاليد الهيدروجين HX إلى ألكين غير متماثل؛ فإن ذرة الهيدروجين ترتبط بذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين.

- **إضافة نيوكليوفيلية Nucleophilic Addition:** انجذاب النيوكليوفيل إلى ذرة الكربون الموجبة في مجموعة الكربونيل في الألديهايد أو الكيتون.

- **تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions:** تفاعل تحلّ فيه ذرة أو مجموعة ذرات محل ذرة أو مجموعة ذرات أخرى في المركب العضوي.

- **جذر حر Free Radical:** ذرة أو مجموعة ذرات تمتلك إلكترونًا منفردًا، مما يجعله شديد النشاط.

- **استبدال نيوكليوفيلي Nucleophilic Substitution:** تفاعل يرتبط فيه النيوكليوفيل الذي يمتلك زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة مع ذرة الكربون التي تحمل شحنة جزئية موجبة في المركب العضوي، بحيث يحل محل ذرة أو مجموعة ذرات فيه.

- **تفاعل الأسترة Esterification:** تفاعل الحموض الكربوكسيلية مع الكحولات بوجود عامل مساعد، مثل حمض الكبريتيك المركّز لتكوين الإسترات.

- **التصبن Saponification:** تفاعل تفكك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية، مثل NaOH، منتجًا الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي.

- **عملية التكسير الحراري Thermal Cracking:** عملية كيميائية يجري فيها تكسير مركبات الهيدروكربون ذات السلاسل الطويلة إلى مركبات ذات سلاسل أصغر.

قائمةُ المراجع

أولًا- المراجعُ العربية:

- خليل حسام ، **موسوعة الكيمياء الشاملة**، دار أسامة للنشر، ج2، 2009.
- محمد إسماعيل الدرملي، **الدليل في الكيمياء: الكيمياء العامة؛ ماهيتها، عناصرها**، دار العلم والإيمان، ودار الجديد للنشر والتوزيع، 2018.

ثانيًا- المراجعُ الأجنبية:

- Brady, Russell, Holum, **Chemistry Matter and its Change**, 3rd Ed, Wiley,2000.
- Brown, A.H., & Green T.D., **The essentials of instructional design: Connecting fundamental principles with process and practice**. Routledge. (2015).
- Ebbing ,Gammon, **General Chemistry**, 11th Ed, Houghton Mifflin Company, 2017.
- Harper Collins, Collins International GCSE, **Chemistry**, Cambridge UK, 2014.
- Harper Collins, Collins A & As, **Chemistry**, Cambridge UK, 2014.
- Lawrie Rayan, **Advanced Chemistry for You**, Nelson Thornes Ltd, 2012.
- McMurry, John, **Organic Chemistry**, Thomson learnig, 2016.
- Myers, Thomas, Oldham, **Chemistry**, Online Ed, Holt, Rinehart Winston, 2006.
- Raymond Change, **Chemistry**, 10th Edition, Singapore,2010.
- Sarquis Mickey, Jerry, **Modern Chemistry**.Houghton Mifflin Harcourt,2017.
- Solomons.T.W.Graham, Fryhle B. Craig, Snyder A. Scott, **Organic Chemistry**, 11th Ed, John Wiley & Sons Inc.2014.
- Staley, Matta, Waterman,**Chemistry**. 2017, Pearson Education
- Winter, Mark J, **Chemical Bonding** , Oxford 2004 .
- Zumdal Stevens,**Chemistry**,20th Ed,Boston, NewYork, 2018 .