

الكيمياء

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الثاني

كتاب الطالب

12

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

بلال فارس محمود تيسير أحمد الصبيحات

جميلة محمود عطية

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

📌 @nccdjo @ feedback@nccd.gov.jo 🌐 www.nccd.gov.jo

قرّرت وزارة التربية والتعليم تدرّيس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2025/7)، تاريخ 2025/9/15 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2025/163)، تاريخ 2025/10/15 م، بدءاً من العام الدراسي 2025 / 2026 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2025.

- 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 - 796 - 6

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2025/1/380)

بيانات الفهرسة الأولية للكتاب:

| | |
|---|--|
| عنوان الكتاب | الكيمياء، كتاب الطالب: الصف الثاني عشر، المسار الأكاديمي، الفصل الدراسي الثاني |
| إعداد / هيئة | الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج |
| بيانات النشر | عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج، 2025 |
| رقم التصنيف | 373,19 |
| الوصفات | / الكيمياء // أساليب التدريس // المناهج // التعليم الثانوي / |
| الطبعة | الطبعة الأولى |
| يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه، ولا يعبر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية. | |

المراجعة والتعديل

تيسير أحمد الصبيحات جميلة محمود عطية د. فداء فايز العضيلة

المراجعة التربوية

أ.د. عبدالسلام موسى العديلي

التصميم والإخراج

نايف محمد أمين مرashedة

التحرير اللغوي

محمد صالح شنيور

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.

1447 هـ / 2025 م



الطبعة الأولى (التجريبية)

قائمة المحتويات

| الموضوع | الصفحة |
|--|------------|
| المقدمة | 4 |
| الوحدة الخامسة: الكيمياء الحركية | 5 |
| التجربة الاستهلاكية: مفهوم سرعة التفاعل الكيميائي | 7 |
| الدرس الأول: سرعة التفاعلات الكيميائية | 8 |
| الدرس الثاني: قوانين سرعة التفاعلات | 21 |
| الدرس الثالث: نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل | 32 |
| الإثراء والتوسّع: تقليل تلف الأطعمة | 47 |
| مراجعة الوحدة | 48 |
| الوحدة السادسة: الكيمياء الكهربائية | 51 |
| التجربة الاستهلاكية: تفاعل بعض الفلزّات مع حمض الهيدروكلوريك HCl | 53 |
| الدرس الأول: التأكسد والاختزال | 54 |
| الدرس الثاني: الخلايا الجلفانية | 73 |
| الدرس الثالث: خلايا التحليل الكهربائي | 99 |
| الإثراء والتوسّع: إعادة تدوير البطاريات | 109 |
| مراجعة الوحدة | 110 |
| الوحدة السابعة: الكيمياء العضوية | 115 |
| التجربة الاستهلاكية: الكشف عن المجموعات الوظيفية في بعض المركبات العضوية | 117 |
| الدرس الأول: تفاعلات المركبات العضوية؛ الإضافة والحذف | 118 |
| الدرس الثاني: تفاعلات الاستبدال والتأكسد والاختزال | 133 |
| الدرس الثالث: تحضير المركبات العضوية | 150 |
| الإثراء والتوسّع: تحضير حمض الفورميك من أكسدة الكتلة الحيوية | 177 |
| مراجعة الوحدة | 178 |
| مسرد المصطلحات | 182 |

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، وبعد؛ فانطلاقاً من إيمان المملكة الأردنية الهاشمية الراسخ بأهمية تنمية قدرات الإنسان الأردني وتسليحه بالعلم والمعرفة، سعى المركز الوطني لتطوير المناهج، بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم، إلى تحديث المناهج الدراسية وتطويرها؛ لتكون معيّنًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجارة أقرانهم في الدول المتقدمة.

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

وقد جاء هذا الكتاب مُحَقَّقاً لمضامين الإطار العام للمناهج الأردنية والإطار الخاص لمبحث العلوم، ومعاييرها، ومؤشرات أدائها المتمثلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الحادي والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعَتِّز في الوقت نفسه- باتنائه الوطني. وتأسيساً على ذلك، فقد اعتمدت دورة التعلّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطلبة الدور الأكبر في العملية التعلّمية التعليمية، وتوفّر لهم فرصاً عديدة للاستقصاء، وحلّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلاً عن اعتماد منحنى STEAM في التعليم الذي يُستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

يتألّف الكتاب من ثلاث وحدات دراسية، هي: الكيمياء الحركية، والكيمياء الكهربائية، والكيمياء العضوية. أُحِقَّ بكتاب الكيمياء كتابٌ للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعد الطلبة على تنفيذها بسهولة، وذلك اعتماداً على منحنى STEAM في بعضها، بدءاً بعرض الأساس النظري لكل تجربة، وبيان خطوات العمل وإرشادات السلامة، وانتهاءً بأسئلة التحليل والاستنتاج. وتضمّن الكتاب أيضاً أسئلة تفكير متنوعة؛ بُغْيَة تعزيز فهم موضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد.

ونحن إذ نُقدِّم هذه الطبعة من الكتاب، فإننا نأمل أن يسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية الطالب/ الطالبة، وتنمية اتجاهات حبّ التعلّم ومهارات التعلّم المستمر، فضلاً عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملاحظات المعلمين والمعلمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الكيمياء الحركية

Kinetic Chemistry

الوحدة

5

منهاجي
متعة التعليم الهادف



أتأملُ الصورة

تتفاوت التفاعلات الكيميائية في زمن حدوثها، وتختلف سرعاتها تبعًا لذلك؛ فالصوديوم يتفاعل بسرعة كبيرة مع الماء كما يظهر في الصورة. هذه المشاهدات 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 الكيميائية في سرعة حدوثها؟ وما العوامل المؤثرة فيها؟

الفكرة العامة:

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

الدرس الأول: سرعة التفاعلات الكيميائية.

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

الدرس الثاني: قوانين سرعة التفاعلات.

الفكرة الرئيسية: يصف قانون سرعة التفاعل الكيميائي العلاقة بين سرعة التفاعل وتركيز المواد المتفاعلة؛ مرفوعة لأسس محددة يجري التوصل إليها بالتجربة العملية.

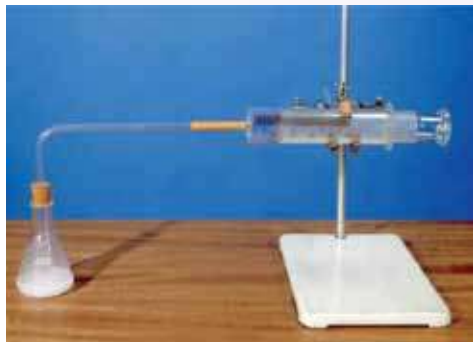
الدرس الثالث: نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.

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

تجربة استهلاكية

مفهوم سرعة التفاعل الكيميائي

المواد والأدوات: دورق مخروطي حجمه 250 mL، مخبر مُدرَّج، حمض الهيدروكلوريك تركيزه 0.1 M، كربونات الكالسيوم CaCO_3 ، ميزان حساس، محقن غاز، أنبوب زجاجي، سدادة مطاطية، ساعة إيقاف.



إرشادات السلامة:

- اتباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والقفازات والنظارات الواقية.
- الحذر من لمس حمض الهيدروكلوريك.

خطوات العمل:

- 1 أقيس باستخدام الميزان الحساس 2 g من CaCO_3 وأضعها في الدورق المخروطي.
- 2 أقيس باستخدام المخبر المُدرَّج 100 mL من حمض HCl تركيزه 0.1 M وأضعها في الدورق المخروطي.
- 3 أثبت السدادة المتصلة بالأنبوب الزجاجي والمحقن (كما في الشكل) بسرعة، وأشغل ساعة الإيقاف.
- 4 أراقب حركة مكبس المحقن، وأسجل حجم الغاز فيه كل 15 s، وأسجل ملاحظاتي.
- 5 أنظّم ملاحظاتي في جدول البيانات الآتي:

| الزمن (s) | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 |
|----------------------------|---|----|----|----|----|
| حجم غاز CO_2 (mL) | 0 | | | | |

التحليل والاستنتاج:

- 1- كيف أستدل على حدوث تفاعل كيميائي؟
- 2- أكتب معادلة كيميائية متوازنة للتفاعل الكيميائي.
- 3- أستنتج التغير في حجم غاز CO_2 خلال التفاعل الكيميائي مع الزمن.

مفهوم سرعة التفاعل Concept of Reaction Rate

يهتم فرع الكيمياء الحركية بدراسة التغير في سرعة التفاعلات الكيميائية والعوامل المؤثرة فيها. وتوصف التفاعلات الكيميائية بأنها سريعة أو بطيئة؛ تبعاً للزمن المُستغرق في حدوثها، الذي يعتمد على خصائص المواد المتفاعلة وظروف التفاعل. يمكن وصف حركة الأجسام عن طريق سرعتها، فمثلاً: 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، وتسمى هذه السرعة المتوسطة. أما بالنسبة إلى التفاعل الكيميائي فإنه يمكن قياس زمن اختفاء إحدى المواد المتفاعلة أو ظهور إحدى المواد الناتجة، وبمعرفة كمية هذه المادة يمكن حساب سرعة تفاعلها.

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



الفكرة 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 سرعة التفاعل المتوسطة والابتدائية واللحظية من الرسم البياني.

نتائج التعلم:

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

المفاهيم والمصطلحات:

سرعة التفاعل الكيميائي

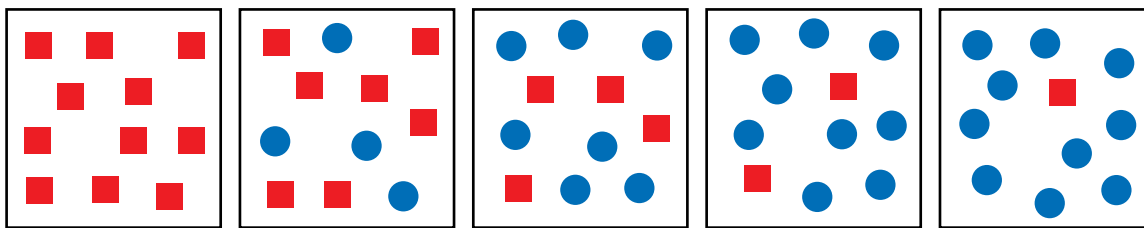
Rate of Chemical Reaction

Mean Rate السرعة المتوسطة

Initial Rate السرعة الابتدائية

Instantaneous Rate السرعة اللحظية

الشكل (1): احتراق الخشب.

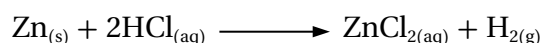


الشكل (2): تحول مادة متفاعلة إلى مادة ناتجة.

التفاعل الكيميائي

المادة المتفاعلة : ■
المادة الناتجة : ●

تتغير كميات المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في التفاعلات الكيميائية بمرور الزمن، ويوضح الشكل (2) تحول مادة متفاعلة إلى مادة ناتجة بمرور الزمن. ألاحظ أن كمية المادة الناتجة تزداد؛ في حين تقل كمية المادة المتفاعلة، ويُعبّر عن كمية المادة المتفاعلة أو الناتجة بدلالة التغير في الكتلة أو الحجم أو التركيز المولاري؛ وذلك لمعرفة سرعة التفاعل. فمثلاً: عندما يتفاعل فلزّ الخارصين Zn مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl وفق المعادلة الموزونة الآتية:



فإنّه يمكن حساب سرعة التفاعل الكيميائي -مثلاً- بدلالة التغير في كتلة الخارصين المستهلكة، أو بدلالة التغير في حجم غاز الهيدروجين الناتج. ولكن غالباً 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) بأنها التغير في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة خلال مدة زمنية محددة، ويُعبّر عنها بالمعادلة الرياضية الآتية:

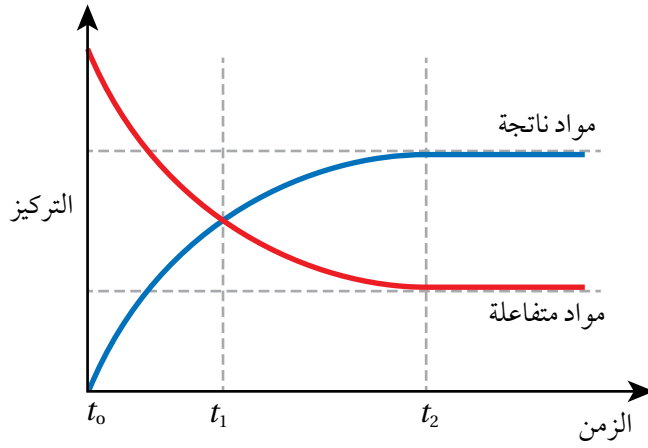
$$\text{سرعة التفاعل الكيميائي} = \frac{\text{التغير في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة}}{\text{التغير في الزمن}}$$

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

حيث يشير الرمز (Δ) إلى التغير.

حساب سرعة التفاعل Calculating the Reaction Rate

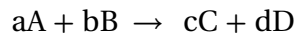
تُحسب سرعة التفاعل الكيميائي من التجربة العملية بدلالة نقصان تركيز إحدى المواد المتفاعلة، أو زيادة تركيز إحدى المواد الناتجة خلال مدة زمنية محددة.



الشكل (3): تغير تراكيز
المواد المتفاعلة والمواد
الناتجة مع الزمن.

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

فمثلاً: في التفاعل الكيميائي العام الآتي:



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 ، فمثلاً: يُعبّر عن سرعة استهلاك A كما يأتي:

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

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

أي أن:

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

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

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

وحيث إن المادة المتفاعلة تُستهلك بمرور الزمن؛ فإن مقدار تركيزها $[A]_2$ أقل من تركيزها $[A]_1$ ، مما يجعل ناتج العملية الحسابية قيمة سالبة، حيث يشير الناتج إلى مقدار التغير في التركيز وتشير الإشارة السالبة إلى تناقص التركيز، وبما أن سرعة التفاعل لا تكون سالبة، تُكتب الإشارة السالبة في القانون؛ حتى يكون ناتج سرعة التفاعل قيمة موجبة. ويُعبّر عن وحدة سرعة التفاعل بـ: (M/s) ، أو $(M \cdot s^{-1})$.

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



جسّد اكتشاف أحمد زويل، الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1999، ثورة في فهم التفاعلات الكيميائية، فقد تمكّن من تطوير تقنية ليزرية متطورة تتيح «تصوير» حركة الذرات داخل الجزيئات أثناء التفاعلات، وذلك على مقياس زمني بالغ القصّر، هو الفيمتوثانية (10^{-15} من الثانية).

تعتمد هذه التقنية على استخدام نبضات ليزر فائقة القصّر تسمح للمجرب بتتبع مسار التفاعل خطوة بخطوة، ورصد التغيرات التي تطرأ على الجزيء خلال أجزاء متناهية الصغر من الثانية.

وهو ما كشف عن تفاصيل دقيقة حول كيفية تكسّر الروابط الكيميائية وتكوين روابط جديدة. وقد مكّنت هذه التقنية العلماء من رؤية التفاعلات الكيميائية وكأنها فيلم يُعرض ببطء شديد. وقد كان لأبحاث زويل تأثير كبير على مجالات متنوعة، من الكيمياء والطب.



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

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

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

تكون قيمة $\Delta[C]$ موجبة؛ 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 معاملتهما في المعادلة الموزونة كما يأتي:

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

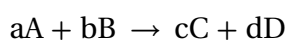
فمثلاً: يتضح من المعادلة $A \rightarrow 3C$ أن تكوين 3 mol من المادة C يتطلب استهلاك 1 mol من المادة A، لذا؛ تكون سرعة تكوين المادة C ثلاثة أضعاف سرعة استهلاك المادة A، أو سرعة استهلاك المادة A تساوي ثلث سرعة تكوين المادة C، ويُعبّر عن هذه العلاقة كما يأتي:

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

أي أن:

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

اعتمادًا على المعادلة الموزونة الآتية:



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 تغيّر تركيز كل منها في مدة زمنية محدّدة؛ وفق المعادلة الموزونة الآتية:



الحل:

$$-\frac{1}{4} \frac{\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t} = -\frac{1}{5} \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{6} \frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}]}{\Delta t} = \frac{1}{4} \frac{\Delta[\text{NO}]}{\Delta t}$$

المثال 2

يتفاعل غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 مع غاز الفلور F_2 لتكوين غاز فلوريد النتريل NO_2F ؛ وفق المعادلة الموزونة الآتية:



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 .

الحل:

$$R = - \frac{\Delta[\text{F}_2]}{\Delta t}$$

أكتب سرعة استهلاك F_2

$$R = \frac{\Delta[\text{NO}_2\text{F}]}{\Delta t}$$

أكتب سرعة تكوين NO_2F

$$- \frac{\Delta[\text{F}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NO}_2\text{F}]}{\Delta t}$$

أكتب العلاقة بين سرعة تكوين NO_2F واستهلاك F_2

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

المثال 3

يتحلل غاز هيدريد الفسفور PH_3 ، وفق معادلة التفاعل الآتية:



أحسب سرعة تكوين غاز الفسفور P_4 ، علماً أن سرعة تكوين غاز الهيدروجين تساوي 0.06 M/s

$$\frac{\Delta[\text{H}_2]}{\Delta t} = 0.06 \text{ M/s} \quad \text{المعطيات:}$$

المطلوب: حساب سرعة تكوين غاز الفسفور P_4

الحل:

أكتب العلاقة بين سرعة تكوين الفسفور P_4 وسرعة تكوين H_2

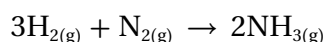
$$\frac{\Delta[\text{P}_4]}{\Delta t} = \frac{1}{6} \frac{\Delta[\text{H}_2]}{\Delta t}$$

أعوّض القيم:

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

$$= 0.01 \text{ M/s}$$

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



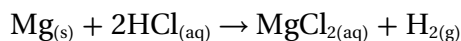
أحسب سرعة استهلاك غاز الهيدروجين، علماً أن سرعة إنتاج الأمونيا 0.16 M/s

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 يُبين التغير في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة خلال مدة زمنية معينة. فمثلاً: يتفاعل المغنيسيوم Mg مع حمض الهيدروكلوريك HCl، وينتج عن التفاعل غاز الهيدروجين H₂ وكلوريد المغنيسيوم MgCl₂، كما هو موضح في معادلة التفاعل الآتية:



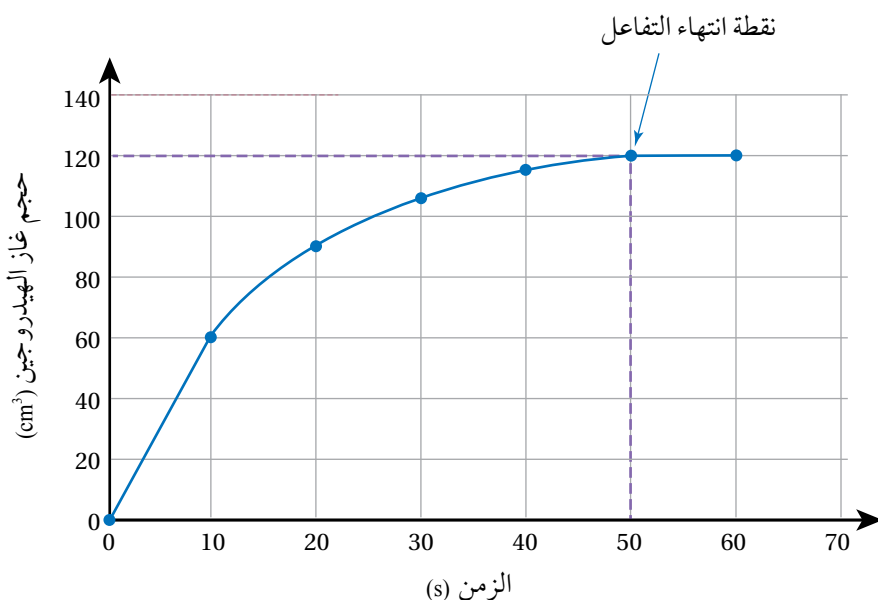
تكون سرعة التفاعل أكبر ما يمكن لحظة بدايته، ثم تقل كلما استهلكت المواد المتفاعلة أكثر فأكثر، وبمرور الزمن تزداد كمية غاز الهيدروجين الناتج، ويمكن حساب **السرعة المتوسطة (S)**، وهي التغير الكلي لكمية المادة المتفاعلة أو الناتجة خلال الزمن المستغرق في ذلك. فمثلاً: في تفاعل المغنيسيوم Mg مع حمض الهيدروكلوريك HCl، أجد ناتج قسمة التغير الكلي في حجم غاز الهيدروجين H₂ الناتج على الزمن المستغرق في ذلك. ويبين الشكل (4) أن الحجم النهائي للغاز الناتج يثبت ويساوي 120 cm³ بعد مضي 50 s من الزمن، مشيراً إلى انتهاء التفاعل، وبذلك أحسب السرعة المتوسطة (S) لتكون غاز H₂ كما يأتي:

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

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

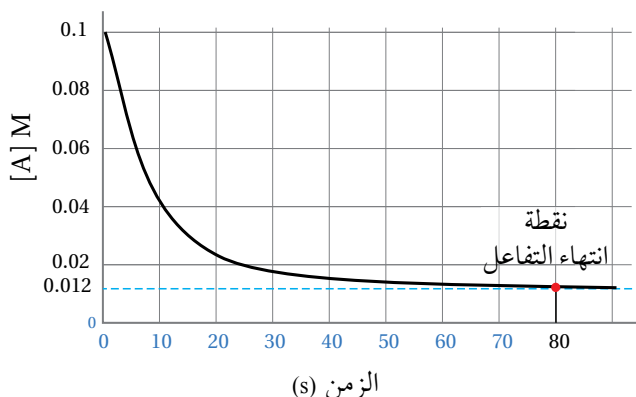
ΔV التغير في حجم الغاز الناتج
 Δt التغير في الزمن

✓ **أتحقق:** أوضح المقصود بالسرعة المتوسطة للتفاعل.



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

المثال 4



يُمثل الشكل الآتي منحنى سرعة التفاعل لتغير تركيز مادة متفاعلة A مقابل الزمن:
أحسب السرعة المتوسطة S لتفاعل A.

الحل:

أحسب السرعة المتوسطة لتفاعل A بقسمة التغير الكلي في تركيز المادة A على الزمن المستغرق لانتهاء التفاعل، كما يأتي:

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

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

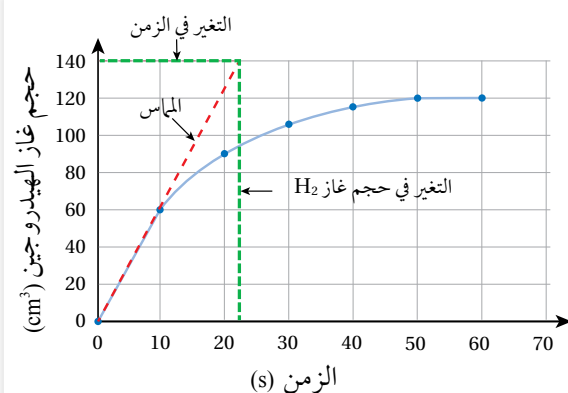
سرعة التفاعل الابتدائية Initial Rate

يمكن استخدام منحنى سرعة التفاعل السابق للمغنيسيوم مع حمض HCl الموضح في الشكل رقم (5) 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:

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

وتمثل ΔY التغير في حجم الغاز الناتج، وتمثل ΔX التغير في الزمن. وبالرجوع إلى المنحنى في الشكل (5) يمكن حساب السرعة الابتدائية لتكوّن غاز H_2 كما يأتي:

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



الشكل (5): إيجاد سرعة التفاعل الابتدائية.

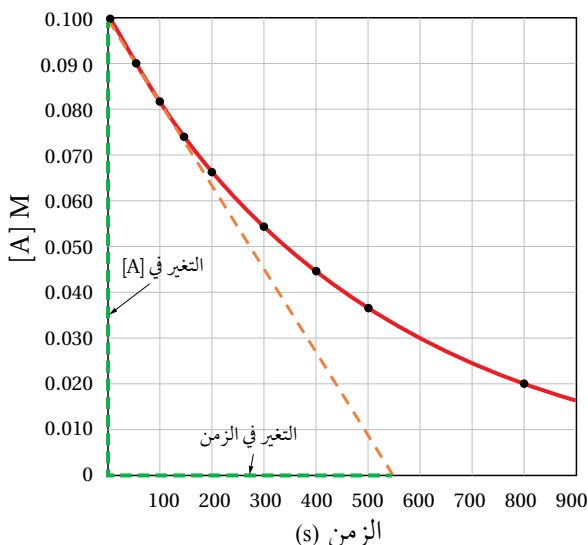
المثال 5

أحسب السرعة الابتدائية لاستهلاك A.

الحل:

ألاحظ أن المنحنى متناقص بسبب تناقص [A] مع الزمن فيكون ميل المماس سالب لذلك تضاف إشارة (-) عند إيجادها. أحسب السرعة الابتدائية من ميل المماس G للنقطة التي تمثل التركيز عند الزمن صفر، كما يأتي:

$$G = -\frac{\Delta Y}{\Delta X} = -\frac{0 - 0.1}{550 - 0} = 1.8 \times 10^{-4} \text{ M.s}^{-1}$$

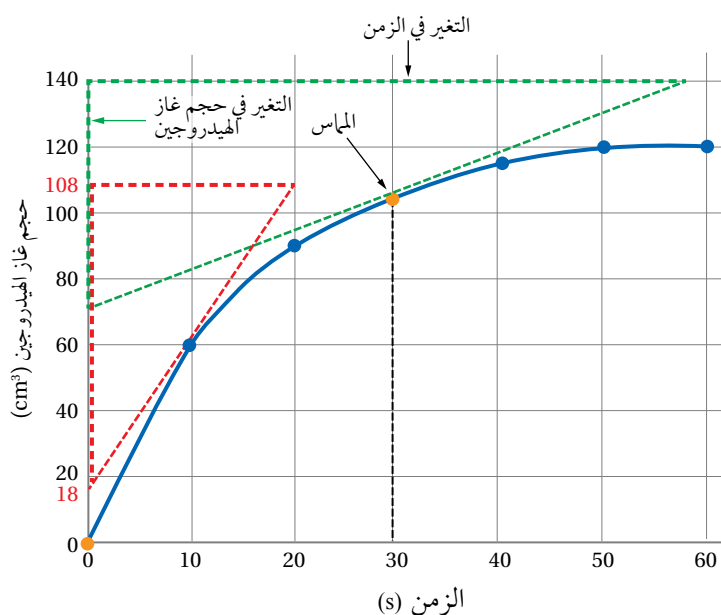


سرعة التفاعل اللحظية Instantaneous Rate

أما سرعة التفاعل عند أي لحظة زمنية معينة فتسمى **السرعة اللحظية Instantaneous Rate**، وتُحسب عن طريق رسم منحنى يُمثل التغير في كمية مادة متفاعلة أو ناتجة مقابل الزمن، ثم رسم مماس للمنحنى عند النقطة المقابلة للزمن عند تلك اللحظة، وحساب الميل عندها، حيث يُمثل السرعة اللحظية. فمثلاً: لحساب سرعة تكوّن غاز H_2 عند زمن 30 s، أرسم مماساً للمنحنى عند النقطة المقابلة للزمن 30 s كما هو موضح في الشكل (6)، ثم أحسب ميل المماس كما يأتي:

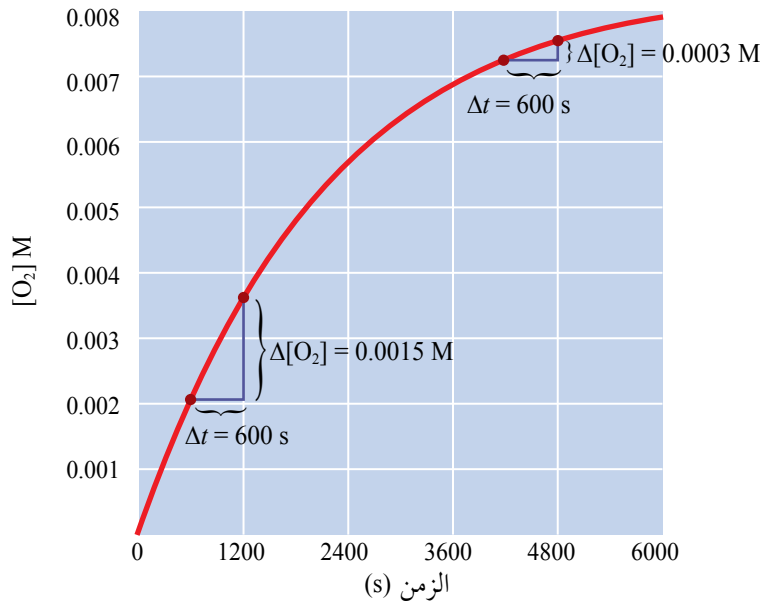
$$G = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{140 - 70}{58} = 1.207 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

✓ **أتحقق:** بالرجوع إلى الشكل (6)، أحسب السرعة اللحظية لتكون غاز H_2 عند زمن 10 s.



الشكل (6): إيجاد سرعة التفاعل اللحظية.

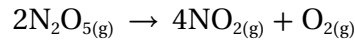
لماذا تكون سرعة تكون غاز H_2 عند الزمن 30 s أقل من سرعته الابتدائية؟



الشكل (7): حساب سرعة
التفاعل خلال مدة زمنية
محددة.

سرعة التفاعل خلال فترات زمنية محددة Rate of Reaction within Time

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



فإنه يمكن حساب سرعة إنتاج غاز الأكسجين O_2 خلال فترات زمنية، كما هو موضح في الشكل (7) المستند على البيانات الآتية:

| Time (s) | 0 | 600 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | 3600 | 4200 | 4800 | 5400 |
|----------------------------------|---|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $[O_2] \times 10^{-3} \text{ M}$ | 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 (1200 – 600) s؛ فيمكنني ذلك عن طريق معرفة التغير في تركيز غاز الأكسجين في هذه المدة كما يأتي:

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} \\
 &= \frac{0.0036 - 0.0021}{1200 - 600} \\
 &= \frac{0.0015 \text{ M}}{600 \text{ s}} \\
 &= 2.5 \times 10^{-6} \text{ M/s}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{0.0075 - 0.0072}{600 \text{ s}} = \frac{0.0003 \text{ M}}{600 \text{ s}} \\
 &= 5 \times 10^{-7} \text{ M/s}
 \end{aligned}$$



أستخدم برنامج
مناسب لصناعة الأفلام،
وأعد فيلماً أصف فيه سرعة
التفاعل الابتدائية، والسرعة
المتوسطة للتفاعل، وسرعته
اللحظية، ثم أناقشه مع
زملائي/ زميلاتي في الصف.

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

المثال 6

| [E] M | الزمن s |
|-------|---------|
| 0.006 | 5 |
| 0.002 | 9 |

يبيّن الجدول الآتي تركيز المادة E مقابل الزمن.

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

2. أحسب سرعة التفاعل.

تحليل السؤال: المعطيات

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

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

المطلوب: أتوقع إن كانت المادة متفاعلة أم ناتجة ثم أحسب سرعة تفاعلها.

الحل:

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

2. أطبق العلاقة:

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

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

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

المثال 7

أحسب سرعة استهلاك CO في المعادلة: $\text{CO}_{(g)} + \text{NO}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} + \text{NO}_{(g)}$

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

تحليل السؤال: المعطيات

$$[\text{CO}]_1 = 1.8 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{CO}]_2 = 1.2 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\Delta t = 20 \text{ s}$$

المطلوب: أحسب سرعة استهلاك CO

الحل:

أكتب قانون سرعة التفاعل للمادة المتفاعلة:

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

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

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

المثال 8

يتفكك غاز N_2O_4 بالحرارة مكوّنًا غاز NO_2 وفق المعادلة الموزونة الآتية:



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

| الزمن S | 0 | 10 | 20 |
|--------------|------|------|------|
| $[N_2O_4]$ M | 0.10 | 0.02 | 0.01 |
| $[NO_2]$ M | 0.00 | 0.16 | 0.18 |

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

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

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

الحل:

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

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

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

سرعة استهلاك N_2O_4

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

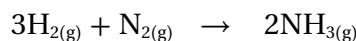
الحل:

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

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

أكرّر الخطوات كما في الفرع رقم (1).

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



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

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أوضّح كيفية حساب سرعة التفاعل المتوسطة والسرعة الابتدائية من الرسم البياني.
2. أوضّح المقصود بكل من: سرعة التفاعل الكيميائي، السرعة اللحظية للتفاعل.
3. يُبين الجدول أدناه بيانات التغير في تركيز كلّ من المادّة A والمادّة B مع الزمن، عند درجة حرارة معيّنة:

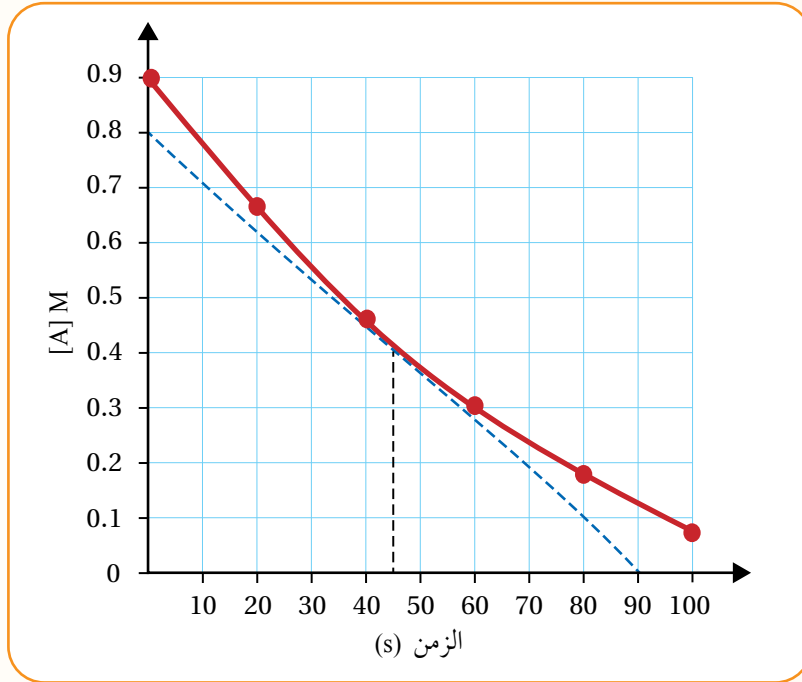
| | | | | | | | |
|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| [A] M | 1.1 | 1.02 | 0.96 | 0.92 | 0.90 | 0.89 | 0.89 |
| [B] M | 0.0 | 0.16 | 0.28 | 0.36 | 0.40 | 0.42 | 0.42 |
| t(s) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |

أُجيب عن الأسئلة الآتية:

أ . أكتب معادلة التفاعل.

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

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



5. أختار رمز الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. في التفاعل الآتي: $F_2 + 2NO_2 \rightarrow 2NO_2F$ إذا كانت سرعة استهلاك F_2 تساوي 0.2 M/s ، فإن سرعة إنتاج NO_2F بوحدة (M/s) تساوي:

- أ . 0.1 ب . 0.2 ج . 0.4 د . 0.6

2. يتفكك غاز N_2O_4 بالحرارة مُكوِّنًا غاز NO_2 وفق المعادلة الكيميائية: $N_2O_{4(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ إذا علمت أن:

- يزداد $[NO_2]$ حتى يصل إلى 0.18 M خلال 20 s

- التركيز الابتدائي لـ N_2O_4 يساوي 0.1 M

فإن التركيز المولاري لـ N_2O_4 بعد 20 s يساوي:

- أ . 0.02 ب . 0.01 ج . 0.1 د . 0.2

3. في التفاعل الكيميائي الموزون الآتي: $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 6H_2O_{(g)} + 4NO_{(g)}$

فإن العلاقة الصحيحة بين سرعة استهلاك إحدى المواد المتفاعلة وسرعة تكوين إحدى المواد الناتجة بدلالة التغير في التركيز خلال مدة زمنية محددة، هي:

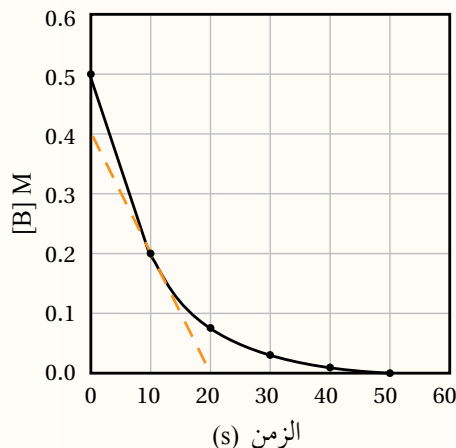
أ . $-\frac{1}{3} \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} = \frac{1}{4} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t}$ ب . $\frac{1}{4} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$

ج . $-\frac{1}{6} \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = \frac{1}{4} \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$ د . $-\frac{1}{5} \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{6} \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$

4. في تفاعل ما، إذا كانت العلاقة بين سرعة تفاعل المادتين A و B: $-\frac{1}{3} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$ فإن المعادلة الصحيحة للتفاعل الافتراضي، هي:

- أ . $3A \rightarrow 2B$ ب . $2A \rightarrow 3B$ ج . $2B \rightarrow 3A$ د . $3B \rightarrow 2A$

5. يمثل الشكل المجاور منحنى سرعة التفاعل لتغير تركيز مادة متفاعلة B مع الزمن. إن السرعة اللحظية عند الزمن 10 s لتفاعل B بوحدة (M/s) تساوي:



أ . 0.04

ب . 0.05

ج . 0.02

د . 0.01

أثر التراكيز في سرعة التفاعل

The Effect of Concentrations on Reaction Rate

درست سابقاً كيفية حساب سرعة التفاعل الكيميائي؛ بمعرفة التغير في كمية إحدى المواد المتفاعلة المستهلكة، أو كمية إحدى المواد الناتجة خلال زمن معين. ويمكن أن تعتمد سرعة التفاعل على تركيز أكثر من مادة واحدة متفاعلة، وهذه المواد المتفاعلة لا يمكن تحديد أثر تغير تركيزها في سرعة التفاعل من معادلة التفاعل الموزونة؛ إنما من التجارب العملية. أنظر الشكل (8) الذي يُبين تفاعلاً كيميائياً بين بيرمنغنات البوتاسيوم KMnO_4 وفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 .

فمثلاً: في التفاعل الآتي: $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C} + \text{D}$

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

$$R \propto [\text{A}]^x [\text{B}]^y$$

ولتحويل علاقة التناسب إلى علاقة مساواة، يتم إدخال ثابت التناسب الذي يسمى ثابت سرعة التفاعل (k)، لنحصل على القانون العام لسرعة التفاعل كالاتي:

$$R = k [\text{A}]^x [\text{B}]^y$$

يتم التوصل إلى قانون السرعة لتفاعل ما عن طريق التجربة العملية، ومنها تُحدد قيم كل من (x و y).

الفكرة الرئيسة:

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

نتائج التعلم:

- أوضح المقصود بكل من: رتبة التفاعل لمادة متفاعلة، الرتبة الكلية للتفاعل.
- أستنتج رتبة المادة المتفاعلة عن طريق نتائج التجارب العملية للتفاعل، وأكتب قانون سرعة التفاعل.

المفاهيم والمصطلحات:

رتبة التفاعل Reaction Order

الرتبة الكلية للتفاعل

Overall Reaction Order



الشكل (8): تفاعل كيميائي بين بيرمنغنات البوتاسيوم وفوق أكسيد الهيدروجين.

رتبة التفاعل Reaction Order

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

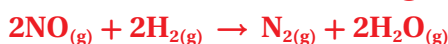
ويُعبر عن قانون سرعة التفاعل بحاصل ضرب ثابت سرعة التفاعل k في تراكيز المواد المتفاعلة مرفوعة لقوة تُسمى رتبة التفاعل لكل مادة متفاعلة، ويعتمد ثابت سرعة التفاعل k على درجة الحرارة، ولكل تفاعل ثابت سرعة k محدد تختلف قيمته عن الآخر.

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

يُطلق على الرمز (x) رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة A، أما الرمز (y) فهو رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة B. وتعرف **رتبة التفاعل** Reaction Order للمادة المتفاعلة بأنها الأس المرفوع تركيزها إليه في قانون سرعة التفاعل، وتبين أثر تغير تركيز المادة المتفاعلة في سرعة التفاعل. وتُحدد الرتبة من التجربة العملية لا من معادلة التفاعل الموزونة، وقد تكون قيمة الرتبة صفراً، 1، 2، ...، فعندما تكون قيمة الرتبة x أو y صفراً، 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. ويُطلق على مجموع رتب المواد المتفاعلة x + y في قانون سرعة التفاعل **الرتبة الكلية للتفاعل** Overall Reaction Order. وفي التفاعلات المنعكسة تُدرس سرعة التفاعل تحت ظروف تسمح بإهمال التفاعل العكسي؛ أي لحظة خلط المواد المتفاعلة وقبل أن تبدأ المواد الناتجة بالتفاعل العكسي.

المثال 9

يتفاعل غاز أول أكسيد النيتروجين NO مع غاز الهيدروجين H₂؛ وفق معادلة التفاعل الآتية:



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

$$R = k [\text{NO}]^2 [\text{H}_2]^1$$

1. ما رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة NO؟

2. ما رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة H₂؟

3. ما الرتبة الكلية للتفاعل؟

الحل:

ألاحظ من قانون سرعة التفاعل أن:

1. الأس المرفوع تركيز المادة المتفاعلة NO إليه يساوي 2؛ أي أن رتبة المادة NO تساوي 2

2. الأس المرفوع تركيز المادة المتفاعلة H₂ إليه يساوي 1؛ أي أن رتبة المادة H₂ تساوي 1

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

المثال ١٥

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



إذا كان قانون السرعة لهذا التفاعل $R = k [\text{N}_2\text{O}_5]^1$ ، وقيمة ثابت سرعة التفاعل k تساوي $5.9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ وتركيز N_2O_5 يساوي $8.4 \times 10^{-3} \text{ M}$ ، فأحسب سرعة التفاعل.

تحليل السؤال (المعطيات):

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

$$[\text{N}_2\text{O}_5] = 8.4 \times 10^{-3} \text{ M}$$

المطلوب: أحسب سرعة التفاعل.

الحل:

$$R = k [\text{N}_2\text{O}_5]^1$$

أعوض قيمة ثابت السرعة وقيمة التركيز، فأحصل على قيمة سرعة التفاعل:

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

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

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

تحديد رتبة التفاعل Determining the order of reaction

تساعد معرفة رتب المواد المتفاعلة في توقع أثر تغير تركيز المادة المتفاعلة في سرعة التفاعل الكيميائي. ويمكن تحديد رتبة التفاعل بالنسبة لمادة متفاعلة بطريقة الرسم البياني أو بطريقة السرعة الابتدائية.

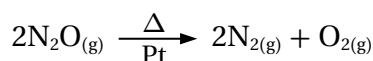
طريقة الرسم البياني Graphical Method

أحدد رتبة التفاعل بالنسبة لمادة متفاعلة، وذلك بمعرفة تغير تركيز هذه المادة مع الزمن أثناء سير التفاعل، مع المحافظة على بقاء تراكيز المواد المتفاعلة الأخرى ثابتة؛ وذلك باستعمال كميات كبيرة منها. وبعد قياس تراكيز المادة المتفاعلة التي اختيرت تجريبياً، نرسم بياناً 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 يُرسم رسم بياني آخر يُبين سرعة التفاعل مقابل تركيز المادة المتفاعلة.

ويُتيح 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 مرفوعاً للأس صفر، فإن قيمته تساوي (1)؛ وهذا يعني أن تغير تركيز المادة لا يؤثر في سرعة التفاعل. فمثلاً: عند قياس سرعة تحلل أحادي أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O وفق المعادلة الآتية:



وُجد أن سرعة التفاعل لا تعتمد على تركيز N_2O الموجود بداية التفاعل، وبهذا نرسم العلاقة بين تركيز المادة المتفاعلة مقابل الزمن، فنحصل على الرسم المبين في الشكل (9/a). ألاحظ أن تركيز المادة المتفاعلة يتناقص بمقدار ثابت بمرور الزمن؛ ومن ثم تكون العلاقة بين التركيز والزمن علاقة خطّ مستقيم متناقص ميله مقداراً ثابت.

ويبين الشكل البياني (9/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:

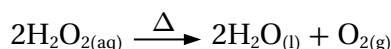
$$R = k$$

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

ونمط الرسم لهذا التفاعل هو فقط لتفاعلات الرتبة الصفرية كافة؛ ومن ثمّ يمكن التنبؤ عن طريق الرسم مباشرة بالرتبة الصفرية.

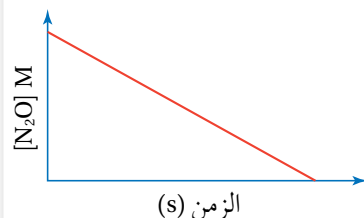
الرتبة الأولى First order

عندما يكون تركيز مادة متفاعلة مرفوعاً للأس (1)، فإن سرعة التفاعل تتناسب طردياً مع تركيز المادة المتفاعلة، مما يعني أن تغير تركيز المادة يؤدي إلى التغير نفسه في سرعة التفاعل، فمثلاً: نقصان تركيز المادة المتفاعلة إلى النصف يؤدي إلى 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:

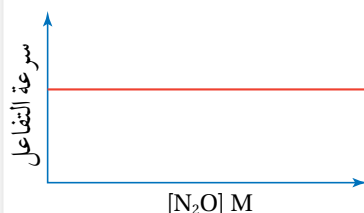


حيث وُجد عملياً أن مضاعفة تركيز H_2O_2 تؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل؛ لذلك يعدّ هذا التفاعل من الرتبة الأولى بالنسبة للمادة المتفاعلة فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، ويُعبّر عن سرعته بالقانون: $R = k[H_2O_2]^1$

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

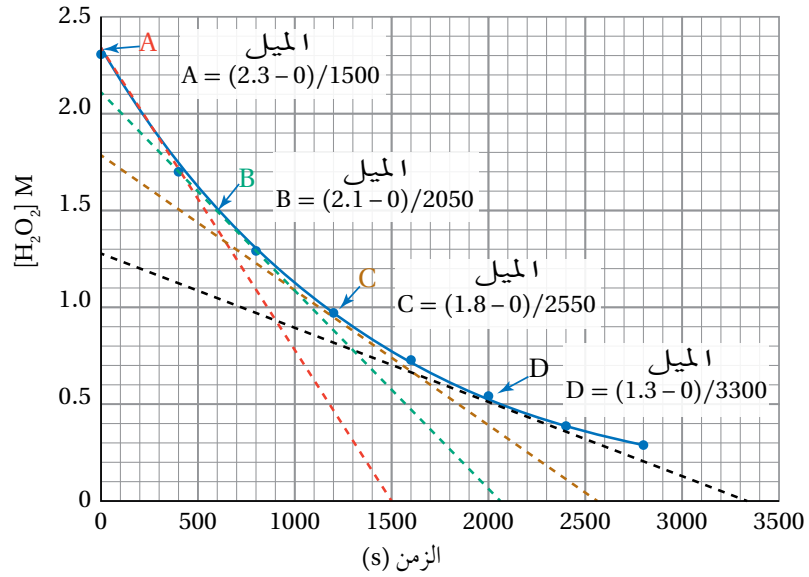


الشكل (9/a): تركيز المادة المتفاعلة مقابل الزمن.



الشكل (9/b): سرعة تفاعل N_2O مقابل التركيز.

الشكل (10): ميل المماس عند تراكيز محددة من فوق أكسيد الهيدروجين.



الجدول (1): قيم سرعة تفاعل H₂O₂ عند تراكيز محددة منه.

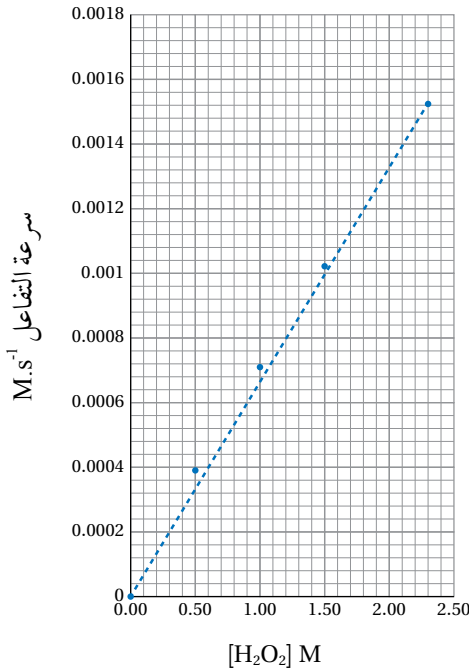
| (R) × 10 ⁻³ M.s ⁻¹ | [H ₂ O ₂] M |
|--|------------------------------------|
| 0 | 0 |
| 0.394 | 0.5 |
| 0.706 | 1.0 |
| 1.024 | 1.5 |
| 1.533 | 2.3 |

ويمكن التحقق أن التفاعل من الرتبة الأولى بتتبع تغير تركيز H₂O₂ بمرور الزمن. حيث يبين الشكل (10) ميل المماس عند تراكيز محددة من H₂O₂ في زمن محدد ودرجة حرارة ثابتة. ويعد شكل المنحنى هذا مؤشراً عاماً لتفاعلات الرتبة الأولى كافة.

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

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

ويبين الجدول (1) المجاور قيم سرعة تفاعل H₂O₂ المحسوبة عند تراكيز محددة منه.



الشكل (11): سرعة تفاعل H₂O₂ مقابل تركيزه.

وبذلك يمكن رسم شكل بياني يوضح سرعة التفاعل مقابل التركيز، كما هو مبين في الشكل (11)، إذ يظهر الشكل علاقة خط مستقيم متزايد، وهذا النمط ينطبق على هذا التفاعل وعلى تفاعلات الرتبة الأولى كافة؛ أي أنه إذا كانت العلاقة خطاً مستقيماً متزايداً بين تركيز المادة المتفاعلة وسرعة التفاعل؛ يعني ذلك أن التفاعل من الرتبة الأولى.

طريقة السرعة الابتدائية The Initial Rate Method

تُستعمل هذه الطريقة في تحديد رتبة التفاعل عن طريق مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل بتغير تركيز المواد المتفاعلة، إذ تقاس سرعة التفاعل الابتدائية في اللحظة التي تُخلط فيها المواد المتفاعلة ذات التراكيز المعروفة. فمثلاً: في التفاعل العام:



بافتراض إجراء ثلاث تجارب بتركيزات 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 التجريبتين (1 و 2) عند ثبات تركيز المادة B، وألاحظ أن تركيز المادة A في التجربة رقم (2) هو ضعف تركيزها في التجربة رقم (1)، وألاحظ أيضاً أن سرعة التفاعل في التجربة رقم (2) كانت ضعفها في التجربة رقم (1)؛ أي أن نسبة الزيادة في تركيز المادة هي نسبة الزيادة نفسها في سرعة التفاعل، وبذلك؛ فإن التفاعل أحادي الرتبة للمادة A؛ أي أن قيمة x تساوي 1.

أطبق الطريقة نفسها لتحديد قيمة رتبة y للمادة B، فأقارن تركيز المادة B مع سرعة التفاعل في التجريبتين (1، 3) عند ثبات تركيز المادة A، وألاحظ أن تركيز المادة B في التجربة رقم (3) هو ضعف تركيزها في التجربة رقم (1)، وألاحظ أيضاً أن سرعة التفاعل في التجربة رقم (3) تزداد أربع مرات عنها في التجربة رقم (1)؛ أي أن نسبة الزيادة في سرعة التفاعل تساوي مُربّع نسبة الزيادة في تركيز المادة وبذلك فإن التفاعل ثنائي الرتبة للمادة B؛ أي أن قيمة y تساوي 2. وبهذا أتوصل إلى قانون السرعة لهذا التفاعل:

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

ويبين الجدول (2) العلاقة بين رتبة التفاعل لمادة متفاعلة والتغيرات في تركيز هذه المادة وسرعة التفاعل عند ثبات تراكيز المواد المتفاعلة الأخرى.

الجدول (2): العلاقة بين رتبة التفاعل لمادة متفاعلة والتغيرات في تركيز هذه المادة وسرعة التفاعل عند ثبات تراكيز المواد المتفاعلة الأخرى.

| رتبة التفاعل | مقدار تضاعف سرعة التفاعل R | مقدار تضاعف التركيز |
|--------------|----------------------------|---------------------|
| 0 | لم تتغير | 2 |
| 0 | لم تتغير | 3 |
| 1 | $2 = 2^1$ | 2 |
| 1 | $3 = 3^1$ | 3 |
| 2 | $4 = 2^2$ | 2 |
| 2 | $9 = 3^2$ | 3 |

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



أُجريت ثلاث تجارب بتراكيز مختلفة عند درجة حرارة ثابتة؛ وقيست السرعة الابتدائية لكل تجربة، وسُجلت النتائج؛ فكانت كما يظهر في الجدول الآتي:

| السرعة الابتدائية M.s^{-1} | $[\text{HCl}] \text{ M}$ | $[\text{NO}_2] \text{ M}$ | رقم التجربة |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|
| 1.4×10^{-3} | 0.3 | 0.3 | 1 |
| 2.8×10^{-3} | 0.3 | 0.6 | 2 |
| 2.8×10^{-3} | 0.6 | 0.3 | 3 |

1. أكتب قانون سرعة التفاعل العام.

2. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة NO_2 .

3. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة HCl .

الحل:

1. قانون سرعة التفاعل العام: $R = k [\text{NO}_2]^x [\text{HCl}]^y$

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

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{k[\text{NO}_2]^x [\text{HCl}]^y}{k[\text{NO}_2]^x [\text{HCl}]^y}$$

أعوض قيم السرعة والتركيز، وأحذف قيمة ثابت السرعة k ؛ لأنها ثابتة في التفاعل نفسه.

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

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 التجريبتين (1) و (3) عند ثبات تركيز المادة NO_2 ، حيث أقسم سرعة التفاعل R_3 على سرعة التفاعل R_1 كما يأتي:

4. أستنتج قانون السرعة لهذا التفاعل.

5. أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل k ، وأحدد وحدته.

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{k[\text{NO}_2]^x [\text{HCl}]^y}{k[\text{NO}_2]^x [\text{HCl}]^y}$$

أعوض 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:

$$R = k[\text{NO}_2]^1 [\text{HCl}]^1$$

5. أحسب قيمة ثابت السرعة من التجربة (1) مثلاً كما يأتي:

$$k = \frac{R}{[\text{NO}_2] [\text{HCl}]}$$

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

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

يتفاعل غاز أول أكسيد النيتروجين NO مع غاز الأكسجين O₂ مكونًا غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO₂، وفق المعادلة الآتية:



وبقياس سرعة التفاعل عند تراكيز ابتدائية مختلفة من NO و O₂ ودرجة حرارة معينة، سُجلت النتائج كما يظهر في الجدول الآتي:

| السرعة الابتدائية M.s ⁻¹ | [O ₂] M | [NO] M | رقم التجربة |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 7 × 10 ⁻² | 2 × 10 ⁻¹ | 1 × 10 ⁻¹ | 1 |
| 2.8 × 10 ⁻¹ | 2 × 10 ⁻¹ | 2 × 10 ⁻¹ | 2 |
| 1.4 × 10 ⁻¹ | 4 × 10 ⁻¹ | 1 × 10 ⁻¹ | 3 |

1. أَسْتَنْتِج رتبة المادة المتفاعلة NO.

2. أَسْتَنْتِج رتبة المادة المتفاعلة O₂.

3. أَسْتَنْتِج قانون سرعة التفاعل.

4. أَحْسَب قيمة ثابت سرعة التفاعل k وأحدد وحدته.

الحل:

1. لتحديد رتبة التفاعل للمادة NO، أقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجريبتين (1) و(2)، عند ثبات تركيز الأكسجين O₂، فألاحظ 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.

2. أَسْتَعْمَل الطريقة نفسها لتحديد قيمة رتبة المادة O₂، فأقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجريبتين (3) و(1) عند ثبات تركيز NO، وألاحظ أن تركيز O₂ 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 O₂ تساوي 1

3. أَسْتَدَلُّ من المعلومات السابقة على قانون السرعة لهذا التفاعل:

$$R = k [\text{O}_2]^1 [\text{NO}]^2$$

4. أَحْسَب قيمة ثابت السرعة من التجربة (1) مثلاً كما يأتي:

$$k = \frac{R}{[\text{O}_2][\text{NO}]^2}$$

$$k = \frac{7 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-1} \times 1 \times 10^{-2}} = 35 \text{ M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

المثال 13

في معادلة التفاعل الافتراضي: $A + B \rightarrow$ نواتج $A + B$ سُجِّلَت البيانات الخاصة بالسرعة الابتدائية عند درجة حرارة محدّدة كما يأتي:

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

1. أَسْتَنْتِج رتبة المادة المتفاعلة A.

2. أَسْتَنْتِج رتبة المادة المتفاعلة B.

3. أَسْتَنْتِج قانون السرعة لهذا التفاعل.

4. أَحْسَب قيمة ثابت سرعة التفاعل k، وأحدد وحدته.

الحل:

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 قيم السرعة والتركيز.

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

$$2 = 2^x \longrightarrow x = 1$$

2. أجد الرتبة y للمادة المتفاعلة B من التجربتين

(1)، (3) عند ثبات تركيز المادة A.

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

$$1 = 2^y \longrightarrow y = 0$$

3. أَسْتَنْتِج قانون سرعة التفاعل:

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

4. أَحْسَب ثابت سرعة التفاعل، وأَسْتَنْتِج وحدته:

$$k = \frac{1 \times 10^{-3} M.s^{-1}}{0.2 M} = 5 \times 10^{-3} s^{-1}$$

المثال 14

في التفاعل الآتي: $2ClO_2(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow ClO_2^-(aq) + ClO_3^-(aq) + H_2O(l)$

وُجِدَ أَنَّهُ عند مضاعفة تركيز ClO_2 الابتدائي ثلاث مرات مع ثبات تركيز OH^- تضاعفت سرعة التفاعل 9 مرات، وعند

مضاعفة تركيز OH^- الابتدائي مرتين مع ثبات تركيز ClO_2 تضاعفت سرعة التفاعل مرتين.

أ. أَسْتَنْتِج رتبة التفاعل بالنسبة إلى المادتين ClO_2 و OH^- . ب. أكتب قانون سرعة التفاعل.

الحل:

أ. باستخدام العلاقة بين رتبة التفاعل لمادة متفاعلة ومقدار تضاعف تركيز هذه المادة وأثره في سرعة التفاعل عند

ثبات تراكيز المواد المتفاعلة الأخرى، أَسْتَنْتِج أن:

رتبة التفاعل بالنسبة إلى المادة ClO_2 $2 =$

رتبة التفاعل بالنسبة إلى المادة OH^- $1 =$

لأن مضاعفة تركيز ClO_2 (3 مرات) مع ثبات تركيز OH^- أدّت إلى مضاعفة سرعة التفاعل بمقدار 2^2 (3) مرة.

في حين أن مضاعفة تركيز OH^- مرتين مع ثبات تركيز ClO_2 أدّت إلى مضاعفة سرعة التفاعل بالمقدار نفسه.

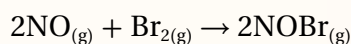
ب. قانون سرعة التفاعل: $R = k[ClO_2]^2[OH^-]^1$

✓ **أَتَحَقَّقُ:** 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 معاً مرتين تضاعفت السرعة 8 مرات. أَسْتَنْتِج رتبة كل من A و B.

مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسة: أوضح كيفية التوصل إلى رتبة مادة متفاعلة من الرسم البياني.
- أوضح المقصود بالرتبة الكلية للتفاعل.
- يتفاعل أول أكسيد النيتروجين NO والبروم Br_2 عند درجة حرارة 273°C حسب المعادلة الآتية:



وبقياس السرعة الابتدائية عند تراكيز مختلفة من NO و Br_2 ؛ كانت بيانات التفاعل كما يأتي:

| السرعة الابتدائية M.s^{-1} | $[\text{Br}_2] \text{ M}$ | $[\text{NO}] \text{ M}$ | رقم التجربة |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------|
| 24 | 0.2 | 0.1 | 1 |
| 96 | 0.2 | 0.2 | 2 |
| 60 | 0.5 | 0.1 | 3 |

- أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة NO.
- ب. أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة Br_2 .
- ج. أستنتج قانون السرعة لهذا التفاعل.
- د. أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل، وأحدد وحدته.
- هـ. أحسب سرعة التفاعل عندما تركيز NO يساوي تركيز Br_2 يساوي 0.01 M .

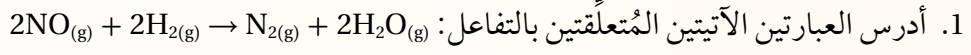
4. في التفاعل الافتراضي: $\text{T} + \text{E} + \text{D} \rightarrow$ نواتج

سجلت السرعة الابتدائية للتفاعل في خمس تجارب درجة حرارة ثابتة كما يأتي:

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

- أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة T.
- ب. أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة E.
- ج. أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة D.
- د. أستنتج قانون سرعة هذا التفاعل.
- هـ. أحسب تركيز المادة D في التجربة الأخيرة.

5. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:



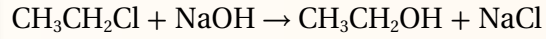
- وحدة قياس ثابت سرعة التفاعل k هي: $(\text{M}^{-2}\text{s}^{-1})$.

- سرعة التفاعل تزداد مرتين عندما يزداد $[\text{H}_2]$ مرتين.

بناءً على ذلك فإن قانون سرعة التفاعل، هو:

أ. $R = k[\text{NO}][\text{H}_2]$ ب. $R = k[\text{NO}][\text{H}_2]^2$ ج. $R = k[\text{NO}]^2[\text{H}_2]$ د. $R = k[\text{NO}]^2[\text{H}_2]^2$

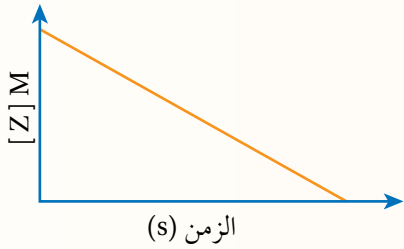
2. في التفاعل الآتي:



قيست السرعة الابتدائية للتفاعل لثلاث تجارب عند درجة حرارة ما، وتراكيز ابتدائية مختلفة، وسُجِّلَت النتائج كما في الجدول المجاور. إن قيمة ثابت سرعة التفاعل تساوي:

| الرقم | $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}]\text{M}$ | $[\text{NaOH}]\text{M}$ | السرعة الابتدائية M.s^{-1} |
|-------|---|-------------------------|--|
| 1 | 0.02 | 0.025 | 0.1×10^{-2} |
| 2 | 0.03 | 0.025 | 0.15×10^{-2} |
| 3 | 0.03 | 0.05 | 0.3×10^{-2} |

أ. 0.2 s^{-1} ب. $2 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ج. $0.02 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ د. 2 s^{-1}



3. في التفاعل الافتراضي الآتي: $2\text{Z} \rightarrow 2\text{X} + \text{Y}$ ، إذا قيس $[\text{Z}]$ خلال التجربة ورُسِم $[\text{Z}]$ مع الزمن فكان كما يوضح المنحنى، فإن وحدة ثابت سرعة التفاعل، هي:

أ. M.s^{-1} ب. s^{-1} ج. $\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ د. $\text{M}^{-2}\text{s}^{-1}$

4. إذا كانت رتبة التفاعل لإحدى المواد المتفاعلة هي (2)، وازداد تركيز هذه المادة 3 أضعاف تركيزها مع بقاء العوامل الأخرى ثابتة، فإن مقدار تضاعف سرعة التفاعل يساوي:

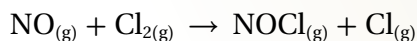
أ. 2 ب. 3 ج. 8 د. 9

5. في التفاعل الافتراضي: نواتج $A \rightarrow$ إذا كانت سرعة التفاعل عند درجة حرارة معينة تساوي $2.7 \times 10^{-3} \text{ M.s}^{-1}$ ، وقيمة ثابت السرعة لهذا التفاعل k تساوي $0.03 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ، فإن تركيز المادة A بوحدة (M) يساوي:

أ. 9×10^{-2} ب. 3×10^{-1} ج. 3×10^{-2} د. 9×10^{-1}

نظرية التصادم Collision Theory

وضع نظرية التصادم العالمان: ماكس تراوتز، ووليام لويس؛ لتفسير حدوث التفاعلات الكيميائية وتفاوت سرعاتها، وقدمت النظرية اقتراحات حول كيفية تغيير سرعة التفاعل الكيميائي. وتفترض **نظرية التصادم Collision Theory**، أنه لحدوث تفاعل كيميائي يجب تصادم جسيمات المواد المتفاعلة معاً، سواء أكانت ذرات أم أيونات أم جزيئات، وأن تكون طاقة التصادم كافية لتكسير الروابط بين الجسيمات المتفاعلة وتكوين روابط جديدة. بالإضافة إلى ذلك تشترط النظرية أن يكون اتجاه تصادم هذه الجسيمات صحيحاً، فمثلاً: تتفاعل جزيئات أول أكسيد النيتروجين NO مع جزيئات الكلور Cl₂؛ وفق المعادلة الآتية:



يوضح الشكل (12) طريقتين لتصادم الجسيمات بعضها ببعض، ولكن ليس كل تصادم يؤدي إلى تكوين نواتج، بل -فقط- عندما يكون اتجاه تصادم الجسيمات صحيحاً.

اتجاه التصادم والمعقد المنشط

Collision direction and Activated Complex

تحدث تصادمات كثيرة بين جسيمات المواد المتفاعلة، إلا أن عدد التصادمات التي تؤدي إلى تكوين نواتج تكون قليلة مقارنة بعدد التصادمات الكلية. 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)،

الفكرة الرئيسة:

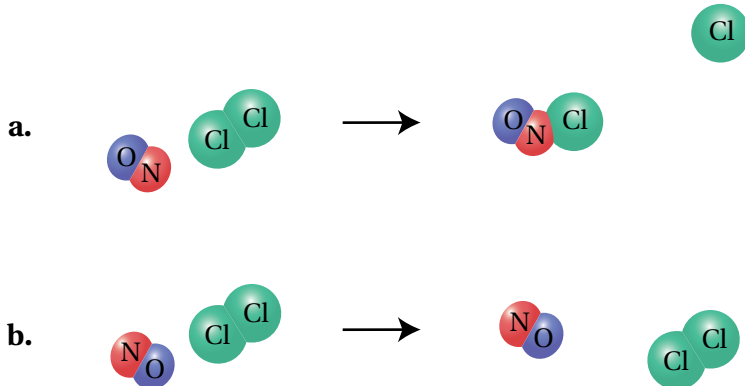
تؤدي التصادمات الفعالة بين جسيمات المواد المتفاعلة إلى حدوث التفاعل الكيميائي، وتتحدد سرعة التفاعل بعوامل عدة تؤدي إلى زيادتها أو إبطائها.

نتائج التعلم:

- أوضح المقصود بكل من: نظرية التصادم، التصادم الفعال، المعقد المنشط، طاقة التنشيط، العامل المساعد.
- أفسر العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي وفق نظرية التصادم.
- أستنتج العلاقة بين طاقة التنشيط والتغير في المحتوى الحراري، باستخدام منحني الطاقة - سير التفاعل.

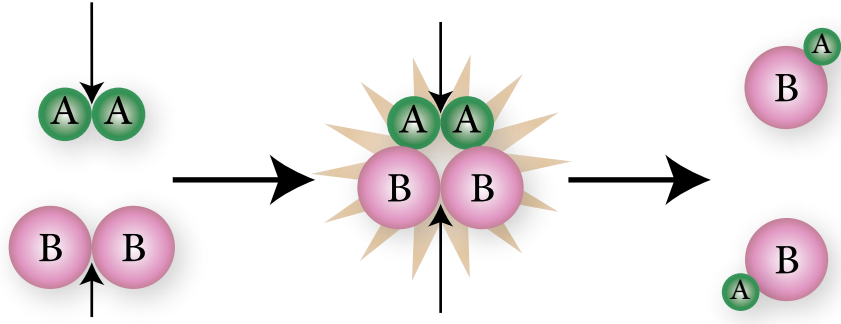
المفاهيم والمصطلحات:

| | |
|----------------|---------------------|
| نظرية التصادم | Collision Theory |
| التصادم الفعال | Effective Collision |
| المعقد المنشط | Activated Complex |
| طاقة التنشيط | Activation Energy |

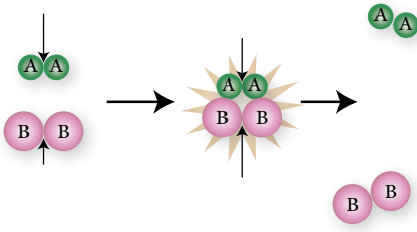


الشكل (12): تصادم جسيمات NO مع جسيمات Cl₂.

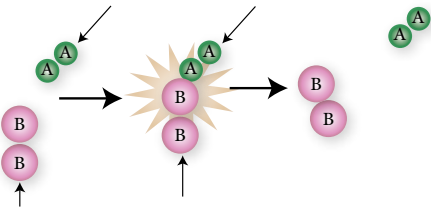
الشكل (13): اتجاه تصادم صحيح وطاقة كافية.



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



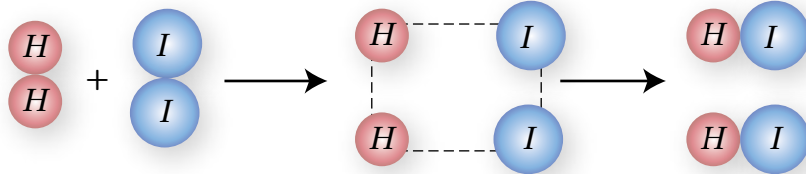
الشكل (15): اتجاه تصادم غير صحيح وطاقة كافية أو غير كافية.



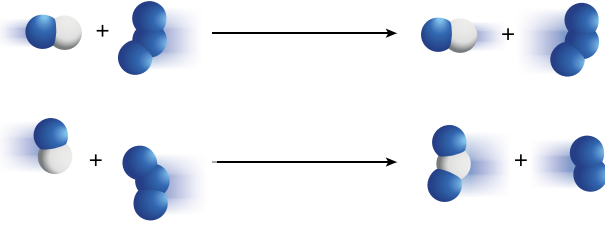
وأن تمتلك الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل. وفي هذه الظروف تتكسر الروابط بين جسيمات المواد المتفاعلة، وتتكون روابط جديدة في المواد الناتجة. فمثلاً: في المعادلة العامة: $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$ ؛ يجب أن تصادم جسيمات A_2 مع جسيمات B_2 في الاتجاه الصحيح كي يحدث التفاعل، وأن تتوافر الطاقة الكافية، أنظر الشكل (13) الذي يُبين تكون النواتج $2AB$ ؛ عندما تصادم ذرتا A من الجزيء A_2 مع ذرتي B من الجزيء B_2 .
عندما يكون اتجاه تصادم جسيمات المواد المتفاعلة صحيحاً، ولكنها لا تمتلك الطاقة الكافية للتفاعل؛ فإن الجسيمات ترتد بعضها عن بعض عند تصادمها، ولا يحدث التفاعل، ولا تتكون النواتج، أنظر الشكل (14).
وكذلك الحال إذا كان اتجاه التصادم غير صحيح سواء كانت كمية الطاقة كافية أو غير كافية للتفاعل، فإن الجسيمات ترتد بعضها عن بعض ولا يحدث التفاعل، أنظر الشكل (15).

وعند حدوث التصادم الفعال، تتكون حالة تسمى **المعقد المنشط** **Activated Complex**؛ وهي حالة انتقالية غير مستقرة من تجمع الذرات يبدأ فيها تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة، ولها أعلى طاقة؛ تسمى طاقة المعقد المنشط (H_c)، وسرعان ما يتفكك المعقد المنشط مكوناً المواد الناتجة أو المتفاعلة مرة أخرى. ويوضح الشكل (16) المعقد المنشط المتكون من تفاعل الهيدروجين H_2 مع اليود I_2 .

الشكل (16): المعقد المنشط في تفاعل H_2 مع I_2 .



المثال 15



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

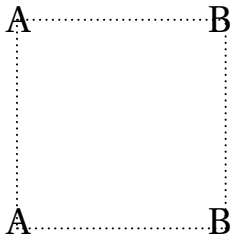
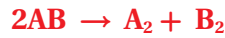


الحلّ:

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

المثال 16

أرسم المعقّد المنشّط المتكوّن من التفاعل العام الآتي:

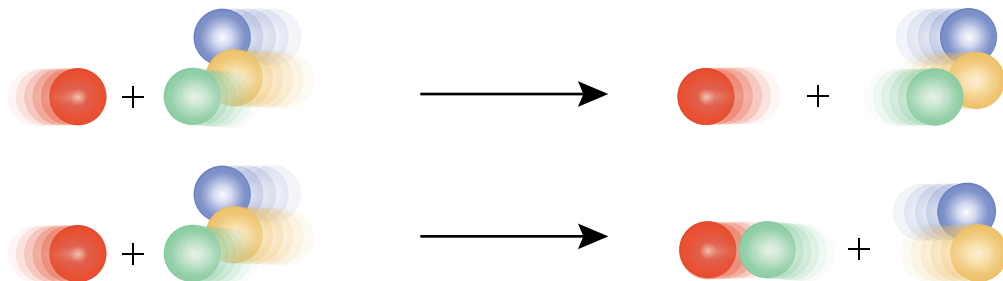


الحلّ:

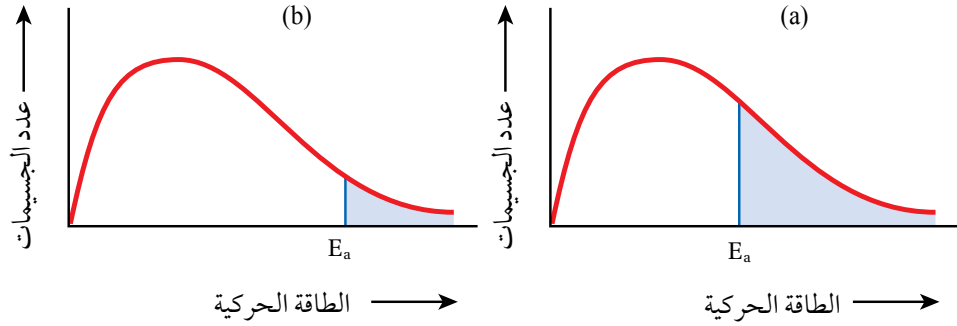
يحدث التصادم بين ذرتي A وذرتي B في الجسيمات AB، ويُتوقّع أن تنكسر كل رابطة A-B، وتكوّن الرابطة بين A-A و B-B؛ فيكون المعقّد المنشّط كما يأتي:

✓ **أنحقّق:**

1. ما الشرطان اللّازم توافرهما حتى يكون التصادم فعالاً؟
2. بالاعتماد على شرطي التصادم الفعال؛ أستنتج من الشكل الافتراضي الآتي أي الحالتين تمثل تصادمًا فعالاً، وأيهما تمثل تصادمًا غير فعال، وأفسّر إجابتي.



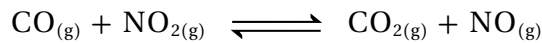
الشكل (17): العلاقة بين طاقة التنشيط وعدد الجسيمات التي تمتلكها والتي تمثلها المنطقة المظللة.



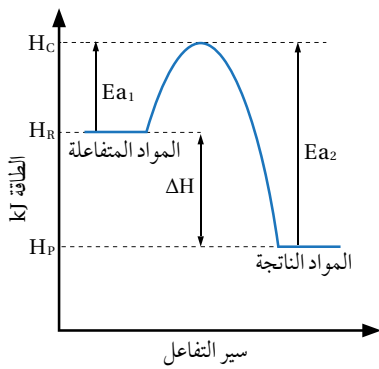
طاقة التنشيط (Ea) Activation Energy

تشرط نظرية التصادم امتلاك الجسيمات المتفاعلة طاقة كافية لحدوث التفاعل، ويُطلق على هذه الطاقة **طاقة التنشيط (Ea) Activation Energy**، وهي الحد الأدنى من الطاقة الحركية التي يجب أن تكتسبها الجسيمات المتصادمة كي تبدأ التفاعل وتكوّن المعقّد المنشط. وعندما تكون طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل منخفضة؛ فهذا يعني أن هناك عددًا كبيرًا من الجسيمات يمكن أن تمتلك هذه الطاقة وتكوّن المعقّد المنشط عند تصادمها في الاتجاه الصحيح، يتّضح من الشكل (17/a, b) أن طاقة التنشيط في الشكل (a) أقل منها في الشكل (b) وبالتالي فإن عدد الجسيمات التي تمتلك هذه الطاقة أكبر فتكون سرعة التفاعل في الشكل (a) أكبر، ويزداد احتمال تكوّن النواتج، أما في الشكل (b) فلاحظ أن طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل عالية؛ وهذا يعني أن عددًا قليلًا من الجسيمات يمكن أن يمتلك طاقة كافية لتكوين المعقّد المنشط؛ فتكون سرعة التفاعل أبطأ.

يوضح الشكل (18) منحنى تغير الطاقة أثناء سير تفاعل أول أكسيد الكربون CO مع ثاني أكسيد النيتروجين NO₂، لإنتاج ثاني أكسيد الكربون CO₂ وأول أكسيد النيتروجين NO، وفق المعادلة الآتية:



وبيّن الشكل (18) أن المواد المتفاعلة تمتلك كمية من الطاقة تسمى: طاقة المواد المتفاعلة أو المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة، ويُرمز إليها بالرمز H_R، وأن المواد الناتجة تمتلك كمية من الطاقة تسمى: طاقة المواد الناتجة أو المحتوى الحراري للمواد الناتجة، ويُرمز إليها بالرمز H_P، وألاحظ أن طاقة المواد الناتجة H_P أقل من طاقة المواد المتفاعلة H_R، مما يعني أن التفاعل يصاحبه فقدان



الشكل (18): منحنى تغير الطاقة أثناء سير تفاعل طارد للطاقة الحرارية.

للطاقة، ويسمى فرق الطاقة بين طاقة المواد المتفاعلة وطاقة المواد الناتجة: التغير في المحتوى الحراري للتفاعل، ويُرمز إليه بالرمز ΔH حيث:

التغير في المحتوى الحراري للتفاعل = طاقة المواد الناتجة - طاقة المواد المتفاعلة

$$\Delta H = H_p - H_R$$

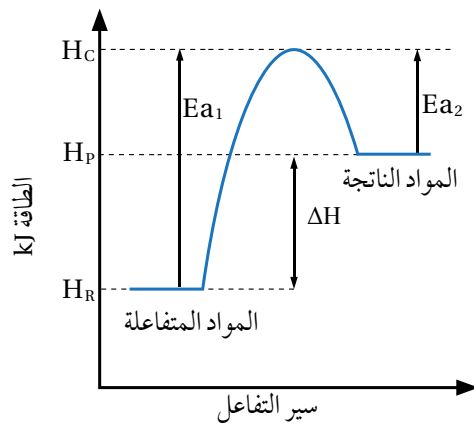
وتسمى التفاعلات التي تفقد طاقة حرارية: التفاعلات الطاردة للطاقة الحرارية. كما يتضح من الشكل (18) أن المواد المتفاعلة تكتسب الطاقة عند تصادمها لتكوين المعقد المنشط، وتسمى هذه الطاقة: طاقة تنشيط التفاعل الأمامي E_{a1} ، وفي هذه الحالة تتصادم جزيئات CO و NO_2 ، بالاتجاه الصحيح، ومع وجود كمية كافية من الطاقة يبدأ تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة، ومن ثم يتكوّن المعقد المنشط، ثم تتكوّن المواد الناتجة.

يسمى فرق الطاقة بين طاقة المواد الناتجة وطاقة المعقد المنشط H_C : طاقة تنشيط التفاعل العكسي E_{a2} ، وهي أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي. وأيضاً يمكن التعبير عن التغير في المحتوى الحراري بدلالة الفرق بين طاقة تنشيط التفاعل الأمامي E_{a1} ، وطاقة تنشيط التفاعل العكسي E_{a2} ، حيث:

التغير في المحتوى الحراري للتفاعل = طاقة تنشيط التفاعل الأمامي - طاقة تنشيط التفاعل العكسي

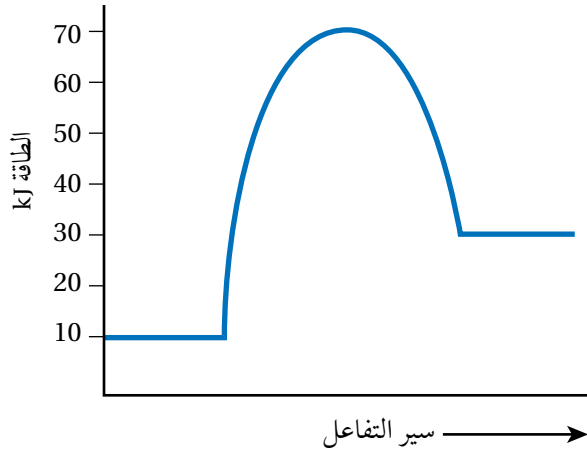
$$\Delta H = E_{a1} - E_{a2}$$

ويوضح الشكل (19) منحنى تغير الطاقة أثناء سير تفاعل ماص للطاقة الحرارية، وفيه تكون طاقة المواد الناتجة أكبر من طاقة المواد المتفاعلة، وطاقة التنشيط للتفاعل الأمامي أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل العكسي. إشارة ΔH الموجبة تعني تفاعلاً ماصاً للطاقة الحرارية، في حين تعني الإشارة السالبة تفاعلاً طارداً للطاقة الحرارية.



الشكل (19): منحنى تغير الطاقة أثناء سير تفاعل ماص للطاقة الحرارية.

المثال 17



أدرس منحنى تغير الطاقة للتفاعل الماصّ للطاقة المجاور؛

ثمّ أجد قيمة كلّ مما يأتي (بوحدة kJ):

1. طاقة المواد المتفاعلة.
2. طاقة المواد الناتجة.
3. طاقة المعقّد المنشط.
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 المنشط وطاقة المواد المتفاعلة:

طاقة تنشيط التفاعل الأمامي = طاقة المعقّد المنشط - 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 المنشط وطاقة المواد الناتجة:

طاقة تنشيط التفاعل العكسي = طاقة المعقّد المنشط - 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 أيضًا بحساب الفرق بين طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي وطاقة التنشيط للتفاعل العكسي:

$$\Delta H = Ea_1 - Ea_2$$

$$\Delta H = 60 - 40$$

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

في تفاعل ما، كانت طاقة المواد المتفاعلة 25 kJ، وكان التغير 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 المعقد المنشط.
3. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.
4. هل التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

تحليل السؤال: (المعطيات)

$$H_R = 25 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = +45 \text{ kJ}$$

$$E_{a2} = 55 \text{ kJ}$$

المطلوب:

الحل:

1. أحسب طاقة المواد الناتجة من الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة والتغير في المحتوى الحراري:

$$\Delta H = H_P - H_R$$

$$+45 = H_P - 25$$

$$H_P = 70 \text{ kJ}$$

2. أحسب طاقة المعقد المنشط بمعرفة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي وطاقة المواد الناتجة:

$$E_{a2} = H_C - H_P$$

$$55 = H_C - 70$$

$$H_C = 125 \text{ kJ}$$

3. أحسب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من الفرق بين طاقة المعقد المنشط وطاقة المواد المتفاعلة:

$$E_{a1} = H_C - H_R = 125 - 25 = 100 \text{ kJ}$$

4. ألاحظ أن إشارة التغير في المحتوى الحراري موجبة، وهذا يعني أن التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية.

✓ **أتحقق:** في تفاعل ما، كانت قيمة التغير في المحتوى الحراري للتفاعل -80 kJ، وطاقة المواد الناتجة 15 kJ،

وطاقة المعقد المنشط 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؟

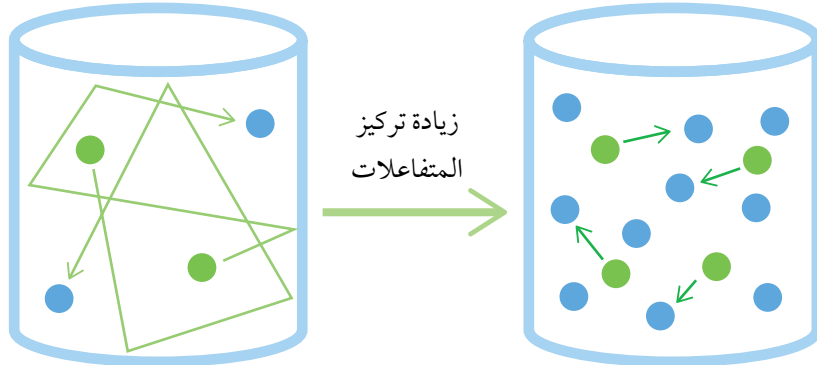
طبيعة المواد المتفاعلة The Nature of Reactants

تتفاعل بعض المواد أسرع من غيرها في الظروف نفسها تبعاً لطبيعتها ونشاطها الكيميائي، فمثلاً: الصوديوم أسرع تفاعلاً مع الماء مقارنة بالمغنيسيوم؛ لأن الصوديوم أكثر نشاطاً كيميائياً من المغنيسيوم، وأيضاً تفاعل المغنيسيوم مع محلول نترات الفضة أسرع من تفاعل النحاس؛ لأن المغنيسيوم أنشط كيميائياً 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، ومن ثم تكون سرعة التفاعل أكبر.

تركيز المواد المتفاعلة Concentration of Reactants

تؤدي زيادة تركيز المواد المتفاعلة إلى زيادة عدد الجسيمات في وحدة الحجم، فيزداد عدد التصادمات الفعالة بينها، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل. فمثلاً: 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 نفسها مع 20 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl، تركيزه 0.1M في الفترة الزمنية نفسها. وسرعة تفاعل المواد مع الأكسجين النقي O_2 أكبر من سرعة تفاعلها مع الهواء؛ لأن تركيز الأكسجين النقي أكبر من تركيزه في الهواء. أنظر الشكل (20) الذي يبين زيادة عدد تصادمات الجسيمات المتفاعلة بزيادة تركيزها.

الشكل (20): زيادة عدد التصادمات بزيادة تركيز الجسيمات المتفاعلة.



مساحة سطح المواد المتفاعلة Surface Area of Reactant

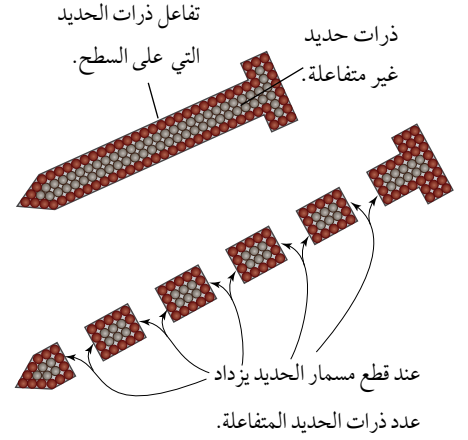
تؤدي زيادة مساحة سطح المواد الصلبة المعرضة للتفاعل إلى زيادة عدد التصادمات الفعّالة؛ فتزداد سرعة التفاعل.

عند تجزئة القطعة الكبيرة من المادة الصلبة إلى قطع أصغر أو طحنها على شكل مسحوق تزداد مساحة السطح المعرض للتفاعل، وبهذا؛ تزداد سرعة التفاعل، أنظر الشكل (21)، ألاحظ زيادة عدد ذرات الحديد المتفاعلة بزيادة مساحة السطح المعرض للتفاعل.

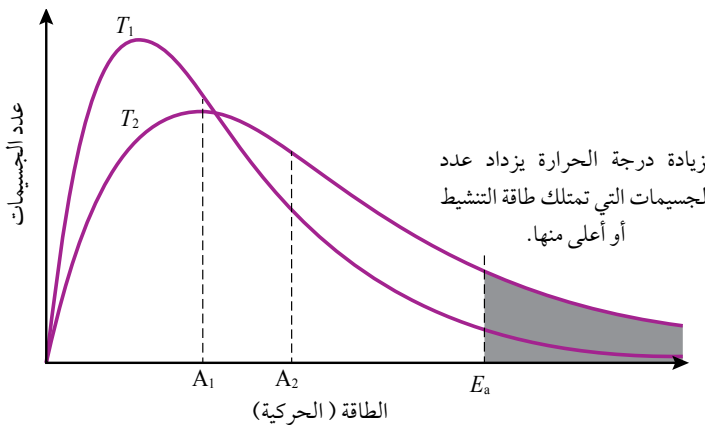
فمثلاً: تحترق نشارة الخشب بسرعة أكبر من احتراق قطعة الخشب ذات الكتلة نفسها، كما أن تفاعل برادة الحديد مع حمض الهيدروكلوريك أسرع من تفاعل قطعة الحديد التي لها الكتلة نفسها.

درجة الحرارة Temperature

تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى رفع الطاقة الحركية لجسيمات المواد المتفاعلة، ومن ثمّ يزداد عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة تساوي طاقة التنشيط أو أعلى منها؛ فيزداد عدد التصادمات الفعّالة فتزداد سرعة التفاعل. ويمكن توضيح ذلك من الشكل (22) الذي يبين توزيع الطاقة الحركية على الجسيمات عند درجتَي حرارة T_1 و T_2 حيث $T_2 > T_1$ ، وتمثل المساحة تحت كل منحنى 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، ويكون عدد الجسيمات عند درجة حرارة T_2 أكثر من عددها عند درجة الحرارة T_1 ؛ فتزداد سرعة اصطدام بعضها ببعض، ويزداد بذلك عدد التصادمات الفعّالة؛ مما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل.



الشكل (21): أثر زيادة مساحة السطح في سرعة التفاعل.

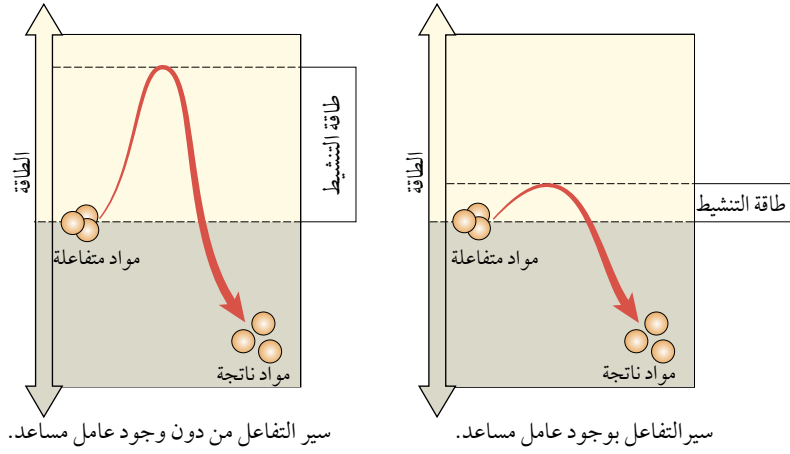


الشكل (22): توزيع الطاقة الحركية على الجسيمات عند درجتَي حرارة T_1 و T_2 .



تتفاعل مكونات الخلطة الإسمنتية (الخرسانة) وتتصلب بسرعة صيفاً؛ بسبب ارتفاع درجة الحرارة، في حين تتصلب ببطء في فصل الشتاء، بسبب انخفاضها، وكلاهما يؤثر في الموصفات القياسية المطلوبة لها، وللتقليل من هذا الأثر يعمل المهندس المختص على إضافة مواد كيميائية بنسب محددة إلى الخلطة لزيادة سرعة تصلبها أو إبطائها؛ ضمن فترة زمنية محددة تبعاً لمواصفات قياسية. وبهذا يضاف كلوريد الكالسيوم إلى الخلطة لزيادة سرعة تصلبها في فصل الشتاء، في حين يضاف الجبس إلى الخلطة لإبطاء سرعة تصلبها في فصل الصيف.

الشكل (24): منحني سير تفاعل بوجود العامل المساعد وعدم وجوده.



الشكل (23): أثر العامل المساعد في طاقة التنشيط وسير التفاعل.

العامل المساعد (الحفاز) Catalyst

تزداد سرعة التفاعل الكيميائي بوجود العامل المساعد الذي يمهد مساراً بديلاً للتفاعل، بحيث يقلل طاقة التنشيط؛ مما يجعل التفاعل أسرع ويحدث في زمن أقل. أنظر الشكل (23).

أما الشكل (24)، فيوضح تفاعلاً كيميائياً طارداً للطاقة الحرارية، إذ يُمثّل الخط المتصل مسار التفاعل من دون وجود عامل مساعد، في حين يُمثّل الخط المتقطع مسار التفاعل بوجود عامل مساعد، وألاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل بوجود العامل المساعد E_{a1}^* ، أقل منها للتفاعل من دون وجود العامل المساعد E_{a1} ، وأن طاقة المواد المتفاعلة والنتيجة لا تتأثر بوجود العامل المساعد.

تشير الرموز في الشكل إلى:

H_C طاقة المعقد المنشط من دون عامل مساعد.

H_C^* طاقة المعقد المنشط بوجود عامل مساعد.

E_{a1} طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد.

E_{a1}^* طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد.

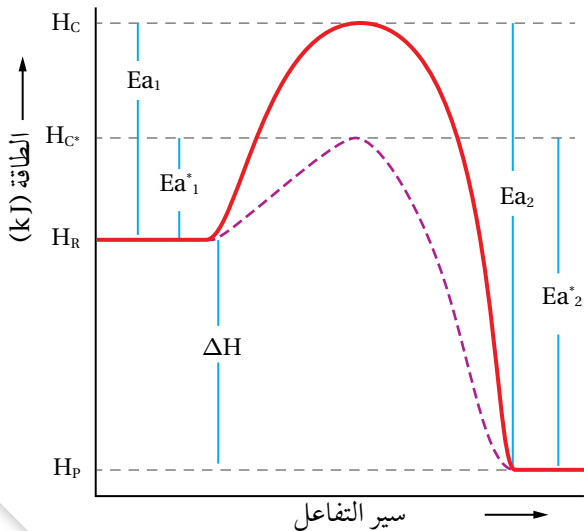
E_{a2} طاقة تنشيط التفاعل العكسي من دون عامل مساعد.

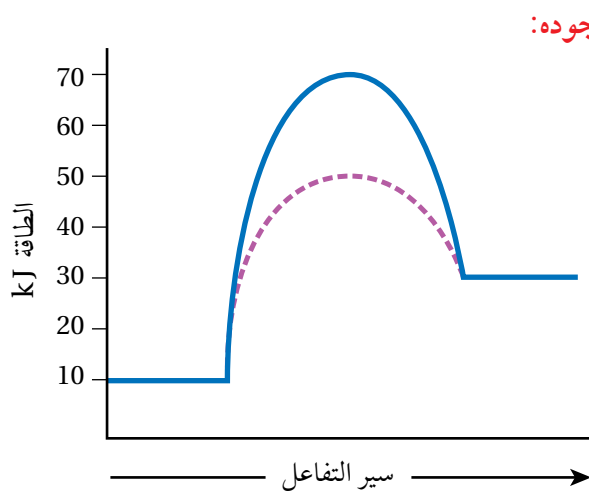
E_{a2}^* طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.

ΔH التغير في المحتوى الحراري للتفاعل.

توضح الأمثلة الآتية حساب طاقة تنشيط التفاعل بوجود

العامل المساعد ومن دون وجوده.





يُبيّن الشكل سير تفاعل ما بوجود العامل المساعد ومن دون وجوده:

أستنتج من الشكل، (بوحدة kJ):

1. طاقة المواد المتفاعلة H_R
2. طاقة المواد الناتجة H_P
3. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد Ea_1
4. طاقة المعقّد المنشط بوجود العامل المساعد H_C^*
5. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد Ea_1^*
6. طاقة تنشيط التفاعل العكسي من دون عامل مساعد Ea_2
7. طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد Ea_2^*
8. التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ΔH

الحل:

1. $H_R = 10 \text{ kJ}$

2. $H_P = 30 \text{ kJ}$

3. أحسب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد، وذلك بطرح طاقة المواد المتفاعلة من طاقة المعقّد المنشط من دون عامل مساعد:

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

4. طاقة المعقّد المنشط بوجود العامل المساعد = 50 kJ

5. أحسب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد، وذلك بطرح طاقة المواد المتفاعلة من طاقة المعقّد المنشط بوجود عامل مساعد:

$$Ea_1^* = H_C^* - H_R = 50 - 10 = 40 \text{ kJ}$$

6. أحسب طاقة تنشيط التفاعل العكسي من دون عامل مساعد، وذلك بطرح طاقة المواد الناتجة من طاقة المعقّد المنشط من دون عامل مساعد:

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

7. أحسب طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد، وذلك بطرح طاقة المواد الناتجة من طاقة المعقّد المنشط بوجود عامل مساعد:

$$Ea_2^* = H_C^* - H_P = 50 - 30 = 20 \text{ kJ}$$

8. أحسب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل، وذلك بإيجاد الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة والمواد الناتجة:

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

في تفاعل ما، كان التغير في المحتوى الحراري للتفاعل -40 kJ ، وطاقة المواد المتفاعلة 70 kJ ، وطاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد 110 kJ ، وطاقة المعقد المنشط بوجود العامل المساعد 80 kJ ، أحسب:

- 1- طاقة التنشيط للتفاعل العكسي من دون عامل مساعد E_{a2} .
- 2- طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد E_{a1}^* .
- 3- طاقة المعقد المنشط للتفاعل من دون عامل مساعد H_C .
- 4- طاقة المواد الناتجة H_P .

الحل:

$$\Delta H = E_{a1} - E_{a2} \quad -1$$

$$-40 = 110 - E_{a2}$$

$$E_{a2} = 150 \text{ kJ}$$

$$H_C^* = E_{a1}^* - H_R \quad -2$$

$$80 - E_{a1}^* + 70$$

$$E_{a1}^* = 10 \text{ kJ}$$

$$H_C = E_{a1} + H_R \quad -3$$

$$H_C = 110 + 70 = 180 \text{ kJ}$$

$$\Delta H = H_P - H_R \quad -4$$

$$-40 = H_P - 70$$

$$H_P = 30 \text{ kJ}$$

الربط بعلم الأحياء

الأنزيمات

وهب الله تعالى بعض الخلايا في أجسامنا القدرة على إنتاج الأنزيمات؛ فبعضها يعمل بوصفه عوامل مساعدة في تسريع حدوث التفاعلات في الخلايا، إذ تخفّض طاقة التنشيط للتفاعل، ويعود ذلك إلى أن كثيرًا من التفاعلات في أجسام الكائنات الحية لا تحدث بالسرعة الكافية للمحافظة على الحياة إلا بوجود الأنزيمات. فمثلاً: أنزيم السكريز يحفز التحلل المائي لمحلول سكر السكروز لتكوين سكريات الفركتوز والجلوكوز؛ لإمداد الجسم بالطاقة اللازمة للقيام بالأعمال الحيوية.

✓ **أتحقّق:** تفاعل افتراضي فيه طاقة المواد المتفاعلة 110 kJ ، وطاقة المواد

الناتجة 80 kJ ، وطاقة المعقد المنشط من دون عامل مساعد 180 kJ ، وطاقة

المعقد المنشط بوجود عامل مساعد 140 kJ ، أحسب:

1. طاقة تنشيط التفاعل العكسي من دون عامل مساعد.

2. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود العامل المساعد.

3. التغير في المحتوى الحراري.

4. هل التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

التجربة ١

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

المواد والأدوات:

محلولاً حمض HCl ، تركيز أحدهما 0.1M وتركيز الآخر 1 M، حَبَّتَانِ لهما الحجم نفسه من فلزّ الخارصين Zn ، محلول نشأ، 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 درجة (1°C)، مخبر مدرّج، كأس زجاجية عدد (5) سعة 100 mL، ملعقة تحريك.

إرشادات السلامة:

- اتّباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- الحذر من استنشاق أو لمس حمض الهيدروكلوريك HCl وفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 .

خطوات العمل:

- 1- **أقيس** 15 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl ، تركيزه 1M باستخدام المخبر المدرج، وأضعها في الكأس الزجاجية. وأكرر العملية مع محلول HCl تركيزه 0.1 M في كأس زجاجية أخرى.
- 2- أضع حَبَّة 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 النشأ.
- 4- أضع إحدى الكأسين في الحمام المائي الساخن، والكأس الأخرى في الحمام المائي البارد، وأتركهما مدة 5 min.
- 5- أضيف إلى 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 النشأ 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.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أوضح كيف تفسر نظرية التصادم حدوث التفاعل الكيميائي.

2. أوضح المقصود بكل من: المعقّد المنشّط، طاقة التنشيط للتفاعل.

3. أفسّر أثر كل مما يأتي في سرعة التفاعل الكيميائي:

أ. تركيز المواد المتفاعلة.

ب. درجة الحرارة.

ج. 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 من دون عامل مساعد |
|-------------|---------------------|----------------------------|---------------------------------------|---|
| الطاقة (kJ) | 50 | +20 | 70 | 110 |

أ. قيمة طاقة المواد المتفاعلة.

ب. قيمة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.

ج. قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي من دون عامل مساعد.

د. قيمة طاقة المعقّد المنشّط للتفاعل من دون عامل مساعد.

هـ. هل التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

و. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد.

5. ما تأثير العامل المساعد في كل من: طاقة المواد المتفاعلة، طاقة تنشيط التفاعل العكسي، طاقة المعقّد المنشّط، التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل، زمن حدوث التفاعل.

6. في التفاعل الافتراضي: $A + B \rightleftharpoons C + D + 80 \text{ kJ}$ ، إذا كانت طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي 55 kJ وطاقة المواد الناتجة 15 kJ، فأجد قيمة كلّ مما يأتي بوحدة (kJ):

أ. طاقة التنشيط للتفاعل العكسي.

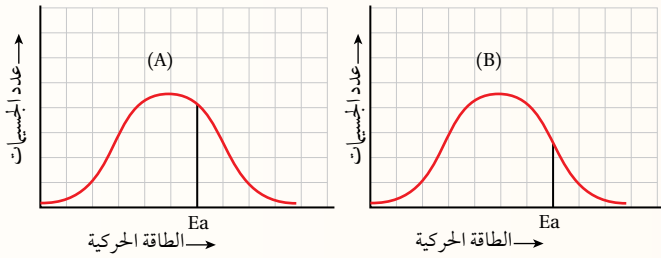
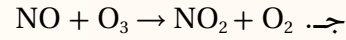
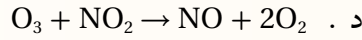
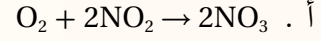
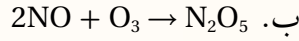
ب. طاقة المعقّد المنشّط.

7. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. يبين الشكل الآتي الاتجاه الصحيح للتصادم الفعال في تفاعل كيميائي:



إن المعادلة الكيميائية التي تمثل هذا التفاعل، هي:



2. يبين الشكل المجاور طاقة التنشيط وعدد

الجسيمات التي تمتلكها لتفاعلين افتراضيين

لهما الرمزان الافتراضيان (B, A). فإن

إحدى العبارات الآتية صحيحة:

أ. سرعة التفاعل A أقل من سرعة التفاعل B.

ب. عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة كافية لتكوين المعقد المنشط في التفاعل B أكبر منها في التفاعل A.

ج. طاقة التنشيط للتفاعل A أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل B.

د. الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة وطاقة المعقد المنشط للتفاعل A أقل منه في التفاعل B.

3. في تفاعل لقطعة من الصوديوم Na وقطعة من الألمنيوم Al لهما الكتلة نفسها مع حمض الهيدروكلوريك HCl

المُخَفَّف، وعند الظروف نفسها، إذا كانت سرعة تفاعل قطعة Na أكبر من سرعة تفاعل قطعة Al، فإن

العامل المؤثر في سرعة التفاعل:

ب. مساحة السطح.

أ. طبيعة المادة.

د. درجة الحرارة.

ج. تركيز المادة.

4. تؤدّي إضافة العامل المساعد للتفاعل الكيميائي إلى انخفاض:

أ. قيمة التغير في المحتوى الحراري ΔH .

ب. طاقة وضع المواد المتفاعلة.

ج. طاقة التنشيط للتفاعل.

د. طاقة وضع المواد الناتجة.

5. في التفاعل الافتراضي الآتي: $\text{X} + 50 \text{ kJ} \rightleftharpoons \text{Y}$ ، إذا علمت أن:

طاقة تنشيط التفاعل الأمامي 70 kJ، وطاقة المعقد المنشط 140 kJ، فإن قيمة طاقة المواد الناتجة kJ تساوي:

ب. 80

أ. 70

د. 120

ج. 90

تزداد سرعة التفاعل بزيادة درجة الحرارة؛ فعند إعداد الطعام نزيد درجة الحرارة لإنضاجه. ولكن ترك الأطعمة في درجة حرارة الغرفة مدّة طويلة يؤدي إلى تلفها؛ بسبب حدوث تفاعلات كيميائية، فالتفاعلات الكيميائية التي تسبب تلف الأطعمة تكون أسرع كثيرًا عند درجة حرارة الغرفة منها عند وضع الأطعمة في الثلاجة. وبهذا تكون المحافظة على الأطعمة من التلف بحفظها في الثلاجة لضبط التفاعلات التي تحدث وتسبب تلفها. وكذلك بإضافة المواد الحافظة، ففي الصناعات الغذائية بوجه عام تُستخدم طرائق مختلفة لحفظ الأطعمة، منها التجميد والتجفيف، أيضًا تُستخدم مواد تسمى المُثَبِّطات Inhibitors، وهي مواد تقلل من سرعة التفاعل عن طريق زيادة طاقة التنشيط، ومن أمثلتها: المواد الحافظة، وهي مواد مضادة للأكسدة؛ لأن الأكسدة تسبب تلف الأطعمة ولاسيما تلك التي تحتوي على الدهون مثل الأجبان. واستعمال المواد الحافظة آمن في المنتجات الغذائية، وتزيد من مدة صلاحية الغذاء، ومن أنواع المواد الحافظة: مضادات البكتيريا، وهي مركّبات كيميائية لها رموز وأرقام، مثل المركّبات E(220 – 227)، الذي يدخل ثاني أكسيد الكبريت SO_2 في تركيبها الأساسي وتُستخدم في حفظ الفواكه.



مراجعة الوحدة

1. أوضّح المقصود بكل من: الرتبة الكلية للتفاعل، سرعة التفاعل الكيميائي.
2. أفسّر ما يأتي:

أ . لا تؤدي جميع التصادمات إلى حدوث تفاعل كيميائي.

ب. زيادة سرعة التفاعل بإضافة عامل مساعد.

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

| التركيز (M) | الزمن S |
|-------------|---------|
| 6 | 0 |
| 4 | 2 |
| 2 | 5 |
| ؟ | 9 |

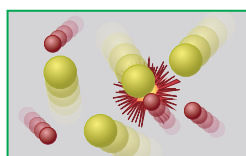
أ . أَسْتَنْتِج ما إذا كانت المادة متفاعلة أم ناتجة، وأفسّر إجابتي.

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

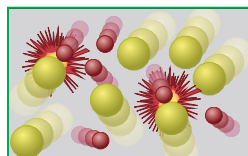
جـ. أَتَوَقَّع: كم يصبح تركيز المادة عند الزمن 9s (أكبر من 2 أم أقل)؟ أفسّر إجابتي.

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

أحسب سرعة تكوين C، علماً أن سرعة استهلاك B تساوي 0.12 M.s^{-1}



(أ)

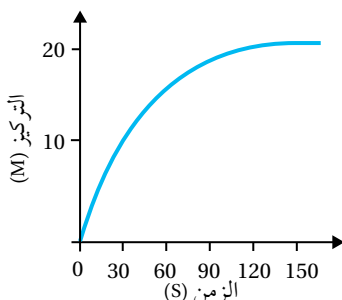


(ب)

5. يُمثّل الشكلان (أ) و(ب) تفاعلاً ما في ظرفين مختلفين.

أَسْتَنْتِج أي الشكلين يُمثّل التفاعل الأسرع، وأحدد

العامل المؤثر في سرعة هذا التفاعل.



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

أ . أحدّد الزمن اللازم لإتمام التفاعل.

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

جـ. أَسْتَنْتِج هل المادة متفاعلة أم ناتجة.

7. أَسْتَنْتِج قانون سرعة التفاعل من المعلومات الواردة في الجدول الآتي للتفاعل عند درجة حرارة معينة: $A + B \rightarrow$

| 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 |



الشكل (أ)



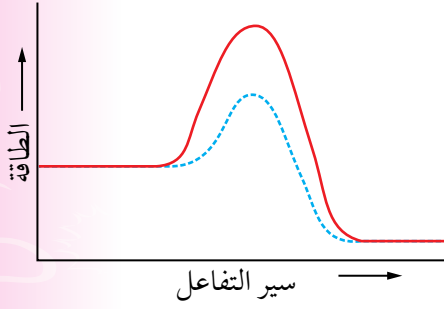
الشكل (ب)

8. أَتَوَقَّع من الشكلين الآتيين (أ) و(ب) الشرط

الذي أدّى إلى حدوث التفاعل الكيميائي، ثم

أفسّر إجابتي.

مراجعة الوحدة



9. يُمثّل الشكل الآتي سير تفاعل بوجود عامل مساعد، ومن دون عامل مساعد، أحدّد على الشكل كلّاً من:
طاقة المعقّد المنشّط بوجود عامل مساعد، طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد، طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود مساعد، التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل، الانخفاض في طاقة المعقّد المنشّط نتيجة إضافة عامل مساعد.

10. يبين الجدول المجاور بيانات للتفاعل الافتراضي: $X + Y \rightarrow XY$ ، عند درجة حرارة معينة، إذا علمت أنّ العلاقة بين

| 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 |

سرعة تفاعل المادة X وتركيزها علاقة خطّ مستقيم متزايد، فأجيب عن الأسئلة الآتية:
أ. أكتب قانون سرعة التفاعل.
ب. أجد قيمة (k) ووحدته.
ج. أحسب قيمة السرعة الابتدائية W في التجربة 3.

11. يبين الجدول المجاور بيانات للتفاعل الافتراضي: $A + B + C \rightarrow$ نواتج عند درجة حرارة معينة:

| التجربة | [A] M | [B] M | [C] M | السرعة الابتدائية للتفاعل 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 رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. في التفاعل الافتراضي: $2A + 2B \rightarrow 4D$ ، إذا كانت رتبة التفاعل للمادة A = 0، وثابت السرعة $k = 0.1 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ؛

فإن رتبة التفاعل للمادة B تساوي:

أ. صفراً. ب. 1. ج. 2. د. 3.

2. العبارة الصحيحة مما يأتي في ما يتعلق بالعامل المساعد:

أ. يزيد من طاقة التنشيط للتفاعل.
ب. يقلل من طاقة المعقّد المنشّط.
ج. يقلل المحتوى الحراري للتفاعل.
د. يزيد من طاقة النواتج.

3. عند زيادة مساحة سطح المادة المتفاعلة المُعرّض للتفاعل عند الظروف نفسها، فإن العبارة الصحيحة:

أ. تقل سرعة التفاعل. ب. يزداد التركيز. ج. تزداد عدد التصادمات الفعّالة. د. تقل درجة الحرارة.

4. إذا كانت طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي 70 kJ وكان التغيّر في المحتوى الحراري 50 kJ -؛ فإن طاقة التنشيط

للتفاعل العكسي تساوي بوحدة kJ:

أ. 20. ب. 50. ج. 70. د. 120.

5. تؤدي زيادة درجة حرارة التفاعل إلى:

أ. زيادة طاقة التنشيط.
ب. تقليل سرعة التفاعل.
ج. زيادة عدد التصادمات الفعّالة.
د. تقليل متوسط الطاقة الحركية.

6. وُجد في تفاعل افتراضي أن مضاعفة تركيز A مع ثبات تركيز B، لا يؤثر في سرعة التفاعل، وأن مضاعفة تركيز B ثلاث مرات مع ثبات تركيز A ضاعفت سرعة التفاعل تسع مرات. إن قانون سرعة هذا التفاعل:

أ. $R = k [B]^2$ ب. $R = k [A]^1 [B]^1$ ج. $R = k [A]^2 [B]^1$ د. $R = k [A]^2$

7. في تفاعل ما، إذا 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 ج. +120 د. -120

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

أ. درجة الحرارة. ب. طبيعة المتفاعلات. ج. التركيز. د. العامل المساعد.

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

* في تجربة ما، تم الحصول على البيانات الآتية عند درجة حرارة

مُعَيَّنة لتفاعل مادتين A و B وسُجِّلَت في الجدول المجاور.

أَتَأْمَلُ الجدول ثم أجيب عن الفقرتين (9، 10) الآتيتين:

9. سرعة تفاعل المادة A في الفترة الزمنية (10 – 20 s) بوحدة M/s:

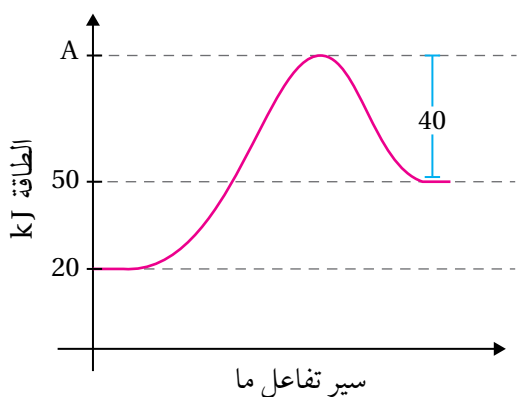
أ. 0.4 ب. 0.04 ج. 0.004 د. 0.0004

10. أستنتج: أي التراكيز الآتية يعدّ صحيحاً للمادتين A، و B في التجربة رقم (3)؟

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

ج. $[A] = 0.04$ ، $[B] = 0.02$ د. $[A] = 0.09$ ، $[B] = 0.08$

13. يُبين الشكل المجاور تغير الطاقة خلال سير التفاعل. أدرس الشكل، ثم أجيب عما يأتي:



ما قيمة كل مما يأتي:

أ. طاقة المعقد المنشط.

ب. التغير في المحتوى الحراري.

ج. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.

د. إذا أُضيف عامل مساعد كتلته 3 g، وانخفضت طاقة المعقد

المنشط بمقدار 10 kJ، فما قيمة طاقة التنشيط للتفاعل

الأمامي بعد إضافة العامل المساعد؟

هـ. ما كتلة العامل المساعد بعد انتهاء التفاعل؟

14. اعتماداً على البيانات في الجدول الآتي لتفاعل ما، ما قيمة الطاقة التي تدل عليها كل من الرموز (أ، ب، ج، د)؟

| سير التفاعل | طاقة المواد الناتجة | طاقة المعقد المنشط | طاقة تنشيط التفاعل العكسي | طاقة تنشيط التفاعل الأمامي |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|
| من دون عامل مساعد | أ | ب | 170 | ج |
| بوجود عامل مساعد | 40 | 150 | د | 80 |



أتأملُ الصورة

هل تساءلت يوماً عن القوة الهائلة الكامنة خلف انطلاق صاروخ إلى الفضاء؟ تنتج هذه القوة من تفاعلات التأكسد والاختزال. يُستخدم الهيدرازين N_2H_4 وقوداً للصواريخ؛ إذ يتفاعل مع غاز رباعي أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 بمجرد التلامس دون الحاجة إلى شرارة، ويعمل رباعي أكسيد ثنائي النيتروجين على أكسدة الهيدرازين، فينتج غاز النيتروجين N_2 وبخار الماء H_2O وكمية هائلة من الطاقة؛ فتتمدد الغازات بسرعة؛ ما يؤدي إلى دفع الصاروخ وانطلاقه من منصّة الإطلاق، بفضل تفاعلات التأكسد والاختزال. فما المقصود بتفاعلات التأكسد والاختزال؟ وما التطبيقات العملية المرتبطة بها؟

الفكرة العامة:

تعدّ تفاعلات التأكسد والاختزال شائعة في الطبيعة، ومهمّة في الصناعة، وتتضمّن انتقال الإلكترونات من المادة التي تتأكسد إلى المادة التي تُختزل، وما يُصاحبها من إنتاج طاقة كهربائية أو استهلاكها.

الدرس الأول: التأكسد والاختزال

الفكرة الرئيسة: تفاعلا التأكسد والاختزال متلازمان؛ إذ تُحدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت عن طريق التغيّر في أعداد التأكسد، ويمكن موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل.

الدرس الثاني: الخلايا الجلفانيّة

الفكرة الرئيسة: تتحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في الخلية الجلفانيّة عن طريق تفاعل تأكسد واختزال تلقائي الحدوث، ويعتمد فرق الجهد الناتج على جهود الاختزال المعيارية للأقطاب المكوّنة لها.

الدرس الثالث: خلايا التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسة: تُستخدم الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي في خلايا التحليل الكهربائي.

تجربة استهلاكية

تفاعل بعض الفلزّات مع حمض الهيدروكلوريك HCl

المواد والأدوات: شريط مغنيسيوم طوله 5 cm، حبيبات الخارصين Zn، حبيبات الألمنيوم Al، سلك نحاس Cu، محلول حمض الهيدروكلوريك HCl، تركيزه (1 M)، أنابيب اختبار عدد (4)، حامل أنابيب الاختبار، مخبر مُدَرَّج، ورق صنفرة.

إرشادات السلامة:

• اتّباع إرشادات السلامة العامة في المختبر. • ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات. • التعامل مع الحمض بحذر.

خطوات العمل:

التحليل والاستنتاج:

1- أُحَدِّدُ الفلزّات التي تفاعلت مع حمض الهيدروكلوريك HCl.

2- **أُرَتِّبُ** الفلزّات حسب نشاطها في تفاعلها مع الحمض.

3- أكتبُ معادلات كيميائية موزونة للفلزّات التي تفاعلت مع الحمض.

4- أُحَدِّدُ التغيّر الذي طرأ على شحنة كل فلز في التفاعلات السابقة. ما نوع التفاعل؟

1 أحضر 4 أنابيب اختبار نظيفة وجافة، وأرقّمها من (1-4)، وأضعها على حامل الأنابيب.

2 **أقيس.** أضعُ باستخدام المخبر المُدَرَّج 10 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl في كل أنبوب.

3 **ألاحظ.** أنظفُ شريط المغنيسيوم جيّداً باستخدام ورق الصنفرة، ثم أضعه في أنبوب الاختبار رقم (1) وأرجّه بلطف. هل حدث تفاعل؟ ما الدليل على حدوثه؟ أسجّل ملاحظاتي في جدول البيانات.

4 **أجرب.** أكرّر الخطوات السابقة باستخدام حبيبات الخارصين وحبيبات الألمنيوم وسلك النحاس. هل حدث تفاعل؟ هل تختلف الفلزّات في نشاطها في التفاعل مع الحمض؟ أسجّل ملاحظاتي في جدول البيانات.

5 **أنظّم البيانات.** أسجّل ملاحظاتي حول تفاعل الفلزّات المستخدمة مع حمض HCl في الجدول الآتي:

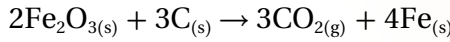
جدول البيانات:

| الفلزّ | حدوث تفاعل | تصاعد غاز H_2 | النشاط |
|--------|------------|-----------------|-----------------------------|
| | نعم، لا | نعم، لا | أنشط، أقل نشاطاً، لم يتفاعل |
| Mg | | | |

مفهوم التأكسد والاختزال Oxidation and Reduction Concept

تهتم الكيمياء الكهربائية Electrochemistry، بوصفها أحد فروع الكيمياء، بدراسة التحولات بين الطاقة الكيميائية والكهربائية الناتجة عن تفاعلات التأكسد والاختزال والتطبيقات العملية المرتبطة بها.

وتعدُّ تفاعلات التأكسد والاختزال من التفاعلات الكيميائية المهمة التي تحدث في بعض العمليات الحيوية، مثل البناء الضوئي والتنفس وتحرير الطاقة من الغذاء اللازم لأداء الكائن الحي أنشطته المختلفة. وتحصل وسائل النقل على الطاقة اللازمة لتسييرها بحرق الوقود عن طريق تفاعلات تأكسد واختزال أيضًا، وينتج صدأ الحديد عن تفاعلات تأكسد واختزال تحدث عند تعرّض الحديد للهواء الجوي الرطب. فما المقصود بالتأكسد والاختزال؟ وكيف تُحدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت في التفاعل؟ وكيف تُوازن معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل؟ استخدم الكيميائيون القدامى مصطلح التأكسد لوصف تفاعل المادة مع الأكسجين، ومصطلح الاختزال لوصف نزع الأكسجين من المادة، كما يوضّح التفاعل الآتي:



فالتأكسد حدث للكربون لأنه ارتبط بالأكسجين، أمّا الاختزال فقد حدث عند نزع الأكسجين من أكسيد الحديد III. أنظر الشكل (1) الذي يبيّن الحديد الناتج عن عملية الاختزال.

الفكرة الرئيسة:

تفاعلا التأكسد والاختزال متلازمان؛ إذ تُحدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت عن طريق التغيّر في أعداد التأكسد، ويمكن موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل.

نتائج التعلم:

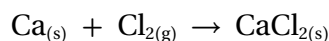
- أوضّح مفاهيم التأكسد والاختزال، وعدد التأكسد، والعامل المؤكسد، والعامل المختزل، والتأكسد والاختزال الذاتي.
- أحمّد عدد التأكسد لذرات العناصر في المواد المختلفة.
- أوازن معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل.

المفاهيم والمصطلحات:

| | |
|--------------------------|---------------------------------|
| الكيمياء الكهربائية | Electrochemistry |
| التأكسد | Oxidation |
| الاختزال | Reduction |
| تفاعل التأكسد والاختزال | Redox Reaction |
| عدد التأكسد | Oxidation Number |
| العامل المؤكسد | Oxidising Agent |
| العامل المختزل | Reducing Agent |
| التأكسد والاختزال الذاتي | Autoxidation-Reduction Reaction |

الشكل (1): الحديد الناتج عن عملية الاختزال.

ومع مرور الوقت، تطوّر مفهوم التأكسد والاختزال ليشمل تفاعلاتٍ أخرى لا تتضمن التفاعل مع الأكسجين، فعُرف **التأكسد Oxidation** بأنه فقدُ المادة للإلكترونات خلال التفاعل الكيميائي، أمّا **الاختزال Reduction** فهو كسبُ المادة للإلكترونات خلال التفاعل الكيميائي. وتُعَدُّ عمليتا التأكسد والاختزال متلازمتين؛ تحدث إحداهما مع حدوث الأخرى، ويسمى التفاعل الذي تحدث فيه عمليتا التأكسد والاختزال معاً **تفاعلًا تأكسد واختزال Redox Reaction**.
فمثلاً: يتفاعل الكالسيوم مع غاز الكلور حسب المعادلة:



يلاحظ أنّ كلّاً من الكالسيوم والكلور في المواد المتفاعلة مُتَعَادِلَا الشحنة، وأنّ مركّب كلوريد الكالسيوم الناتج CaCl_2 مركّب أيوني تكوّن من اتحاد أيون الكالسيوم الموجب Ca^{+2} وأيون الكلوريد السالبين 2Cl^- ، حيث تكون أيون الكالسيوم نتيجة تأكسد ذرة الكالسيوم بفقد إلكترونين واختزال ذرتي الكلور في جزيء الكلور Cl_2 ، بحيث تكسب كلّ ذرة منه إلكترونًا واحدًا. ولتوضيح ذلك؛ يمكن كتابة معادلة التفاعل السابقة على شكل نصفي تفاعل، حيث يوضّح نصف التفاعل Half Reaction فقدَ الإلكترونات خلال عملية التأكسد، أو اكتسابها خلال عملية الاختزال كما يأتي:

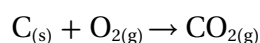
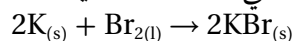


ألاحظ أنّ عدد الإلكترونات المفقودة خلال عملية التأكسد يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة خلال عملية الاختزال.

✓ **أنتحق:**

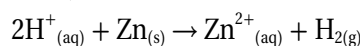
1- أُحَدِّدُ الذرات التي تأكسدت أو

اختزلت في التفاعلات الآتية:



2- أكتبُ نصفَ تفاعل التأكسد ونصفَ

تفاعل الاختزال للتفاعل الآتي:



المثال 1

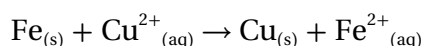
يتفاعل الحديد Fe مع محلول كبريتات النحاس CuSO_4 II حسب المعادلة:



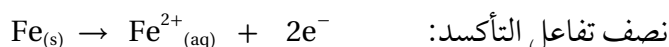
أحدّد الذرة أو الأيون الذي تأكسد أو اختزل في التفاعل، وأكتبُ أنصافَ تفاعلات التأكسد والاختزال.

الحل:

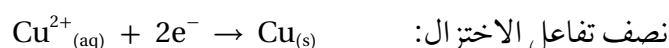
أكتبُ معادلة أيونية تمثّل التفاعل:



ألاحظ أنّ ذرة الحديد المتعادلة تأكسدت بفقد إلكترونين متحوّلة لأيون الحديد الموجب Fe^{2+} حسب المعادلة:



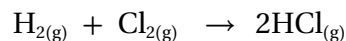
وأما أيون النحاس Cu^{2+} فقد اختزل بكسب إلكترونين مُتحوّلاً لذرة النحاس المتعادلة، كما في المعادلة الآتية:



عدد التأكسد Oxidation Number

لا تقتصر تفاعلات التأكسد والاختزال على تكوين مركّبات أيونيّة فقط؛ بل تتضمّن أيضًا تكوين مركّبات جزيئيّة ترتبط ذرّات عناصرها بروابط تساهميّة؛ إذ لا تحدث فيها عمليّة فقدٍ وكسبٍ للإلكترونات بشكلٍ كُليّ.

فمثلاً: يتفاعل غاز الهيدروجين مع غاز الكلور لتكوين غاز كلوريد الهيدروجين حسب المعادلة:



الرابطّة بين ذرّتي الهيدروجين رابطّة تساهميّة غير قطبيّة، وكذلك الرابطّة بين ذرّتي الكلور، أمّا بالنسبة إلى كلوريد الهيدروجين فإنّ الرابطّة بين ذرّتي الكلور والهيدروجين رابطّة تساهميّة قطبيّة، ولأنّ الساليّة الكهربائيّة للكلور أعلى من الهيدروجين يكون زوجُ الإلكترونات الرابطّة بين الذرّتين مُزاحاً باتجاه ذرّة الكلور دون أن يحدث له انتقال كُليّ، فتظهر على ذرّة الهيدروجين شحنة جزيئيّة موجبة، ويظهر على ذرّة الكلور شحنة جزيئيّة سالبة، كما يوضّح الشكل (2).

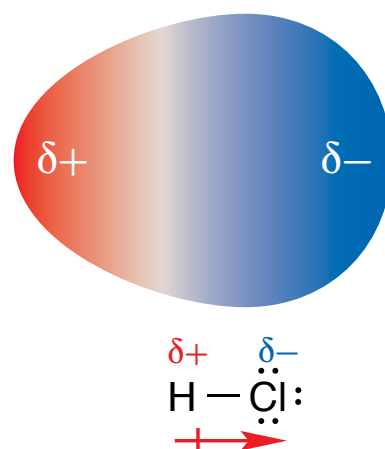
وبناءً على ذلك وضع العلماء مفهوماً جديداً للتأكسد والاختزال يشمل التفاعلات التي لا يحدث فيها انتقال كُليّ للإلكترونات بين الذرّات، يمكن من خلاله تفسير تفاعلات التأكسد والاختزال جميعها، وهو عدد التأكسد.

يعرّف **عدد التأكسد Oxidation Number** بأنه الشحنة الفعليّة لأيون الذرّة في المركّبات الأيونيّة، أمّا في المركّبات الجزيئيّة (التساهميّة) فيعرّف بأنه الشحنة التي يُفترض أن تكتسبها الذرّة المكوّنة للرابطّة التساهميّة مع ذرّة أخرى في ما لو انتقلت إلكتروناتُ الرابطّة كليّاً إلى الذرّة التي لها أعلى ساليّة كهربائيّة. وبناءً عليه؛ يكون عدد تأكسد الهيدروجين (+1) في جزيء HCl، وعدد تأكسد الكلور (-1).

قواعد أساسية لحساب أعداد التأكسد

Basic Rules to Assign Oxidation Numbers

لمعرفة أعداد التأكسد لذرّات العناصر المختلفة والتغيّرات التي تحصل لها في تفاعلات التأكسد والاختزال؛ وُضعت مجموعة من القواعد لحسابها، كما في الجدول (1) الآتي:



الشكل (2): الرابطّة التساهميّة القطبيّة في جزيء HCl.

الجدول (1): قواعد حساب أعداد التأكسد.

| الرقم | قواعد أساسية لحساب أعداد التأكسد | مثال | عدد التأكسد |
|-------|--|---------------------------------------|-------------|
| 1 | عدد تأكسد ذرّة العنصر الحرّ يساوي صفراً، سواء وُجدَ على شكل ذرّات أو جزيئات. | C N ₂ S ₈ | 0 0 0 |
| 2 | عدد تأكسد الأيون أحادي الذرّة يساوي شحنة هذا الأيون. | Cu ²⁺ S ²⁻ | +2 -2 |

| | | | |
|--|--|---|---|
| +1 +2 +3 | Li في Li_2O Ca في CaO Al في AlF_3 | عدد تأكسد عناصر المجموعة الأولى IA وعناصر المجموعة الثانية IIA وعنصر الألمنيوم في جميع مركباتها يساوي: +1، +2، +3 على الترتيب. | 3 |
| +1 -1 -1 | H في HF H في NaH H في BaH_2 | عدد تأكسد الهيدروجين في معظم مركباته (+1)، ما عدا عندما يرتبط مع الفلزّات مكوّنًا هيدريد الفلزّ؛ فيكون حينئذ (-1). | 4 |
| -2 -1 +2 | O في H_2O O في K_2O_2 O في OF_2 | عدد تأكسد الأكسجين في معظم مركباته (-2)، ما عدا فوق الأكاسيد، فيكون حينئذ (-1)، وعندما يرتبط مع الفلور يكون موجبًا. | 5 |
| -1 -1 +1 +3 | F في NaF I في KI Cl في ClF Br في HBrO_2 | عدد تأكسد الفلور في جميع مركباته يساوي (-1)، وعدد تأكسد الهالوجينات Cl، Br، I في معظم مركباتها يساوي (-1)، أما إذا ارتبط أي منها مع الأكسجين أو مع هالوجين ساليته الكهربائية أعلى فيكون عدد تأكسده موجبًا، وترتيبها حسب السالبية الكهربائية: $\text{Cl} > \text{Br} > \text{I}$ | 6 |
| مجموع أعداد التأكسد لجميع ذرات أو أيونات العناصر المكوّنة للمركب المتعادل يساوي صفرًا. | | | 7 |
| مجموع أعداد التأكسد لجميع ذرات العناصر المكوّنة لأيون متعدّد الذرات يساوي شحنة هذا الأيون. | | | 8 |

المثال 2

أحدّد عدد التأكسد لذرة عنصر الكبريت في المركّبات أو الأيونات الآتية:

(ج) HS^-

(ب) Na_2SO_4

(أ) SO_2

الحل:

لحساب عدد التأكسد لذرة العنصر المطلوب؛ أكتب الصيغة الكيميائية للمركب أو الأيون، ثمّ أحدّد بناءً على القواعد الواردة في الجدول أعداد تأكسد ذرات العناصر المعلومة، ثمّ أطبّق القاعدة رقم 7، أو القاعدة رقم 8 إذا كانت الصيغة تمثّل أيونًا.

(أ) SO_2

عدد ذرات الأكسجين في المركب 2، وعدد تأكسد كلّ ذرة أكسجين يساوي -2 (حسب القاعدة 5)، وعدد ذرات الكبريت في المركب 1، والمطلوب حساب عدد تأكسد الكبريت فيه، (حسب القاعدة 7). ومن ثمّ، مجموع أعداد تأكسد لجميع العناصر الداخلة في تكوين المركب جميعها يساوي صفرًا؛ أي أن:

(عدد تأكسد الأكسجين × عدد ذرات الأكسجين) + (عدد تأكسد الكبريت × عدد ذرات الكبريت) = صفرًا

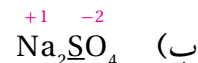
$$(\text{oxidation No of O} \times \text{No of atoms of O}) + (\text{oxidation No of S} \times \text{No of atoms of S}) = 0$$

$$(N_{\text{oxid O}} \times N_{\text{O atoms}}) + (N_{\text{oxid S}} \times N_{\text{S atoms}}) = 0$$

$$(-2 \times 2) + (N_{\text{oxid S}} \times 1) = 0$$

$$N_{\text{oxid S}} = +4$$

أي أن عدد تأكسد الكبريت = +4



ألاحظ أن الصيغة تمثل مركبًا متعادلاً، وعليه، أطبق القاعدة 7:

$$(N_{\text{oxid Na}} \times N_{\text{Na atoms}}) + (N_{\text{oxid S}} \times N_{\text{S atoms}}) + (N_{\text{oxid O}} \times N_{\text{O atom}}) = 0$$

$$(+1 \times 2) + (N_{\text{oxid S}} \times 1) + (-2 \times 4) = 0$$

$$N_{\text{oxid S}} = +6$$



ألاحظ أن المادة هي أيون شحنته -1. وعليه، أطبق القاعدة 8:

$$(N_{\text{oxid H}} \times N_{\text{H atom}}) + (N_{\text{oxid S}} \times N_{\text{S atom}}) = -1$$

$$(+1 \times 1) + (N_{\text{oxid S}} \times 1) = -1$$

$$N_{\text{oxid S}} = -2$$

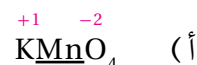
ألاحظ أن لعنصر الكبريت في مركباته السابقة أعداد تأكسد (+4، +6، -2) بالترتيب؛ ف يعني ذلك أنه قد يكون لذرات العنصر الواحد أكثر من عدد تأكسد في مركباته أو أيوناته المختلفة.

المثال 3

أحدد عدد التأكسد لذرة العنصر الذي تحته خط في المركبات أو الأيونات الآتية:



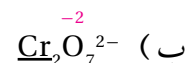
الحل:



$$(N_{\text{oxid K}} \times N_{\text{K atoms}}) + (N_{\text{oxid Mn}} \times N_{\text{Mn atoms}}) + (N_{\text{oxid O}} \times N_{\text{O atoms}}) = 0$$

$$(+1 \times 1) + (N_{\text{oxid Mn}} \times 1) + (-2 \times 4) = 0$$

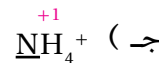
$$N_{\text{oxid Mn}} = +7$$



$$(N_{\text{oxid O}} \times N_{\text{O atoms}}) + (N_{\text{oxid Cr}} \times N_{\text{Cr atoms}}) = -2$$

$$(-2 \times 7) + (N_{\text{oxid Cr}} \times 2) = -2$$

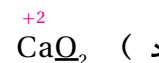
$$N_{\text{oxid Cr}} = +6$$



$$(N_{\text{oxid H}} \times N_{\text{H atoms}}) + (N_{\text{oxid N}} \times N_{\text{N atoms}}) = +1$$

$$(+1 \times 4) + (N_{\text{oxid N}} \times 1) = +1$$

$$N_{\text{oxid N}} = -3$$

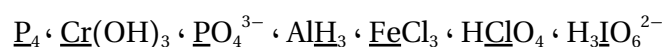


$$(N_{\text{oxid Ca}} \times N_{\text{Ca atoms}}) + (N_{\text{oxid O}} \times N_{\text{O atoms}}) = 0$$

$$(+2 \times 1) + (N_{\text{oxid O}} \times 2) = 0$$

$$N_{\text{oxid O}} = -1$$

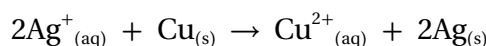
✓ **أنحَقِّق:** أٌحدِّد عدد التأكسد لذرة العنصر الذي تحته خطٌ في كلٍّ من المركَّبات أو الأيونات الآتية:



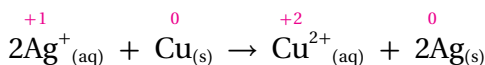
التغيُّر في أعداد التأكسد Changes of Oxidation Numbers

يُستفاد من حساب أعداد التأكسد في معرفة ذرَّات أو أيونات العناصر التي تأكسدت أو اختزلت في تفاعلات التأكسد والاختزال.

فمثلاً: يتفاعل النحاس مع محلول نترات الفضة مكوِّناً محلول نترات النحاس، وتترسَّب الفضة وفق المعادلة الأيونية الآتية:

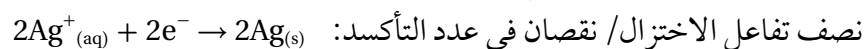
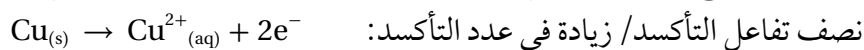


لمعرفة الذرَّات أو الأيونات التي تأكسدت أو اختزلت تُحسب أعداد التأكسد ويلاحظ التغيُّر فيها.



ألاحظ نقصان عدد التأكسد لأيون الفضة Ag^+ من $(+1 \leftarrow 0)$ ، وزيادة عدد تأكسد ذرة النحاس Cu من $(0 \leftarrow +2)$ ، وأن معامل المادة في المعادلة الموزونة لا يؤثر في حساب عدد التأكسد.

في تفاعلات التأكسد والاختزال يدلُّ النقص في عدد التأكسد على حدوث عملية اختزال، وتدُلُّ الزيادة في عدد التأكسد على حدوث عملية تأكسد؛ أي أنَّ أيونات الفضة Ag^+ في التفاعل قد اختزلت، أمَّا ذرَّات النحاس Cu فقد تأكسدت، ويمكن توضيح ذلك باستخدام أنصاف تفاعلات التأكسد والاختزال كالآتي:



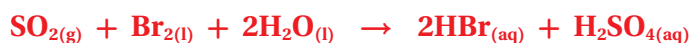
أي أنَّ تغيُّراً في أعداد التأكسد يحدث في تفاعلات التأكسد والاختزال؛ فزيادة أعداد التأكسد تحدث لذرَّات أو أيونات العناصر التي تتأكسد، أمَّا نقصان أعداد التأكسد فيحدث لذرَّات أو أيونات العناصر التي تُختزل، والمثال (4) يوضِّح ذلك.



أصمّم - باستخدام

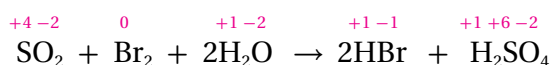
برنامج السكراتش (Scratch) -
عرضاً يوضِّح مفهوم تفاعل
التأكسد والاختزال، وعلاقته
بالتغيُّر في أعداد التأكسد، وأمثلة
عليه، ثمَّ أشاركه زملائي/
زميلاتي في الصفِّ.

أُحَدِّدُ الذَّرَاتِ التي تَأَكْسَدَتْ والذَّرَاتِ التي اخْتَزَلَتْ في التفاعل الآتي:

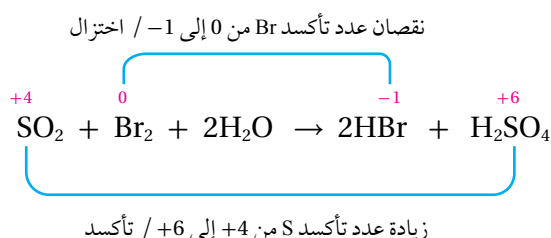


الحل:

1- أُحَدِّدُ أعداد التأكسد لجميع الذَّرَاتِ في المواد المتفاعلة والنتيجة:

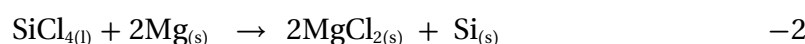
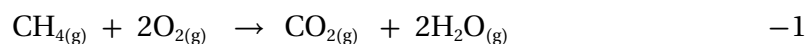


2- أُحَدِّدُ التَّغْيِيرَ في أعداد التأكسد:



ألاحظ أن عدد تأكسد ذرّة الكبريت S قد تغيّر من (+4 ← +6)؛ أي أنه زاد بمقدار 2، ومن ثَمَّ فَإِنَّ الكبريت تأكسد، وكذلك عدد تأكسد ذرّة البروم Br تغيّر من (صفر ← -1)؛ أي أنه قلّ بمقدار 1 لكلّ ذرّة بروم، ومن ثَمَّ فَإِنَّ البروم اخْتَزَلَ، كما ألاحظ عدم تغيّر أعداد تأكسد كلّ من ذرات الهيدروجين والأكسجين أي أنه لم يحدث لهما تأكسد أو اختزال في التفاعل، فالذرّة التي تأكسدت هي الكبريت في SO_2 والذّرّتان اللتان اخْتَزِلتا هما ذرّتا البروم في Br_2 .

✓ **أُنَحَقِّقُ:** أُحَدِّدُ الذَّرَاتِ التي تَأَكْسَدَتْ والذَّرَاتِ التي اخْتَزَلَتْ اعتمادًا على التغيّر في أعداد التأكسد في التفاعلات الآتية:

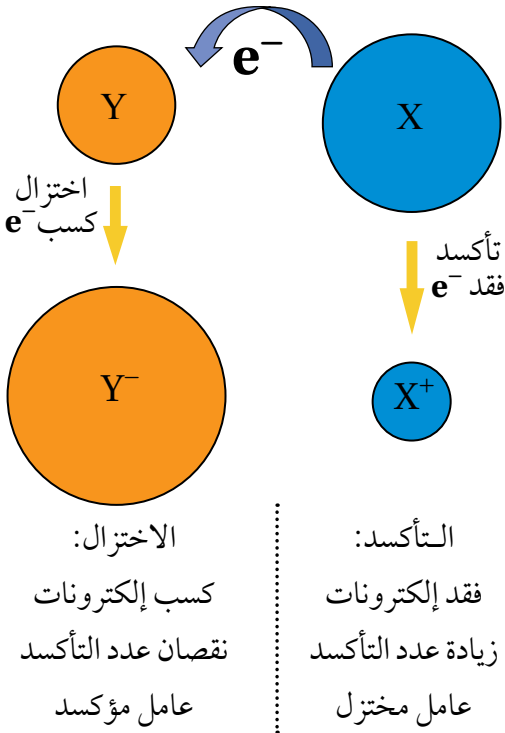


العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة

Oxidizing Agents and Reducing Agents

يُعرَّف العامل المؤكسد **Oxidizing Agent** أنه المادة التي تُؤكسد مادةً أخرى في التفاعل الكيميائي؛ فيكتسب إلكترونات من المادة التي يُؤكسدها، وتحدث له عملية اختزال. ومن الأمثلة على العوامل المؤكسدة: F_2 ، $K_2Cr_2O_7$ ، $KMnO_4$.
ويُعرَّف العامل المختزل **Reducing Agent** أنه المادة التي تختزل مادةً أخرى في التفاعل الكيميائي؛ إذ يفقد إلكترونات تكسبها المادة التي يختزلها، وتحدث له عملية تأكسد. ومن الأمثلة على العوامل المختزلة: $NaBH_4$ ، $LiAlH_4$.

وكلُّ تفاعل تأكسد يحتاج إلى عامل مؤكسد ليحدث، وكل تفاعل اختزال يحتاج إلى عامل مختزل ليحدث. أي أن كل تفاعل تأكسد واختزال يحتوي على عامل مؤكسد وعامل مختزل. ويوضح الشكل (3) عمليتي التأكسد والاختزال، والأمثلة الآتية توضح كيفية تحديد العامل المؤكسد والعامل المختزل.



الشكل (3): عمليتا التأكسد والاختزال.

المثال 5

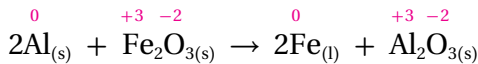
يُعدُّ تفاعل الثيرمايت أحد تفاعلات التأكسد والاختزال المهمة، حيث يتفاعل الألمنيوم مع أكسيد الحديد III لتكوين أكسيد الألمنيوم، والحديد، وكمية كبيرة من الطاقة كافية لصهر الحديد الناتج؛ حسب المعادلة الآتية:



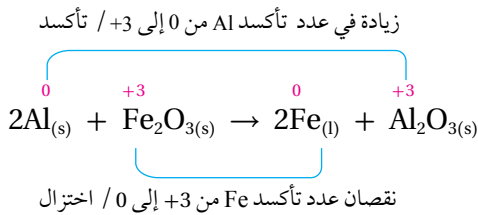
أحدِّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل.

الحل:

1- لتحديد العامل المؤكسد والعامل المختزل؛ أبدأ بتحديد أعداد التأكسد للذرات جميعها أو الأيونات في التفاعل:



2- أحدِّد التغيُّر في أعداد التأكسد:



ألاحظ أنَّ عدد تأكسد ذرات الألمنيوم Al زاد (0 \leftarrow +3)؛ أي أنها تأكسدت، أمَّا عددُ تأكسد أيونات الحديد Fe^{3+}

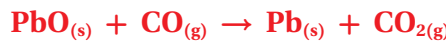
في أكسيد الحديد Fe_2O_3 ، فقد قلَّ $(+3 \leftarrow 0)$ ؛ أي أنها اختزلت، في حين لم يتغير عدد تأكسد الأكسجين (-2) .

3- أحدد العامل المؤكسد والعامل المختزل:

لأن ذرات الألمنيوم Al تأكسدت واختزلت أيونات الحديد (Fe^{3+}) في Fe_2O_3 ؛ فهو عامل مختزل، أما أيونات الحديد (Fe^{3+}) فأكسدت ذرات الألمنيوم وحدثت لها عملية اختزال؛ لذلك يُعدُّ أكسيد الحديد (Fe_2O_3) III عاملاً مؤكسداً. يلاحظ أنه على الرغم من أن أيونات الحديد (Fe^{3+}) فقط هي التي اختزلت في التفاعل؛ فإنَّ المركَّب Fe_2O_3 كاملاً يُعدُّ عاملاً مؤكسداً، وهو ما ينطبق على تفاعلات التأكسد والاختزال كافة؛ حيث يُعدُّ المركَّب الذي تتأكسد إحدى ذراته عاملاً مختزلاً، والمركَّب الذي تُختزل إحدى ذراته عاملاً مؤكسداً.

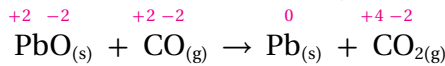
المثال 6

أحدد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:



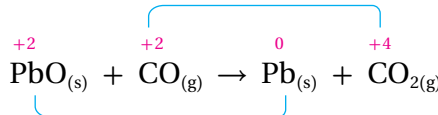
الحل:

أحدد أعداد التأكسد لجميع الذرات في التفاعل:



أحدد التغير في أعداد التأكسد:

زيادة عدد تأكسد C من +2 إلى +4 / تأكسد

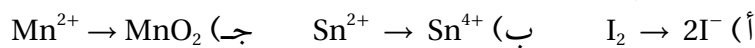


نقصان عدد تأكسد Pb من +2 إلى 0 / اختزال

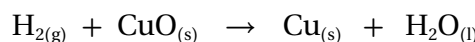
ألاحظ نقصان عدد تأكسد أيون الرصاص من $(+2)$ في PbO \leftarrow صفر في Pb؛ أي أنه اختزل، وزيادة عدد تأكسد ذرة الكربون من $(+2)$ في CO $\leftarrow +4$ في CO_2 ؛ أي أنها تأكسدت، أما عدد تأكسد الأكسجين فلم يتغير، ومن ثمَّ فإنَّ CO عاملٌ مختزل؛ لأنه اختزل الرصاص في PbO، و PbO عاملٌ مؤكسد؛ لأنه أكسد الكربون في CO.

✓ أنحقق:

1- هل يحتاج حدوث التحوُّلات الآتية إلى عامل مؤكسد أم عامل مختزل؟
أفسِّر إجابتي.



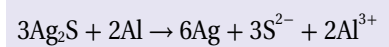
2- أحدد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:



الربط مع الحياة



تعرَّض القطع الفضيَّة للسواد مع الزمن؛ بسبب تكون مادة كبريتيد الفضة Ag_2S على سطحها الخارجي. ويمكن إزالة هذه الطبقة بوضع هذه القطع الفضيَّة في ورق من الألمنيوم في وعاء يحتوي على محلول كربونات الصوديوم وملح الطعام، وتسخينه؛ فتتأكسد ذرات الألمنيوم وتختزل أيونات الفضة حسب المعادلة:



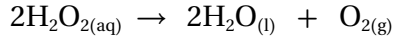
فتستعيد القطع الفضيَّة لمعانها وبريقها.



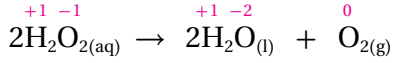
التأكسد والاختزال الذاتي Autoxidation-Reduction Reaction

تتضمن تفاعلات التأكسد والاختزال وجود عامل مؤكسد وعامل مُختزل، ولكن وُجد في بعض التفاعلات أن المادة نفسها تسلك عاملاً مؤكسداً وعاملاً مُختزلاً في التفاعل نفسه، ويسمى تفاعل تأكسد واختزال ذاتي **Reaction Autoxidation-Reduction**.

فمثلاً: يتحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 حسب المعادلة:

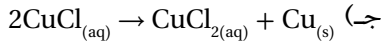
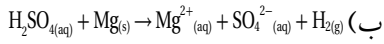
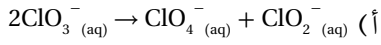


أُحَدِّدُ أعداد التأكسد لجميع الذرات في التفاعل كالآتي:



ألاحظ عدم تغير عدد تأكسد الهيدروجين؛ أما الأكسجين فقد اختزل وقلَّ عدد تأكسده من (-1 في H_2O_2 إلى -2 في H_2O)، فيكون H_2O_2 عاملاً مؤكسداً، كما تأكسد الأكسجين وزاد عدد تأكسده من (-1 في H_2O_2 إلى 0 في O_2)، فيكون H_2O_2 عاملاً مُختزلاً؛ ولأن التأكسد والاختزال حدثا للعنصر نفسه وهو الأكسجين في H_2O_2 ؛ فالتفاعل يمثل تأكسداً واختزالاً ذاتياً.

✓ **أنصحق.** أَّحَدِّدُ المعادلات التي تمثل تفاعل تأكسد واختزال ذاتي:



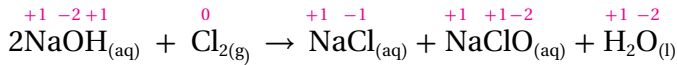
المثال 7

يتفاعل الكلور مع محلول هيدروكسيد الصوديوم البارد حسب المعادلة الكيميائية الآتية:



أُبيِّنُ، لماذا يُعدُّ التفاعل أعلاه مثالاً على تفاعلات التأكسد والاختزال الذاتي.

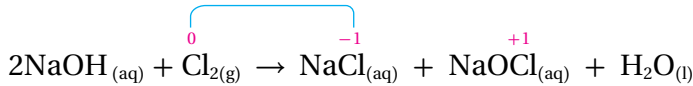
الحل: أحسب أعداد التأكسد للذرات والأيونات جميعها في التفاعل كما يأتي:



ألاحظ أن أعداد التأكسد لجميع العناصر في المعادلة لم تتغير باستثناء عدد التأكسد للكلور.

أُحَدِّدُ التغير في أعداد التأكسد:

قلَّ عدد تأكسد الكلور من (صفر $\leftarrow -1$) / اختزال

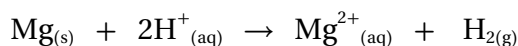


زاد عدد تأكسد الكلور من (صفر $\leftarrow +1$) / تأكسد

ألاحظ حدوث تأكسد لذرة كلور وزيادة عدد تأكسدها (من صفر في Cl_2 إلى +1 في ClO^-)، وبذلك فإن Cl_2 سلك كعامل مُختزل، وكذلك حدث اختزال لذرة الكلور الثانية وقلَّ عدد تأكسدها (من صفر في Cl_2 إلى -1 في Cl^-)، وبذلك فإن Cl_2 سلك كعامل مؤكسد؛ أي أن التأكسد والاختزال حدثا للعنصر نفسه في التفاعل. وعليه؛ فإن التفاعل يمثل تفاعلًا تأكسداً واختزالاً ذاتياً.

Balancing Redox Equations موازنة معادلات التأكسد والاختزال

تحقق معادلة التأكسد والاختزال الموزونة قانون حفظ الكتلة؛ ممّا يعني أنّ أنواع ذرات العناصر المكوّنة للمواد المتفاعلة وأعدادها مماثلة لها في المواد الناتجة. وكذلك تحقق قانون حفظ الشحنة؛ أي أنّ مجموع شحنات المواد المتفاعلة مساوٍ لمجموعها في المواد الناتجة، ويتحقق ذلك عندما يكون عدد الإلكترونات المكتسبة في أثناء تفاعل الاختزال مساوياً لعدد الإلكترونات المفقودة خلال تفاعل التأكسد. فمثلاً: في معادلة التفاعل الآتية:



يلاحظ أنّ عدد ذرات المغنيسيوم والهيدروجين متساوٍ على طرفي المعادلة، وكذلك مجموع شحنات المواد المتفاعلة يساوي مجموعها للمواد الناتجة، ويساوي (2+). وعليه؛ يكون عدد الإلكترونات التي فقدتها ذرة المغنيسيوم يساوي عدد الإلكترونات التي اكتسبها أيون الهيدروجين، وتساوي (2). ولمّا كانت موازنة معادلات التأكسد والاختزال جميعها بطريقة المحاولة والخطأ غير ممكنة؛ فقد طوّر العلماء طرائق أخرى لموازنتها، منها طريقة نصف التفاعل.

موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل

Balancing Redox Equations Using Half-Reactions

تعتمد طريقة نصف التفاعل Half-Reaction method لموازنة معادلة التأكسد والاختزال على تجزئة المعادلة إلى نصفي تفاعل؛ نصف تفاعل تأكسد ونصف تفاعل اختزال، ثمّ موازنة كل نصف تفاعل منفرداً من حيث أعداد الذرات والشحنات، ثمّ مساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة لنصفي التفاعل، يليها جمع نصفي التفاعل للحصول على المعادلة الموزونة، والمثال الآتي يوضح ذلك:

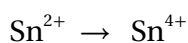
المثال 8

أوازن معادلة التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل:

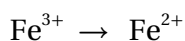


خطوات الحل:

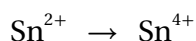
أقسم معادلة التفاعل إلى نصفي تفاعل، وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والناتجة:



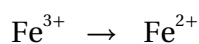
نصف تفاعل تأكسد (زاد عدد تأكسد Sn من +2 ← +4)



نصف تفاعل اختزال (قلّ عدد تأكسد Fe من +3 ← +2)



أوازن الذرات في كل نصف تفاعل:



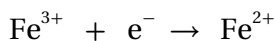
ألاحظ أنّ عدد الذرات متساوٍ في طرفي المعادلة لكل نصف تفاعل.

أوازن الشحنات:

ألاحظ في نصف تفاعل التأكسد أنه كي يصبح مجموع الشحنات متساوياً على طرفي المعادلة؛ يجب إضافة $2e^-$ إلى طرف المواد الناتجة:

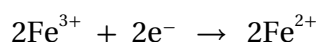
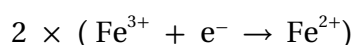


أمّا في نصف تفاعل الاختزال؛ فلا بدّ من إضافة إلكترون واحد إلى طرف المواد المتفاعلة كي يصبح مجموع الشحنات على طرفي المعادلة متساوياً:

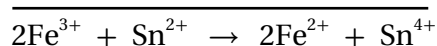
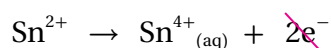
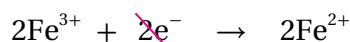


أساوي عدد الإلكترونات المكتسبة والمفقودة:

ألاحظ أنّ عدد الإلكترونات المفقودة في نصف تفاعل التأكسد يساوي (2)، وأنّ عدد الإلكترونات المكتسبة في نصف تفاعل الاختزال يساوي (1). ولمساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة يُضربُ نصفُ تفاعل الاختزال $2 \times$



أجمع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:

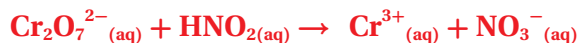


ويمكن التحقق من صحّة الموازنة بمقارنة أعداد الدّرات على طرفي المعادلة والتأكّد من تساويها، والتأكّد أنّ المجموع الجبري للشحنات على طرفي المعادلة متساوٍ، مع الانتباه إلى عدم ظهور الإلكترونات في المعادلة النهائيّة.

تحدث معظم تفاعلات التأكسد والاختزال في المحاليل المائيّة في أوساط حمضيّة أو قاعديّة؛ لذلك فإنّ خطوات موازنة معادلاتها تحتاج إلى خطوات إضافيّة بحسب طبيعة الوسط، وهذا ما سيُوضّح في الأمثلة اللاحقة.

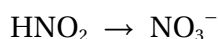
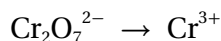
موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل في وسط حمضي عند حدوث تفاعل التأكسد والاختزال في وسط حمضي؛ فإنّ الماء وأيونات الهيدروجين يكونان جزءاً من التفاعل؛ لذلك يُستخدمان في موازنة معادلات تفاعلات التأكسد والاختزال، ولمعرفة كيفية إجراء ذلك؛ أدرس المثال الآتي:

أوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط الحمضي:

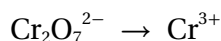


خطوات الحل:

1- أقسم معادلة التفاعل إلى نصفين تفاعل، وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والنتيجة:



2- أختار أحد نصفين التفاعل وأوازنه باتباع الخطوات الآتية:



أ. أوازن الذرات، عدا الأكسجين O والهيدروجين H؛ بالضرب بمعامل مناسب، بحيث تصبح أعداد الذرات متساوية على طرفي المعادلة.



ضرب $(2 \times \text{Cr}^{3+})$ ؛ فأصبح نصف التفاعل:

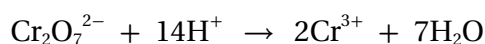
ب. أوازن ذرات الأكسجين بإضافة عدد من جزيئات الماء H_2O إلى طرف المعادلة الذي يحتوي على عدد أقل من ذرات الأكسجين بمقدار النقص فيها.

هنا، يُضاف $7\text{H}_2\text{O}$ إلى الطرف الأيمن من المعادلة، فيصبح عدد ذرات الأكسجين متساوي على طرفيها:

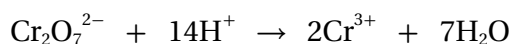


ج. أوازن ذرات الهيدروجين بإضافة عدد من أيونات الهيدروجين H^+ إلى طرف المعادلة الذي يحتوي على عدد أقل من ذرات الهيدروجين بمقدار النقص فيها.

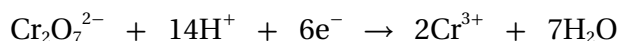
هنا، يُضاف 14H^+ إلى الطرف الأيسر من المعادلة، فيصبح عدد ذرات الهيدروجين متساويًا على طرفيها:



د. أوازن الشحنات بإضافة عدد من الإلكترونات (e^-) إلى طرف المعادلة الذي يكون المجموع الجبري للشحنات فيه أكبر، بحيث يصبح المجموع الجبري لها متساويًا على طرفيها.



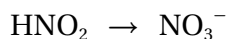
ألاحظ أن المجموع الجبري للشحنات على الطرف الأيسر للمعادلة يساوي $(12+)$ ، أما على طرفها الأيمن فيساوي $(6+)$ ؛ لذلك يُضاف $6e^-$ إلى الطرف الأيسر، فيصبح المجموع الجبري للشحنات على طرفيها مساويًا $(6+)$:



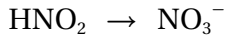
ألاحظ أن الإلكترونات أُضيفت إلى جهة المواد المتفاعلة؛ أي أنها مكتسبة؛ لذا فإن المعادلة تمثل نصف تفاعل الاختزال:



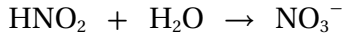
3- لموازنة نصف التفاعل الآخر؛ أطبق الإجراءات نفسها في الخطوة (2):



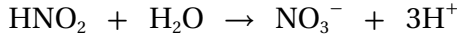
أ. أوازن الذرات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أنَّ عدد ذرات النيتروجين متساوٍ على طرفي المعادلة:



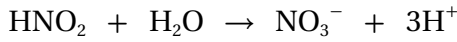
ب. أوازن ذرات الأكسجين؛ بإضافة H_2O إلى الطرف الأيسر من المعادلة:



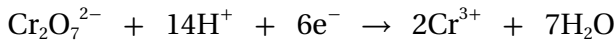
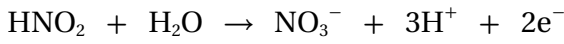
ج. أوازن ذرات الهيدروجين؛ بإضافة 3H^+ إلى الطرف الأيمن من المعادلة:



د. أوازن الشحنات؛ بإضافة (2e^-) إلى الطرف الأيمن، ليصبح المجموع الجبري للشحنات على طرفيها متساوياً:

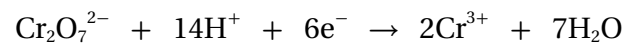
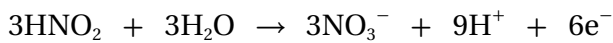
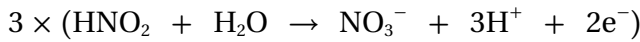


الاحظ أن الإلكترونات أضيفت إلى جهة المواد الناتجة؛ أي أنها مفقودة، لذا؛ فإن المعادلة تمثل نصف تفاعل تأكسد. وبذلك أصبح نصف التفاعل متوازنين كل على حدة:

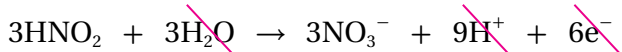


4- يجب أن يتساوى عدد الإلكترونات المفقودة وعدد الإلكترونات المكتسبة خلال التفاعل الكلي؛ لذلك يلزم أحياناً ضرب إحدى المعادلتين أو كليهما بمعاملات مناسبة، بحيث يصبح عدد الإلكترونات المفقودة مساوياً لعدد الإلكترونات المكتسبة في التفاعل.

لذلك، سيُضرب نصف تفاعل التأكسد بالرَّقم (3) ليصبح عدد الإلكترونات المفقودة (6e^-) مساوياً لعدد الإلكترونات المكتسبة:



5- أجمع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال للحصول على معادلة التفاعل الكُلِّي الموزونة، وذلك بحذف الإلكترونات من طرفي المعادلة، وأكتب المعادلة بأبسط صورة:

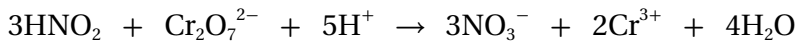


نصف تفاعل التأكسد:

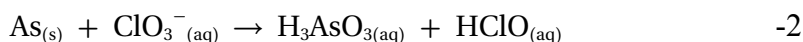
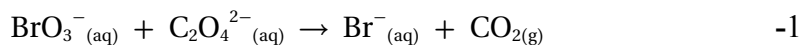


نصف تفاعل الاختزال:

المعادلة الكُلِّيَّة:



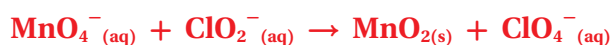
✓ **أنحقّق.** أوازن المعادلتين الآتيتين بطريقة نصف التفاعل في الوسط الحمضي، وأحدّد العامل المؤكسد والعامل المُختزل في كلّ منهما:



موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل في وسط قاعدي
تُوازَن معادلات التأكسد والاختزال في وسط قاعدي بالخطوات نفسها المتبعة في موازنتها في الوسط الحمضي، ثم يُضاف عددٌ من أيونات الهيدروكسيد OH^- مساوٍ لعدد أيونات الهيدروجين H^+ في المعادلة الموزونة في الوسط الحمضي إلى طرفي المعادلة؛ حيث تتعادل أيونات الهيدروجين H^+ مع أيونات الهيدروكسيد OH^- مكونةً عددًا من جزيئات الماء H_2O ، ثم تُختَصَرُ جزيئات الماء في طرفي المعادلة أو تُجمع إذا كانت في الطرف نفسه، بحيث تظهر في أحد أطراف التفاعل الكلي الموزونة؛ وبذلك نحصل على معادلة موزونة في الوسط القاعدي.

المثال 10

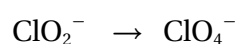
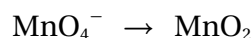
أوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي:



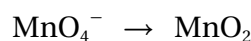
خطوات الحل:

تُطبَّق خطوات موازنة المعادلة في الوسط الحمضي نفسها أولاً:

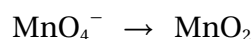
1- أقسّم معادلة التفاعل إلى نصفي تفاعل، وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والنااتجة:



2- اختار أحد نصفي التفاعل، وأوازنه باتباع الخطوات الآتية:



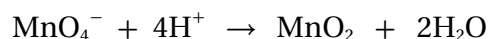
أ. موازنة الذرات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أن عدد ذرات المنغنيز Mn متساوٍ على طرفي المعادلة:



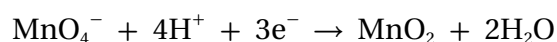
ب. أوازن ذرات الأكسجين؛ بإضافة $2\text{H}_2\text{O}$ إلى طرف المعادلة الأيمن:



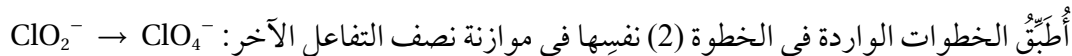
ج. أوازن ذرات الهيدروجين؛ بإضافة 4H^+ إلى طرف المعادلة الأيسر، فيصبح عدد ذرات H متساوياً على طرفيها:



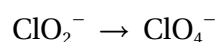
د. أوازن الشحنات؛ بإضافة (3e^-) إلى طرف المعادلة الأيسر، فيصبح المجموع الجبري للشحنات على طرفيها متساوياً:



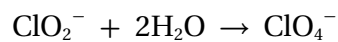
نصف تفاعل اختزال:



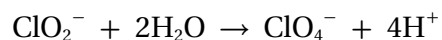
أ. أوازن الذرات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أن عدد ذرات الكلور Cl متساوٍ على طرفي المعادلة:



ب. أوازن ذرات الأكسجين؛ بإضافة $2\text{H}_2\text{O}$ إلى طرف المعادلة الأيسر:



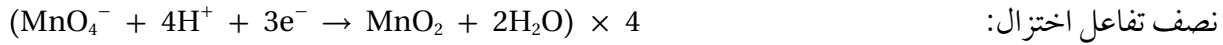
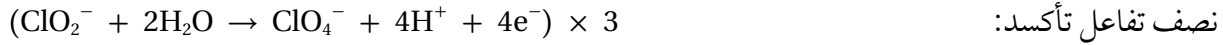
ج. أوازن ذرات الهيدروجين؛ بإضافة 4H^+ إلى طرف المعادلة الأيمن:



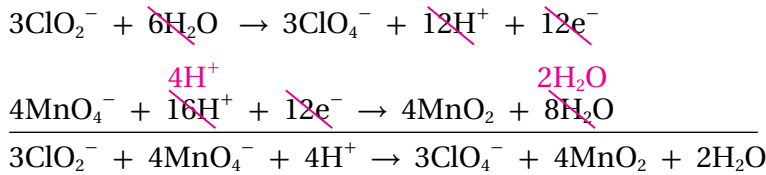
د. أوازن الشحنات؛ بإضافة (4e⁻) إلى طرف المعادلة الأيمن، فيصبح المجموع الجبري للشحنات على طرفيها متساويًا:



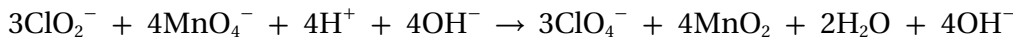
3- أساوي عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة؛ بضرب نصف تفاعل التأكسد $\times 3$ ، ونصف تفاعل الاختزال $\times 4$.



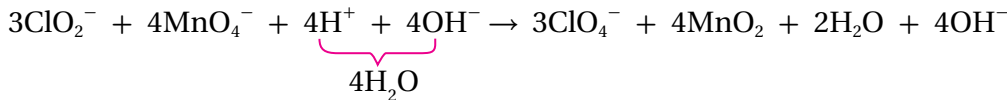
4- للحصول على معادلة التفاعل الكليّ الموزونة في وسط حمضي، أجمعُ نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



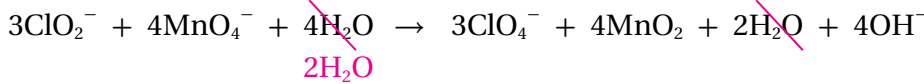
5- أضيف إلى طرفي المعادلة عددًا من أيونات OH⁻ مساويًا لعدد أيونات H⁺:



6- أجمع أيونات H⁺ وأيونات OH⁻ الموجودة في الطرف نفسه من المعادلة معًا على شكل جزيئات ماء.



7- أختصر جزيئات الماء، بحيث تظهر في أحد طرفي معادلة التفاعل الكليّ الموزونة في وسط قاعدي.



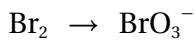
المثال 11

أوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي: $\text{Br}_{2(l)} \rightarrow \text{Br}^-_{(aq)} + \text{BrO}_3^-_{(aq)}$

خطوات الحل:

1- أقسم معادلة التفاعل إلى نصفي تفاعل، وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والمواد الناتجة.

يلاحظ وجود مادة متفاعلة واحدة فقط في المعادلة، هي Br₂؛ لذلك أستخدمها في كل من نصف تفاعل التأكسد



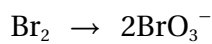
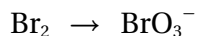
2- أختار أحد نصفي التفاعل، وأوازنه باتباع الخطوات الآتية:

أ. أوازن ذرات البروم بضرب أيون البروميد $2 \times \text{Br}^-$ ، فيصبح نصف التفاعل موزونًا من حيث الذرات. $\text{Br}_2 \rightarrow 2\text{Br}^-$

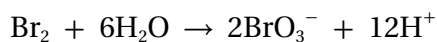
ب. أوازن الشحنات بإضافة (2e⁻) إلى طرف المعادلة الأيسر:



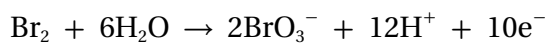
أُطبّق الخطوات نفسها المتّبعة في موازنة الذرّات والشحنات في موازنة نصف التفاعل الآخر:



أ. موازنة الذرّات، عدا الأكسجين والهيدروجين:

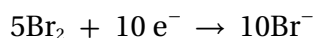
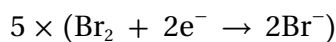


ب. موازنة ذرّات الأكسجين والهيدروجين:



ج. موازنة الشحنات:

3- أَساوِي عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة بضرب (نصف تفاعل الاختزال $\times 5$)، فيصبح عدد الإلكترونات المكتسبة مساوياً لعدد الإلكترونات المفقودة، وتساوي (10e^-).

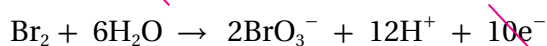


نصف تفاعل الاختزال:



نصف تفاعل التأكسد:

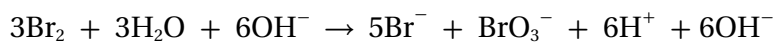
4- للحصول على المعادلة الموزونة في وسط حمضي، أجمع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



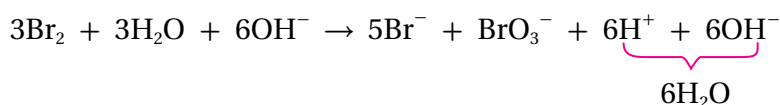
ألاحظ أن المعادلة الموزونة ليست في أبسط صورة؛ لذلك أقسمها على 2 وأكتبها بأبسط صورة.



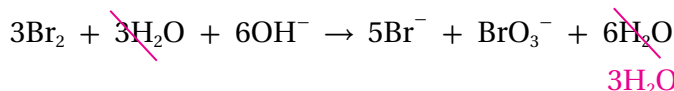
5- أضيف 6OH^- إلى طرفي المعادلة:



6- أجمع أيونات H^+ وأيونات OH^- في الطرف نفسه من المعادلة معاً على شكل جزيئات ماء.

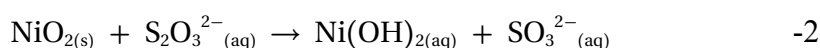
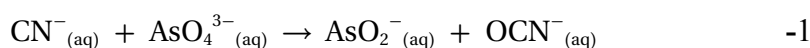


7- أختصر جزيئات الماء، بحيث تظهر في أحد طرفي معادلة التفاعل الكليّ الموزونة في وسط قاعدي.



المعادلة الكلية:

✓ **أتحقّق.** أوازن المعادلتين الآتيتين بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي، وأحدّد العامل المؤكسد والعامل المُختزل في كلّ منهما:



مراجعة الدرس

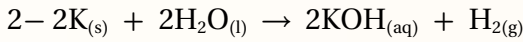
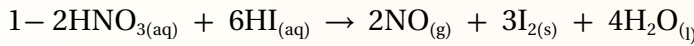
1. الفكرة الرئيسية: تفاعلا التأكسد والاختزال متلازمان، يحدثان دائماً معاً، أفسّر ذلك.

2. أوضّح المقصود بكلّ من: أ. عدد التأكسد. ب. التأكسد والاختزال الذاتي.

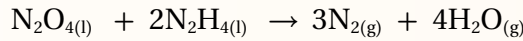
3. أحسب عدد تأكسد العنصر الذي تحته خط في كل مما يأتي:



4. أطبّق: أحرّد الذرات التي تأكسدت والتي اختزلت في التفاعلات الآتية:



5. أطبّق: أدرُس المعادلة الموزونة التي تمثّل تفاعل N_2O_4 مع N_2H_4 لتكوين غاز N_2 وبخار الماء، ثمّ أجب عن الأسئلة الآتية:

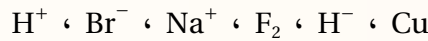


أ. أحرّد التغيّر في أعداد تأكسد ذرات النيتروجين في التفاعل.

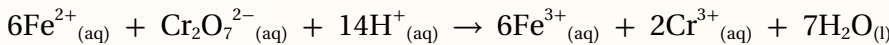
ب. هل تمثّل المعادلة تفاعل تأكسد واختزال ذاتي؟

ج. أحرّد العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل.

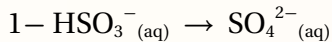
6. أحرّد المادة التي تسلك عاملاً مؤكسداً والمادة التي تسلك عاملاً مُختزلاً:



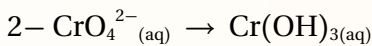
7. أحرّد العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل الآتي:



8. أطبّق. أوازن أنصاف التفاعلات الآتية بطريقة نصف التفاعل، وأحرّد ما إذا كانت المادة تمثّل عاملاً مؤكسداً أم عاملاً مُختزلاً: (الوسط الحمضي)

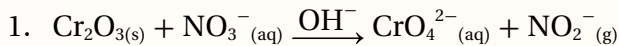


(الوسط الحمضي)



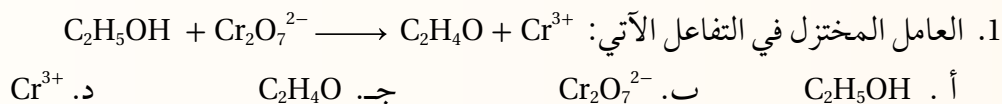
(الوسط القاعدي)

9. أطبّق: أوازن معادلات التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل، وأحرّد العامل المؤكسد والعامل المُختزل في كلّ منها:



3. $\text{BiO}_3^- (\text{aq}) + \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) \xrightarrow{\text{H}^+} \text{Bi}^{3+} (\text{aq}) + \text{MnO}_4^- (\text{aq})$
4. $\text{Pb}(\text{OH})_4^{2-} (\text{aq}) + \text{ClO}^- (\text{aq}) \xrightarrow{\text{OH}^-} \text{PbO}_{2(s)} + \text{Cl}^- (\text{aq})$
5. $\text{ICl} (\text{aq}) \xrightarrow{\text{H}^+} \text{IO}_3^- (\text{aq}) + \text{I}_{2(s)} + \text{Cl}^- (\text{aq})$
- 6.. $\text{Sb}_2\text{S}_3 (\text{s}) + \text{NO}_3^- (\text{aq}) \xrightarrow{\text{H}^+} \text{Sb}_2\text{O}_5 (\text{s}) + \text{S} (\text{s}) + \text{NO} (\text{g})$

10. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:



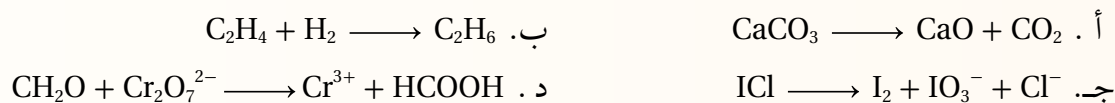
2. يزداد عدد تأكسد الكلور بمقدار (5) في نصف التفاعل:



3. نصف التفاعل الذي يحتاج إلى عامل مختزل لحدوثه، هو:



4. التفاعل الذي يُعدّ تأكسداً واختزالاً ذاتياً بين الآتية، هو:



5. عدد مولات الماء اللازمة لموازنة نصف التفاعل: $(\text{I}_2 \longrightarrow \text{IO}_3^-)$ في وسط حمضي، هو:

- أ. 1 . ب. 3 . ج. 4 . د. 6

6. عدد مولات الإلكترونات اللازمة لموازنة الشحنة في نصف التفاعل: $(\text{AsO}_3^{3-} \longrightarrow \text{AsO}_4^{3-})$ في

وسط حمضي، هو:

- أ. 0 . ب. 1 . ج. 2 . د. 4

7. عدد مولات الأيونات OH^- اللازمة لموازنة التفاعل: $(\text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{ClO}_2^- + \text{O}_2)$ في وسط

قاعدي، هو:

- أ. 1 . ب. 2 . ج. 3 . د. 4

الخلايا الكهروكيميائية Electrochemical Cells

تسمى الخلايا التي تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال منتجة للطاقة الكهربائية أو مستهلكة لها **الخلايا الكهروكيميائية Electrochemical Cells**، وتقسم إلى نوعين: الخلايا الجلفانية، وخلايا التحليل الكهربائي. وفي هذا الدرس سادرس الخلايا الجلفانية.

تُستخدم الخلايا الجلفانية في مجالات واسعة في الحياة؛ فالبطاريات بأنواعها، مثل البطارية القابلة للشحن المستخدمة في الهواتف والحواسيب المحمولة، أنظر الشكل (4)، وخلايا الوقود هي **خلايا جلفانية Galvanic Cells** تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال تؤدي إلى إنتاج تيار كهربائي؛ أي تتحول الطاقة الكيميائية فيها إلى طاقة كهربائية. فما مكونات الخلية الجلفانية؟ وكيف يُحسب فرق الجهد الناتج عنها؟ وكيف يجري التنبؤ بإمكانية حدوث تفاعل التأكسد والاختزال فيها؟

الشكل (4): بعض الأجهزة التي تستخدم البطاريات.



الفكرة الرئيسة:

تتحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في الخلية الجلفانية عن طريق تفاعل تأكسد واختزال تلقائي الحدوث، ويعتمد فرق الجهد الناتج على جهود الاختزال المعيارية للأقطاب المكوّنة لها.

نتائج التعلم:

- أحدد أجزاء الخلية الجلفانية ومبدأ عملها.
- أقيس عملياً القوة الدافعة الكهربائية لعدة خلايا جلفانية.
- أحسب جهد الخلية الجلفانية.
- أوظف جهود الاختزال المعيارية في تحديد تلقائية تفاعلات التأكسد والاختزال، وقوة العوامل المؤكسدة والمختزلة.
- أعرّف بعض التطبيقات العملية للخلايا الجلفانية.

المفاهيم والمصطلحات:

الخلايا الكهروكيميائية

Electrochemical Cells

Galvanic Cells الخلايا الجلفانية

Half Cell نصف الخلية

Salt Bridge القنطرة الملحية

جهد الخلية المعياري

Standard Cell Potential

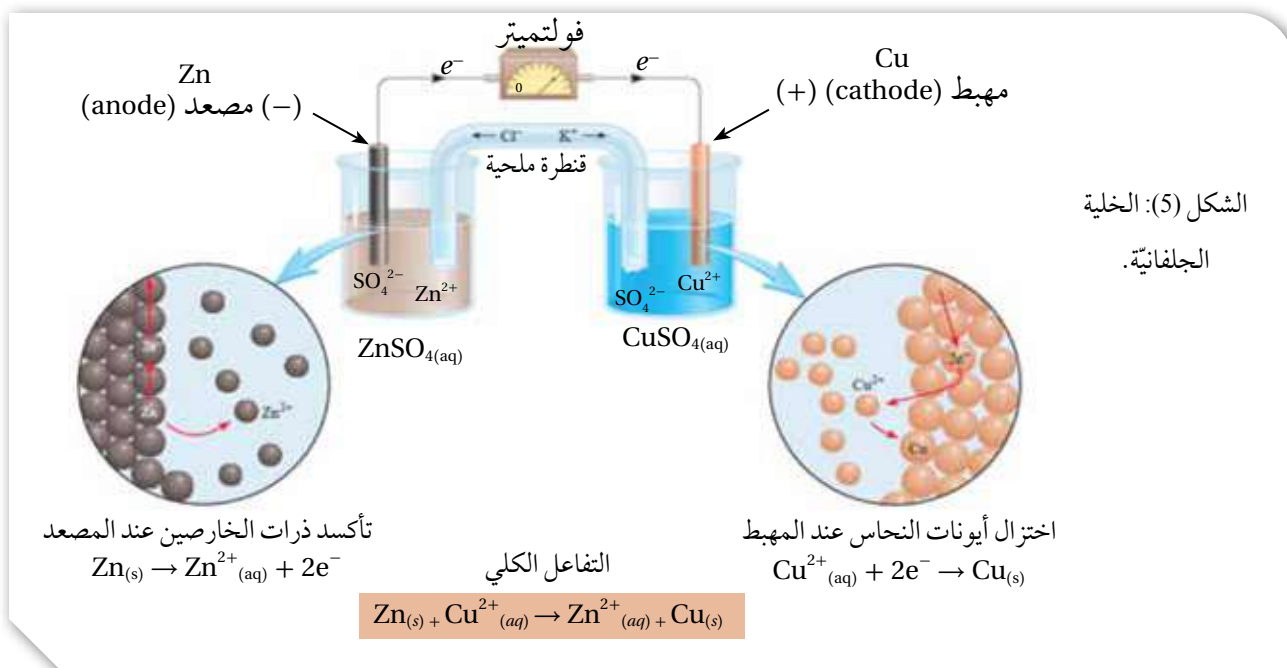
قطب الهيدروجين المعياري

Standard Hydrogen Electrode

جهد الاختزال المعياري

Standard Reduction Potential

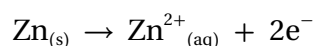
Spontaneity of Reaction تلقائية التفاعل



كيمياء الخلايا الجلفانية Chemistry of Galvanic Cells

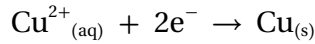
تتكوّن الخلية الجلفانية من وعاءين؛ يُسمّى كُلُّ منهما **نصف خلية Half Cell**، ويحتوي كل وعاء على صفيحة فلزيّة مغموسة في محلول يحتوي على أيونات الفلز؛ فنصف خلية الخارصين تتكوّن من صفيحة خارصين Zn مغموسة في محلول يحتوي على أيونات الخارصين Zn^{2+} مثل محلول كبريتات الخارصين، ويُعبّر عنها بالرمز $\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}$ ، أمّا نصف خلية النحاس فتتكوّن من صفيحة نحاس Cu مغموسة في محلول يحتوي على أيونات النحاس Cu^{2+} ، مثل محلول كبريتات النحاس، ويُعبّر عنها بالرمز $\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$ ، ولتكوين خلية جلفانية منهما توصّل الأقطاب بموصل خارجي (الأسلاك) وتوصّل المحاليل بموصل آخر هو **القنطرة الملحية Salt Bridge**، حيث تتكوّن من أنبوب على شكل حرف U يحتوي على محلول ملحي مشبع، لا تتفاعل أيوناته مع الأيونات الموجودة في نصفي الخلية الجلفانية أو مع الأقطاب فيها مثل KCl، أنظر الشكل (5) الذي يوضح مكوّنات الخلية الجلفانية، ويُستخدم جهاز فولتميتر لقياس فرق الجهد بين قطبي الخلية.

وجود فرق جهد بين قطبي الخلية (الخارصين والنحاس) يتسبّب في حدوث تفاعل تأكسد واختزال؛ حيث تتأكسد ذرات الخارصين الأكثر نشاطاً حسب المعادلة:



وتنتقل الإلكترونات من قطب الخارصين Zn عبر الأسلاك إلى قطب النحاس Cu؛ حيث تكتسبها أيونات النحاس Cu^{2+} وتختزل متحوّلة إلى ذرات

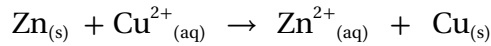
Cu تترسب على قطب النحاس، حسب المعادلة:



ونتيجة تأكسد ذرات الخارصين وتحولها إلى أيونات الخارصين الموجبة Zn^{2+} ؛ يزداد تركيزها في نصف خلية الخارصين مقارنةً بتركيز أيونات الكبريتات السالبة SO_4^{2-} فيها، أما في نصف خلية النحاس فيقل تركيز أيونات النحاس الموجبة Cu^{2+} مقارنةً بتركيز أيونات الكبريتات السالبة بسبب اختزالها، ويؤدي هذا إلى عدم توازن في الشحنة الكهربائية في الخلية؛ لذا تُعادِل القنطرة الملحية الشحنات الكهربائية في نصفي الخلية الجلفانية؛ حيث تتحرك أيونات الكلوريد السالبة Cl^{-} من القنطرة الملحية إلى نصف خلية الخارصين لمعادلة الزيادة في تركيز أيونات Zn^{2+} ، وتتحرك أيونات K^{+} الموجبة إلى نصف خلية النحاس لمعادلة أيونات SO_4^{2-} الزائدة.

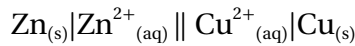
يسمى القطب الذي يحدث عنده تفاعل التأكسد المُصعد Anode؛ وهو قطب الخارصين Zn، وشحنته سالبة؛ لأنه مصدر الإلكترونات بسبب تأكسد ذراته، فتقل كتلته، أمّا القطب الذي يحدث عنده تفاعل الاختزال فيسمى المهبط Cathode؛ وهو قطب النحاس Cu، وشحنته موجبة؛ إذ تتحرك الإلكترونات نحوه، وتزداد كتلته نتيجة اختزال أيونات النحاس وترسبها عليه.

أما المعادلة الكلية في الخلية الجلفانية؛ فهي مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



وقد عبّر الكيميائيون عن الخلية الجلفانية بطريقة مختصرة وسهلة لوصفها:

القنطرة الملحية



نصف خلية الاختزال نصف خلية التأكسد

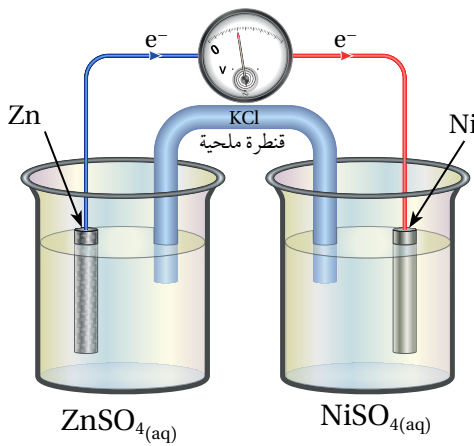
يبدأ بكتابة مكونات نصف خلية التأكسد من اليسار، فتكتب المادة التي يحدث لها تأكسد أولاً، ثم ناتج عملية التأكسد، ويفصل بينهما خط (|) كالاتي:
 $\text{Zn}_{(\text{s})} | \text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ ، ثم يرسم خطان متوازيان || يرمزان إلى القنطرة الملحية، ثم تكتب مكونات نصف خلية الاختزال، فتكتب المادة التي يحدث لها اختزال، ثم ناتج عملية الاختزال، ويفصل بينهما خط (|) كالاتي: $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} | \text{Cu}_{(\text{s})}$.

في الخلايا الجلفانية، قد تكون المواد المتفاعلة أيونات ذائبة في المحلول أو مواد غير موصلة أو غازية أو سائلة. في هذه الحالة، لا يمكن استخدام هذه الأيونات أو المواد مباشرة بوصفها أقطاباً كهربائية؛ لأنها ليست مواد صلبة موصلة للكهرباء. لحل هذه المشكلة، يُستخدم قطب حامل (غير متفاعل) لتوفير سطح موصل يسمح بحدوث تفاعلات التأكسد والاختزال، مثل البلاتين والجرافيت.



أصم - باستخدام

برنامج مناسب لصناعة الأفلام - فيلماً قصيراً يوضح مكونات الخلية الجلفانية، ومبدأ عملها، وتحولات الطاقة فيها، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.



أدرس الشكل المجاور، حيث يمثل خلية جلفانية مكونة من نصف خلية الخارصين $Zn^{2+}|Zn$ ونصف خلية النيكل $Ni^{2+}|Ni$ ، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

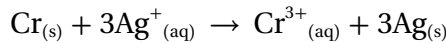
- 1- أحدد كلاً من المصعد والمهبط في الخلية.
- 2- أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال.
- 3- أحدد اتجاه حركة الأيونات الموجبة والسالبة من القنطرة الملحية.
- 4- ما التغيير في كتلة كل من قطبي النيكل والخارصين؟

خطوات الحل:

- 1- يلاحظ من الشكل حركة الإلكترونات من قطب الخارصين باتجاه قطب النيكل؛ أي أن الخارصين Zn يمثل المصعد، والنيكل Ni يمثل المهبط.
 - 2- أكتب نصفي تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال:
- $$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$$
- نصف تفاعل التأكسد:
- $$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Ni_{(s)}$$
- نصف تفاعل الاختزال:
- 3- تتحرك الأيونات السالبة Cl^{-} من القنطرة الملحية باتجاه نصف خلية الخارصين $Zn^{2+}|Zn$ ، وتتحرك الأيونات الموجبة K^{+} من القنطرة الملحية إلى نصف خلية النيكل $Ni^{2+}|Ni$.
 - 4- تقل كتلة قطب الخارصين نتيجة تأكسد ذراته وتحولها إلى أيونات Zn^{2+} تنتقل إلى المحلول، وتزداد كتلة قطب النيكل نتيجة اختزال أيوناته Ni^{2+} وترسبها على القطب.

✓ اتحقق:

في الخلية الجلفانية التي يحدث فيها التفاعل الآتي:



- 1- أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال.
- 2- أحدد كلاً من المصعد والمهبط واتجاه حركة الإلكترونات في الدارة الخارجية.
- 3- أحدد اتجاه حركة الأيونات السالبة من القنطرة الملحية.
- 4- ما القطب الذي تزداد كتلته؟ ولماذا؟
- 5- أكتب رمز الخلية الجلفانية.

جهد الخلية الجلفانية Cell Potential

يُعدُّ جهد الخلية الجلفانية Cell Potential مقياساً لقدرة الخلية على إنتاج تيار كهربائي، ويُقاس بالفولت، وهو القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بين قطبي الخلية بسبب فرق الجهد بين القطبين، حيث يزدادُ بزيادة ميل كلٍّ من نصفي تفاعل التأكسد والاختزال للحدوث، وبالرجوع إلى خلية (خارصين - نحاس) السابقة؛ ولما كان الخارصين أكثر نشاطاً من النحاس؛ فهو أكثر ميلاً للتأكسد من النحاس، فيولد فرق الجهد الناشئ بين القطبين قوة دافعة كهربائية تدفع الإلكترونات إلى الحركة من قطب الخارصين Zn (المصعد) إلى قطب النحاس Cu (المهبط)، حيث أيونات النحاس Cu^{2+} أكثر ميلاً للاختزال. يُعبَّر عن ميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث بجهد الاختزال، ويُرمز إليه بالرمز ($E_{\text{reduction}}$)، ويُعبَّر عن ميل نصف تفاعل التأكسد للحدوث بجهد التأكسد، ويُرمز إليه بالرمز ($E_{\text{oxidation}}$).

يمتلك نصف الخلية الذي يحدث فيه تفاعل الاختزال جهداً اختزال أعلى من نصف الخلية الذي يحدث فيه تفاعل التأكسد، والفرق بين جهود الاختزال لكلا التفاعلين يساوي جهد الخلية:

جهد الخلية = جهد الاختزال لنصف تفاعل المهبط - جهد الاختزال لنصف تفاعل المصعد

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{reduction(cathode)}} - E_{\text{reduction(anode)}}$$

أمّا عندما يُقاس جهد الخلية في الظروف المعيارية: درجة حرارة 25°C ، وتركيز الأيونات يساوي 1M، وضغط الغاز يساوي 1atm؛ فيسمّى **جهد الخلية المعياري** Standard cell potential، ويُرمز إليه E°_{cell} ، وتصبح معادلة حساب جهد الخلية المعياري:

$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{reduction(cathode)}} - E^\circ_{\text{reduction(anode)}}$$

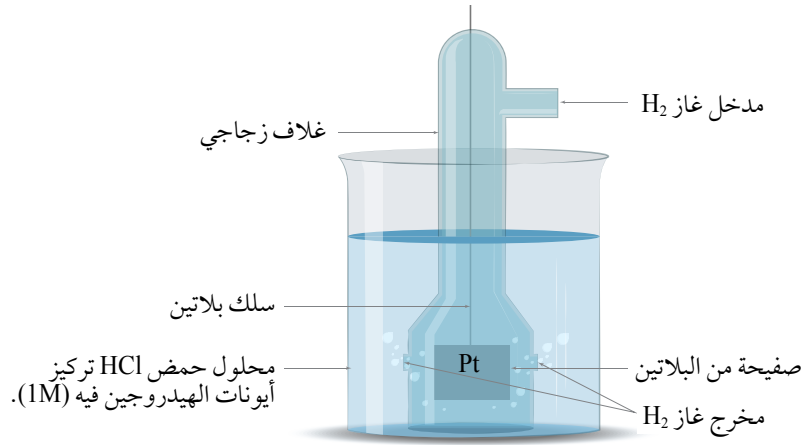
ويمكن التعبير عنها باختصار كالآتي:

$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{cathode}} - E^\circ_{\text{anode}}$$

وقد وُجد أن جهد خلية (Zn - Cu) المعياري يساوي 1.1 فولت (1.1 V). ولكن؛ هل يمكن قياس جهد الاختزال لنصف خلية معينة منفرداً؟ وكيف جرى التوصل إلى قيم جهود الاختزال للأقطاب المختلفة؟

جهد الاختزال المعياري Standard Reduction potential

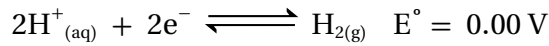
لا يمكن قياس جهد نصف خلية منفردة، ولكن عند وصل نصفي خلية لتكوين خلية جلفانية؛ يمكن قياس فرق الجهد بينهما أي جهد الخلية؛ لذلك اختار العلماء قطباً مرجعياً هو **قطب الهيدروجين المعياري** Standard Hydrogen electrode لقياس جهود اختزال أقطاب العناصر الأخرى، وقد اختير الهيدروجين؛ لأن نشاطه الكيميائي متوسط بين العناصر، وقد اصطلح العلماء على أن جهد الاختزال المعياري له يساوي (0.00 V).



الشكل (6): قطب الهيدروجين المعياري.

يتكوّن قطب الهيدروجين المعياري من وعاء يحتوي على صفحة من البلاتين توفر سطحًا لحدوث التفاعل، وتكون مغموسة في محلول حمض الهيدروكلوريك HCl؛ تركيز أيونات الهيدروجين H^+ فيه 1M، ويُصنَّح غاز الهيدروجين إلى المحلول عند ضغط للغاز يساوي 1 ضغط جوي (1 atm) ودرجة حرارة $25^\circ C$ ، أنظر الشكل (6).

يمكن تمثيل التفاعل الذي يحدث في نصف خلية الهيدروجين بالمعادلة الآتية:

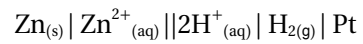


يشير السهم المزدوج إلى أنّ نصف التفاعل منعكس؛ إذ يمكن لأيونات الهيدروجين H^+ أن تُختزل، كما يمكن لجزيئات غاز الهيدروجين أن تتأكسد. ولكن، كيف يُقاس جهد الاختزال المعياري لنصف خلية ما باستخدام قطب الهيدروجين المعياري؟

لتوضيح ذلك؛ تُكوّن خلية جلفانية من نصف خلية الهيدروجين المعيارية ونصف خلية الخارصين مثلًا في الظروف المعيارية، كما في الشكل (7)؛ إذ يُلاحظ



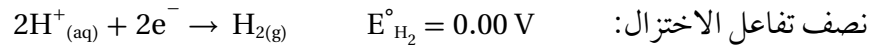
الشكل (7): خلية جلفانية قطبها الخارصين والهيدروجين المعياريان.



أنَّ قراءة الفولتميتر (0.76 V)، وهي قراءة تمثِّل فرق الجهد بين قطبي الخارصين والهيدروجين المعياريين، ولكي يُحدَّد جهد الاختزال المعياري للخارصين يجب تحديد المصعد والمهبط في الخلية، حيث يُلاحظ أنَّ اتجاه حركة الإلكترونات من قطب الخارصين باتجاه قطب الهيدروجين المعياريين؛ أي أنَّ قطب الخارصين Zn يمثِّل المصعد وحدثت له عملية تأكسد، حسب المعادلة:



بينما قطب الهيدروجين يمثِّل المهبط وحدثت عملية اختزال لأيوناته، حسب المعادلة:



لحساب جهد الاختزال المعياري للخارصين؛ تُستخدم العلاقة:

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cathode}} - E^{\circ}_{\text{anode}}$$

$$0.76 \text{ V} = 0.00 - E^{\circ}_{\text{anode}} \quad \text{بالتعويض:}$$

$$E^{\circ}_{\text{Zn}} = -0.76 \text{ V}$$

أي أنَّ جهد الاختزال المعياري لقطب الخارصين (-0.76 V) . القيمة السالبة لجهد الاختزال المعياري لقطب الخارصين تعني أنَّ أيونات الخارصين أقلُّ ميلاً للاختزال من أيونات الهيدروجين؛ لذلك اختزلت أيونات الهيدروجين وتأكسدت ذرات الخارصين في التفاعل الذي حدث في الخلية الجلفانية.

ويعرَّف **جهد الاختزال المعياري** Standard Reduction potential للقطب

بأنه مقياسٌ لميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث في الظروف المعيارية. وكذلك؛ فإنَّ ذرات الخارصين أكثر ميلاً للتأكسد من جزيئات الهيدروجين؛ لذلك فإنَّ جهد التأكسد المعياري للخارصين يساوي (0.76 V)؛ أي أنَّ جهد التأكسد المعياري للقطب يساوي جهد اختزاله المعياري ويعاكسُهُ في الإشارة.

جهد التأكسد المعياري = - جهد الاختزال المعياري

$$- E^{\circ}_{\text{reduction}} = E^{\circ}_{\text{oxidation}}$$

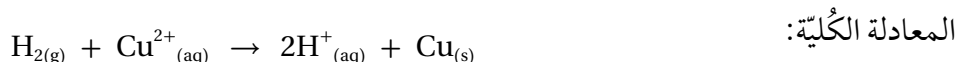
في الخلية الجلفانية الممثلة بالرمز الآتي: $\text{Pt} | \text{H}_{2(g)} | 2\text{H}^+_{(aq)} || \text{Cu}^{2+}_{(aq)} | \text{Cu}_{(s)}$

إذا علمتُ أنَّ جهد الخلية المعياري $E^\circ_{\text{cell}} = 0.34 \text{ V}$

فأحسبُ جهد الاختزال المعياري للنحاس.

خطوات الحل:

1- بالاعتماد على مخطط الخلية الجلفانية؛ أحدّد نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال؛ حيث يمثّل قطب الهيدروجين المعياري نصف خلية التأكسد، أمّا قطب النحاس المعياري فيمثّل نصف خلية الاختزال.



2- بمعرفة جهد الخلية المعياري وجهد قطب الهيدروجين المعياري؛ أحسبُ جهد الاختزال المعياري للنحاس

باستخدام العلاقة:

$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{cathode}} - E^\circ_{\text{anode}}$$

بالتعويض فيها:

$$0.34 \text{ V} = E^\circ_{\text{Cu}} - 0.00$$

ومنها جهد الاختزال المعياري لقطب النحاس

$$E^\circ_{\text{Cu}} = 0.34 \text{ V}$$

جهد الاختزال المعياري للنحاس أكبر منه للهيدروجين؛ ، ويعني ذلك أن أيونات النحاس أكثر ميلاً للاختزال من أيونات الهيدروجين؛ لذلك تأكسدت جزيئات الهيدروجين واختزلت أيونات النحاس في التفاعل الذي حدث في الخلية الجلفانية.

✓ أنحقّق:

لديّ خلية جلفانية مكوّنة من نصف خلية الهيدروجين $\text{Pt} | \text{H}_2 | 2\text{H}^+$ ونصف خلية الكادميوم $\text{Cd}^{2+} | \text{Cd}$ المعياريين؛ أحسبُ جهد الاختزال المعياري للكادميوم إذا علمتُ أنَّ جهد الخلية المعياري يساوي 0.4 V ونقصت كتلة قطب الكادميوم بعد تشغيل الخلية مدة من الزمن.

جدول جهود الاختزال المعيارية Standard Reduction Potentials

استُخدمَ قطبُ الهيدروجين المعياري في بناء خلايا جلفانية متعدّدة، وعن طريق قياس جهودها المعيارية؛ حُسِبَت جهودُ الاختزال المعيارية للأقطاب المختلفة التي استُخدمت فيها، واتفقَ الكيميائيون على كتابة أنصاف التفاعلات على شكل أنصاف تفاعل اختزال في الاتجاه الأمامي، وترتيبها وفقاً لتزايد جهود الاختزال المعيارية في جدول سُمِّيَ جدولُ جهود الاختزال المعيارية، أنظرُ الجدول (2).

الجدول (2): جهود الاختزال المعيارية عند درجة حرارة 25°C.

| نصف تفاعل الاختزال | | | | | E° (V) |
|---|---|-----------------|---|--|--------|
| Li ⁺ _(aq) | + | e ⁻ | ⇌ | Li _(s) | -3.05 |
| K ⁺ _(aq) | + | e ⁻ | ⇌ | K _(s) | -2.92 |
| Ca ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Ca _(s) | -2.76 |
| Na ⁺ _(aq) | + | e ⁻ | ⇌ | Na _(s) | -2.71 |
| Mg ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Mg _(s) | -2.37 |
| Al ³⁺ _(aq) | + | 3e ⁻ | ⇌ | Al _(s) | -1.66 |
| Mn ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Mn _(s) | -1.18 |
| 2H ₂ O _(l) | + | 2e ⁻ | ⇌ | 2OH ⁻ + H _{2(g)} | -0.83 |
| Zn ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Zn _(s) | -0.76 |
| Cr ³⁺ _(aq) | + | 3e ⁻ | ⇌ | Cr _(s) | -0.73 |
| Fe ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Fe _(s) | -0.44 |
| Cd ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Cd _(s) | -0.40 |
| Co ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Co _(s) | -0.28 |
| Ni ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Ni _(s) | -0.23 |
| Sn ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Sn _(s) | -0.14 |
| Pb ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Pb _(s) | -0.13 |
| Fe ³⁺ _(aq) | + | 3e ⁻ | ⇌ | Fe _(s) | -0.04 |
| 2H ⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | H _{2(g)} | 0.00 |
| Cu ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Cu _(s) | 0.34 |
| I _{2(s)} | + | 2e ⁻ | ⇌ | 2I ⁻ _(aq) | 0.54 |
| Fe ³⁺ _(aq) | + | e ⁻ | ⇌ | Fe ²⁺ _(aq) | 0.77 |
| Ag ⁺ _(aq) | + | e ⁻ | ⇌ | Ag _(s) | 0.80 |
| Hg ²⁺ _(aq) | + | 2e ⁻ | ⇌ | Hg _(l) | 0.85 |
| Br _{2(l)} | + | 2e ⁻ | ⇌ | 2Br ⁻ _(aq) | 1.07 |
| O _{2(g)} + 4H ⁺ | + | 4e ⁻ | ⇌ | 2H ₂ O _(l) | 1.23 |
| Cr ₂ O ₇ ²⁻ _(aq) + 14H ⁺ | + | 6e ⁻ | ⇌ | 7H ₂ O _(l) + 2Cr ³⁺ _(aq) | 1.33 |
| Cl _{2(g)} | + | 2e ⁻ | ⇌ | 2Cl ⁻ _(aq) | 1.36 |
| Au ³⁺ _(aq) | + | 3e ⁻ | ⇌ | Au _(s) | 1.50 |
| MnO ₄ ⁻ _(aq) + 8H ⁺ | + | 5e ⁻ | ⇌ | 4H ₂ O _(l) + Mn ²⁺ _(aq) | 1.51 |
| F _{2(g)} | + | 2e ⁻ | ⇌ | 2F ⁻ _(aq) | 2.87 |

تزداد قوة العوامل المؤكسدة

تزداد قوة العوامل المختزلة

* القيم الواردة في الجدول ليست للحفظ.

ألاحظ أنّ أنصاف تفاعلات الاختزال في الجدول منعكسة، وأنّ الموادّ على يسار المعادلة تمثّل عوامل مؤكسدة تحدث لها عملية اختزال، في حين تمثّل الموادّ على يمين المعادلة عوامل مُختزلة تحدث لها عملية تأكسد، كما أنّ جهود الاختزال تزداد من أعلى إلى أسفل في الجدول. يُستفاد من جدول جهود الاختزال المعيارية في حساب جهد الخلية المعياري، والتنبؤ بتلقائية تفاعلات التأكسد والاختزال، إضافة إلى مقارنة قوة العوامل المؤكسدة والمُختزلة.

حساب جهد الخلية المعياري

بمعرفة جهود الاختزال المعيارية للأقطاب المكونة للخلية الجلفانية؛ يمكن حساب

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{(\text{cathode})} - E^{\circ}_{(\text{anode})} \quad \text{جهد الخلية المعياري حسب المعادلة الآتية:}$$

والأمثلة الآتية توضّح ذلك.

المثال 14

أحسبُ جهدَ الخلية المعياري للخلية الجلفانية التي يحدث فيها التفاعل الآتي:



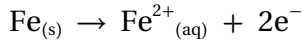
تحليل السؤال:

المعطيات: المعادلة الكلية للتفاعل.

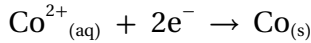
المطلوب: حساب جهد الخلية المعياري E°_{cell} .

خطوات الحل:

1- أحددُ نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال اعتمادًا على معادلة التفاعل الكلية:

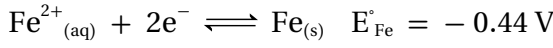


نصف تفاعل التأكسد:



نصف تفاعل الاختزال:

2- أنقل من الجدول (2) نصفي تفاعل الاختزال، وجهود الاختزال المعيارية لنصفي التفاعل السابقين:



$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{(\text{cathode})} - E^{\circ}_{(\text{anode})}$$

3- أحسبُ جهدَ الخلية المعياري E°_{cell} .

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = -0.28 - (-0.44) = +0.16 \text{ V}$$

المثال 15

خلية جلفانية مكوّنة من نصف خلية الفضة $\text{Ag}^{+}|\text{Ag}$ ونصف خلية المغنيسيوم $\text{Mg}^{2+}|\text{Mg}$ في الظروف المعيارية. بالرجوع إلى

جهود الاختزال المعيارية لكلٍّ منهما في الجدول (2)؛ أكتب المعادلة الكلية الموزونة للتفاعل، وأحسب جهدَ الخلية المعياري.

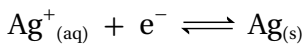
تحليل السؤال:

المعطيات: تتكوّن الخلية الجلفانية من نصف خلية الفضة ونصف خلية المغنيسيوم في الظروف المعيارية.

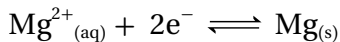
المطلوب: حساب جهد الخلية المعياري E°_{cell} .

خطوات الحل:

1- أكتبُ نصفي تفاعل الاختزال لكلٍّ من قطبي الفضة والمغنيسيوم:



$$E^{\circ}_{\text{Ag}} = 0.80 \text{ V}$$



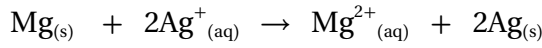
$$E^{\circ}_{\text{Mg}} = -2.37 \text{ V}$$

2- أكتبُ نصفي تفاعل التأكسد والاختزال الحادثين في الخلية الجلفانية.

ألاحظُ أنَّ جهد الاختزال المعياري للفضة أعلى منه للمغنيسيوم؛ أي أنَّ أيونات الفضة Ag^+ أكثر ميلاً للاختزال من أيونات Mg^{2+} ؛ لذلك فإنَّ قطب الفضة Ag يمثل المهبط في الخلية الجلفانية، حيث تُختزل أيوناته؛ في حين يمثل قطب المغنيسيوم Mg المصعد فيها، حيث تتأكسد ذراته، كما في المعادلات الآتية:



للحصول على المعادلة الكلية أضربُ معادلة نصف تفاعل الاختزال في (2)؛ كي يتساوى عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة، ثمَّ أجمعُ نصفي تفاعل التأكسد والاختزال.



3- حساب جهد الخلية المعياري E°_{cell} .

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{(cathode)} - E^{\circ}_{(anode)}$$

$$E^{\circ}_{cell} = 0.80 - (-2.37) = +3.17 \text{ V}$$

ألاحظُ أنَّ جهد الاختزال المعياري للفضة لم يتأثر بضرب نصف تفاعل الاختزال بالمعامل (2)؛ لأنَّ جهد الاختزال يعتمد على نوع المادة وليس على كميتها (عدد مولاتها).

المثال 16

في الخلية الجلفانية المُمثلة بالرمز الآتي:



أحسب جهد الخلية المعياري E°_{cell} .

تحليل السؤال:

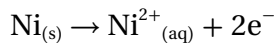
المعطيات: رمز الخلية الجلفانية.

المطلوب: حساب جهد الخلية المعياري.

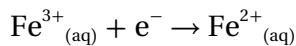
خطوات الحل:

1. أحدد نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال اعتماداً على مخطط الخلية الجلفانية:

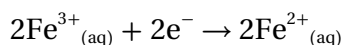
نصف تفاعل التأكسد:



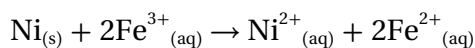
نصف تفاعل الاختزال:



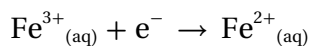
أضرب نصف تفاعل الاختزال بـ (2)؛ لأساوي عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة:



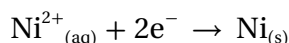
2. أكتب معادلة التفاعل الكلي:



3. أنقل من الجدول (2) نصفي تفاعل الاختزال، وجهود الاختزال المعيارية لنصفي التفاعل السابقين:



$$E^{\circ}_{\text{Fe}^{3+}|\text{Fe}^{2+}} = 0.77 \text{ V}$$



$$E^{\circ}_{\text{Ni}} = -0.23 \text{ V}$$

4. أحسب جهد الخلية المعيارية E°_{cell} .

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{(\text{cathode})} - E^{\circ}_{(\text{anode})}$$

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = 0.77 - (-0.23) = +1.00 \text{ V}$$

✓ **أتحقّق:** خلية جلفانية مكوّنة من نصف خلية الكروم $\text{Cr}^{3+}|\text{Cr}$ ، ونصف خلية النحاس $\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$ المعياريين. بالرجوع إلى جهود الاختزال المعيارية لكل منهما في الجدول (2)؛ أحسب جهد الخلية المعيارية.

التجربة 1

مقارنة جهود بعض الخلايا الجلفانية

المواد والأدوات:

محاليل حجم كل منها (100 mL) بتركيز (1 M) من كل من المركبات الآتية: كبريتات الخارصين ZnSO_4 ، نترات الرصاص $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ، نترات الألمنيوم $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$. و (200 mL) من محلول كبريتات النحاس CuSO_4 ، تركيزه (1 M)، صفيحة من كل من: الخارصين، النحاس، الرصاص، الألمنيوم، ورق صنفرة، فولتمتر، أسلاك توصيل، أنبوب على شكل حرف U، محلول مشبع من كلوريد البوتاسيوم KCl، قطن، كؤوس زجاجية سعة 100 mL عدد (4)، ماء مقطّر.

إرشادات السلامة:

- اتّباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- التعامل مع المواد الكيميائية بحذر.

خطوات العمل:

- 1- **أقيس:** أحضر كؤسين زجاجيين، وأضع 50 mL من محلول كبريتات النحاس في الكأس الأولى و 50 mL من محلول كبريتات الخارصين في الكأس الثانية.



2- **أَجْرِبْ:** أَنْظِفْ صَفِيحَتِي النحاس والخارصين جيِّدًا باستخدام ورق الصنفرة، وأغسلهما بالماء المُقَطَّر، وأترْكُهُمَا تَجَفُّان.

3- **أَجْرِبْ:** أَضَعُ صَفِيحَةَ النحاس في الكأس الأولى وصَفِيحَةَ الخارصين في الكأس الثانية، ثُمَّ أَوْصِلُ أسلاك التوصيل من طرف بالصفحة ومن الطرف الآخر بالفولتميتر لكلا الصفيحتين، وَأَلَاظُ: هل تحرَّك مؤشر الفولتميتر؟

4- **أَجْرِبْ:** أَمَلَأُ الأنبوب الذي على شكل حرف U تمامًا بمحلول كلوريد البوتاسيوم المشبع، وَأَتَأَكَّدُ من عدم وجود فقاعات هواء فيه، ثُمَّ أَغْلِقُ طرفيه بقليل من القطن.

5- **أَلَاظُ:** أَقْلُبُ الأنبوب بحيث يصل بين الكأسين (نصف خلية النحاس ونصف خلية الخارصين)، وَأَلَاظُ تحرُّك مؤشر الفولتميتر (إذا تحرَّك المؤشر بالاتجاه السالب أعكس الأسلاك الموصولة به)، وَأُسَجِّلُ قراءته في الجدول، أراقب الخلية عدة دقائق، وَأَلَاظُ التغيُّر في شِدَّة اللون الأزرق لمحلول كبريتات النحاس. علام يدل ذلك؟

6- **أَجْرِبْ:** أَكْرِّرُ الخطوات السابقة باستخدام أنصاف الخلايا (نحاس - ألومنيوم)، (نحاس - رصاص)، ثم (رصاص - ألومنيوم)، وَأَحْرَصُ على غمس كلِّ صفيحة في محلول مركَّبها، وَأُحْضِرُ القنطرة الملحيَّة من جديد بعد غسل الأنبوب وتجفيفه.

7- **أَنْظُمُ البيانات.** أُسَجِّلُ قِيَمَ جهود الخلايا في الجدول الآتي:

جدول البيانات

| الخلية | جهود الخلية المقاس | جهود الخلية المعياري V |
|-----------------|--------------------|------------------------|
| نحاس - خارصين | | 1.1 |
| نحاس - ألومنيوم | | 2.0 |

التحليل والاستنتاج:

1- **أَحَدُّ** المِصْعَد والمِهْبَط في كلِّ خلية جلفانيَّة.

2- أَكْتُبُ التفاعل الكلِّي في كلِّ خلية جلفانيَّة.

3- **أَفَارُنُ** بين جهود الخلايا الجلفانيَّة التي جرى قياسها، وَأُفَسِّرُ الاختلاف بينها.

4- **أَتَوَقَّعُ** ترتيب الفِلِزَّات وفق تزايد جهود اختزالها اعتمادًا على قِيَمِ جهود الخلايا المقيسة.

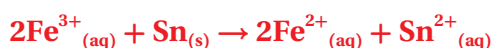
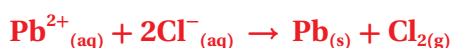
التنبؤ بتلقائية حدوث تفاعلات التأكسد والاختزال

تتفاعل بعض الفلزّات مع محلول حمض الهيدروكلوريك المُخفّف فينطلق غاز الهيدروجين؛ بينما لا يتفاعل بعضها الآخر، ومثال ذلك تفاعل النيكل مع حمض الهيدروكلوريك وإطلاق غاز الهيدروجين، أمّا النحاس فلا يتفاعل، ويحلّ النحاس محلّ الفضة في محلول نترات الفضة؛ بينما لا تحلّ الفضة محلّه في محلول نترات النحاس. هل يمكن استخدام جهود الاختزال المعيارية في التنبؤ بتلقائية حدوث تفاعلات التأكسد والاختزال؟

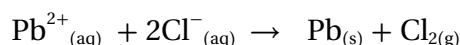
تُستخدم جهود الاختزال المعيارية للتنبؤ بتلقائية حدوث تفاعل التأكسد والاختزال؛ فتلقائية التفاعل **Spontaneity of Reaction** هي حدوث التفاعل دون الحاجة إلى طاقة كهربائية لإجراء التفاعل، وعند حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل؛ فإذا كان موجباً يكون التفاعل تلقائياً؛ أمّا إذا كان سالباً فيكون التفاعل غير تلقائي.

المثال 17

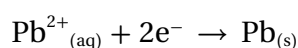
أَتوقعُ، بالاستعانة بالجدول (2)، أيّ تفاعلات التأكسد والاختزال الممثلة بالمعادلات الآتية يحدثُ بشكل تلقائي، وأُفسّر ذلك.



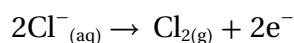
خطوات الحل:



1- أكتبُ نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال:



نصف تفاعل الاختزال:



نصف تفاعل التأكسد:

2- بالرّجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أجدُ أنّ:

$$E^{\circ}_{\text{Pb}} = -0.13 \text{ V}$$

جهد الاختزال المعياري للرصاص

$$E^{\circ}_{\text{Cl}_2} = 1.36 \text{ V}$$

جهد الاختزال المعياري للكلور

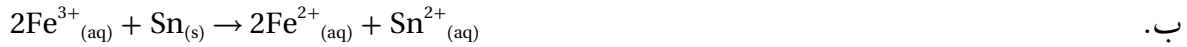
3- أحسبُ جهدَ الخلية المعياري E°_{cell} للتفاعل، كما ورد في المعادلة:

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cathode}} - E^{\circ}_{\text{anode}}$$

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = -0.13 - 1.36 = -1.49 \text{ V}$$

ألاحظُ أنّ قيمة جهد الخلية المعياري للتفاعل سالبة؛ ويعني ذلك أنّ التفاعل غير تلقائي الحدوث. ويمكن التوصل إلى النتيجة السابقة نفسها عند مقارنة جهود الاختزال المعيارية لكلّ من الرصاص والكلور؛

ألاحظ أنَّ جهد الاختزال للكلور أكبر من جهد اختزال الرصاص، ومن ثمَّ لا تتأكسد أيونات الكلوريد Cl^- ولا تُختزل أيونات الرصاص Pb^{2+} .



1- بالاستعانة بالمعادلة الكيميائية؛ أكتب نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال:



2- بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أختار أنصاف تفاعل الاختزال للقصدير وأيونات الحديد Fe^{3+} :



3- أحسب جهد الخلية المعياري E°_{cell} للتفاعل:

$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{cathode}} - E^\circ_{\text{anode}}$$

$$E^\circ_{\text{cell}} = 0.77 - (-0.14) = +0.91 \text{ V}$$

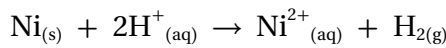
ألاحظ أنَّ جهد الخلية المعياري للتفاعل موجب؛ ويعني ذلك أنَّ التفاعل تلقائي الحدوث.

المثال 18

أفسر: يتفاعل فلز النيكل Ni مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl ، وينطلق غاز الهيدروجين.

خطوات الحل:

1- أكتب معادلة أيونية تمثل تفاعل فلز النيكل مع حمض الهيدروكلوريك، حسب المعادلة الآتية:



2- بالاستعانة بمعادلة التفاعل السابقة؛ أكتب نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال.



3- بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أجد أنَّ:

$$E^\circ_{\text{Ni}} = -0.23 \text{ V}$$

جهد الاختزال المعياري للنیکل

$$E^\circ_{\text{H}_2} = 0.00 \text{ V}$$

وجهد الاختزال المعياري للهيدروجين

ألاحظ أنَّ جهد الاختزال المعياري للهيدروجين أكبر من جهد الاختزال المعياري للنیکل؛ أي أنَّ أيونات الهيدروجين أكثر ميلاً لكسب الإلكترونات من أيونات النیکل؛ لذلك تُختزل أيونات الهيدروجين وتتأكسد

ذرات النيكل، ويكون التفاعل تلقائياً وجهد الخلية موجباً، كما يتَّضح عند حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل:

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cathode}(\text{H}_2)} - E^{\circ}_{\text{anode}(\text{Ni})}$$

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = 0.00 - (-0.23) = +0.23 \text{ V}$$

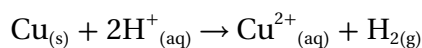
لذلك يتفاعل النيكل مع حمض الهيدروكلوريك ويتصاعد غاز الهيدروجين.

المثال 19

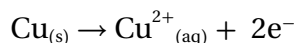
أفسِّر: لا يتفاعل فلزُّ النحاس Cu مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl المُخَفَّف، ولا ينطلق غاز الهيدروجين.

خطوات الحل:

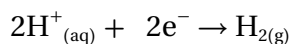
1- أفترض حدوث التفاعل، وأكتبُ معادلته:



2- بالاستعانة بمعادلة التفاعل المُفترض؛ أكتب نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال.



نصف تفاعل التأكسد:



نصف تفاعل الاختزال:

3- بالرُّجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أجدُ أنَّ:

$$E^{\circ}_{\text{Cu}} = 0.34 \text{ V}$$

جهد الاختزال المعياري للنحاس

$$E^{\circ}_{\text{H}_2} = 0.00 \text{ V}$$

وجهد الاختزال المعياري للهيدروجين

ألاحظ أنَّ جهدَ الاختزال المعياري للنحاس أكبر منه للهيدروجين؛ أي أنَّ أيونات النحاس أكثر ميلاً للاختزال من أيونات الهيدروجين؛ لذلك لا يتأكسد النحاس ولا تُختزل أيونات الهيدروجين.

ويمكن حسابُ جهد الخلية المعياري للتفاعل المُفترض، والتنبُّ بتلقائية حدوث التفاعل:

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cathode}(\text{H}_2)} - E^{\circ}_{\text{anode}(\text{Cu})}$$

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = 0.00 - 0.34 = -0.34 \text{ V}$$

ألاحظ أنَّ جهد الخلية المعياري للتفاعل المُفترض سالبٌ؛ أي أنَّ التفاعل غير تلقائي الحدوث.

ويمكن أيضاً استخدام جهود الاختزال المعيارية للتنبُّ بإمكانية تفاعل الفلزَّات أو اللافلزَّات مع محاليل الأملاح، كما في الأمثلة الآتية:

المثال 20

هل يمكن تحريك محلول نترات الفضة AgNO_3 بملعقة من الكروم Cr ؟

المعطيات:

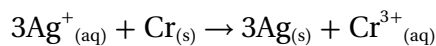
المحلول المستخدم AgNO_3 ، الملعقة مصنوعة من الكروم Cr .

المطلوب:

هل يحدث تفاعل بين نترات الفضة AgNO_3 والكروم Cr ؟

الحل:

لتحريك محلول ما بملعقة معينة؛ يجب ألا يحدث تفاعل بينها وبين أيونات المحلول عند تحريكه بها. ولمعرفة ذلك؛ يُفترض حدوث تفاعل وكتابة معادلته كالتالي:



ألاحظ أن التفاعل المتوقع هو تأكسد ذرات الكروم واختزال أيونات الفضة؛ وللحكم على إمكانية حدوث التفاعل يُرجع إلى جهود الاختزال المعيارية للفضة والكروم، وهي ($E^\circ_{\text{Cr}} = -0.73 \text{ V}$ ، $E^\circ_{\text{Ag}} = 0.8 \text{ V}$)؛ فألاحظ أن جهد اختزال الفضة المعياري أعلى من جهد اختزال الكروم المعياري؛ أي أن أيونات الفضة أكثر ميلاً للاختزال من أيونات الكروم؛ لذلك يتأكسد الكروم ويختزل أيونات الفضة؛ أي أن التفاعل بينهما تلقائي. ويمكن أيضاً حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل كالتالي:

$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{cathode}(\text{Ag})} - E^\circ_{\text{anode}(\text{Cr})}$$

$$E^\circ_{\text{cell}} = 0.8 - (-0.73) = +1.53 \text{ V}$$

ألاحظ أن جهد الخلية المعياري للتفاعل موجب؛ أي أن التفاعل تلقائي الحدوث، ومن ثم لا يمكن تحريك محلول نترات الفضة بملعقة من الكروم.

المثال 21

هل يمكن تحضير البروم Br_2 من محلول بروميد البوتاسيوم KBr باستخدام اليود I_2 ؟

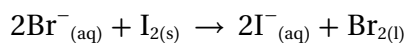
تحليل السؤال:

المعطيات: المحلول المستخدم بروميد البوتاسيوم KBr ، المادة المستخدمة اليود I_2 .

المطلوب: هل يحدث تفاعل بين محلول بروميد البوتاسيوم KBr واليود I_2 ويتكوّن البروم Br_2 ؟

الحل

كتابة معادلة التفاعل المتوقع:



ألاحظ أن التفاعل المتوقع هو تأكسد أيونات البروميد Br^- واختزال اليود I_2 . وللحكم على إمكانية حدوث التفاعل؛ يُرجع إلى جهود الاختزال المعيارية للبروم واليود: ($E^\circ_{\text{Br}_2} = 1.07 \text{ V}$ ، $E^\circ_{\text{I}_2} = 0.54 \text{ V}$)؛ إذ يُلاحظ أن جهد الاختزال المعياري للبروم أعلى من جهد الاختزال المعياري لليود، ثم إن البروم Br_2 أكثر ميلاً للاختزال من

اليود I_2 ؛ لذلك لا تتأكسد أيونات البروميد Br^- ولا تختزل اليود I_2 ؛ أي أن التفاعل بينهما غير تلقائي. ويمكن أيضًا حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل كالتالي:

$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{cathode}(I_2)} - E^\circ_{\text{anode}(Br_2)}$$

$$E^\circ_{\text{cell}} = 0.54 - 1.07 = -0.53 \text{ V}$$

ألاحظ أن جهد الخلية المعياري للتفاعل سالب؛ أي أن التفاعل غير تلقائي الحدوث، ومن ثم لا يمكن تحضير البروم Br_2 من محلول بروميد البوتاسيوم KBr باستخدام اليود I_2 .

✓ **أتحقق:**

باستخدام جدول جهود الاختزال المعيارية أجب عما يأتي:

1- أتوقع: هل يمكن حفظ محلول كبريتات الحديد $FeSO_4$ II في وعاء من الألمنيوم Al؟ أبرر إجابتي.

2- أتوقع: هل يمكن حفظ نترات المغنيسيوم $Mg(NO_3)_2$ في وعاء من القصدير Sn؟ أبرر إجابتي.

مقارنة قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة

بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ يتضح أن جهود الاختزال المعيارية تزداد من أعلى إلى أسفل في الجدول؛ أي يزداد ميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث؛ ويعني ذلك أن قوة العوامل المؤكسدة تزداد أيضًا، فيكون الفلور F_2 أقوى عامل مؤكسد، في حين يكون أيون الليثيوم Li^+ أضعف عامل مؤكسد، وكذلك فإن ميل نصف تفاعل التأكسد للحدوث يقل بالاتجاه نحو الأسفل أي بزيادة جهود الاختزال المعيارية، وبذلك تقل قوة العامل المختزل؛ أي أن الليثيوم Li يمثل أقوى عامل مختزل، في حين يمثل أيون الفلوريد F^- أضعف عامل مختزل. والأمثلة الآتية توضح كيفية توظيف جهود الاختزال لمقارنة قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة.

الربط مع الحياة



يحدث أحيانًا انتفاخ علب الأغذية؛ لعدة أسباب، منها: تفاعل الأغذية الحامضية مع الفلز المكون للعلبة المحفوظة فيها، وينتج عن ذلك غاز الهيدروجين؛ فيتسبب في انتفاخ العلبة، وغالبًا ما تكون هذه التفاعلات جزءًا من العوامل التي تُحدد مدة صلاحية هذه المنتجات.



المثال 22

أستعين بجدول جهود الاختزال المعيارية، وأرتب المواد الآتية تصاعديًا وفق قوتها بوصفها عوامل مؤكسدة في الظروف المعيارية:

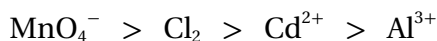


الحل:

| نصف تفاعل الاختزال | E° (V) |
|--|---------------|
| $Al^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Al$ | -1.66 |
| $Cd^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cd$ | -0.40 |
| $Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$ | 1.36 |
| $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$ | 1.51 |

بالعودة إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أختار أنصاف التفاعلات للمواد السابقة، وأرتبها وفق تزايد

جهود الاختزال المعيارية؛ فيكون أعلى يسار الجدول أضعف عامل مؤكسد يمتلك أقل جهد اختزال معياري؛ أي أن أيونات الألمنيوم Al^{3+} أضعف عامل مؤكسد، وأن MnO_4^- أعلى جهد اختزال معياري؛ أي أنه أقوى عامل مؤكسد. أمّا ترتيب المواد حسب قوتها بوصفها عوامل مؤكسدة فهو:



المثال 23

أستعينُ بجدول جهود الاختزال المعيارية، ثم أجيب عما يأتي:

1- أرتب المواد الآتية تصاعدياً وفق قوتها بوصفها عوامل مختزلة في الظروف المعيارية:

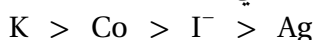


2- هل يمكن لأيونات الكوبلت Co^{2+} أكسدة أيونات اليوديد I^- ؟ أفسّر إجابتي.

الحل:

| نصف تفاعل الاختزال | $E^\circ (V)$ |
|--|---------------|
| $K^+ + e^- \rightleftharpoons K$ | -2.92 |
| $Co^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Co$ | -0.28 |
| $I_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2I^-$ | 0.54 |
| $Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$ | 0.80 |

1- بالعودة إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أختار أنصاف التفاعلات للمواد السابقة، وأرتبها وفق تزايد جهود الاختزال المعيارية؛ فيكون أسفل يمين الجدول وهو Ag ، أضعف عامل مختزل؛ أي أقلها ميلاً إلى التأكسد، ويكون أعلى يمين الجدول، وهو K ، أقوى عامل مختزل؛ أي أكثرها ميلاً إلى التأكسد، ويكون ترتيب بقية العوامل المختزلة تصاعدياً كالآتي:



2- أقارن جهود الاختزال المعيارية للكوبلت واليود؛ فألاحظ أن جهد الاختزال المعياري لليود أعلى منه للكوبلت؛ أي أن اليود أكثر ميلاً للاختزال من أيونات الكوبلت؛ لذلك لا تؤكسد أيونات الكوبلت Co^{2+} أيونات اليوديد I^- .

المثال 24

| نصف تفاعل الاختزال | $E^\circ (V)$ |
|--|---------------|
| $Cr^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Cr$ | -0.73 |
| $Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$ | +1.36 |
| $Ni^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ni$ | -0.23 |
| $Pb^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Pb$ | -0.13 |

أدرس جهود الاختزال المعيارية في الجدول، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:

1- أحدد أقوى عامل مؤكسد.

2- أحدد أقوى عامل مختزل.

3- هل يستطيع النيكل Ni اختزال جزيئات الكلور Cl_2 ؟ أفسّر إجابتي.

4- هل تستطيع أيونات الكروم Cr^{3+} أكسدة الرصاص Pb ؟ أفسّر إجابتي.

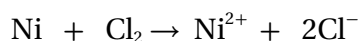
الحل:

1- أحدد أقوى عامل مؤكسد: تحدث للعامل المؤكسد عملية اختزال، وأقوى عامل مؤكسد هو المادة التي لها

أعلى جهد اختزال معياري، وَيَتَّضِح من الجدول أنه الكلور Cl_2 ، وجهد اختزاله المعياري $E^\circ = 1.36 \text{ V}$

2- أُحَدِّدُ أقوى عامل مختزل: تحدث للعامل المختزل عملية تأكسد، وأقوى عامل مختزل هو المادة التي لها أقل جهد اختزال معياري، وَيَتَّضِح من الجدول أنه الكروم Cr ، وجهد اختزاله المعياري $E^\circ = -0.73 \text{ V}$

3- أُقَارِنُ جهدَ اختزال النيكل (-0.23 V) وجهدَ اختزال الكلور (1.36 V)، فَأُلاحِظُ أَنَّ جهدَ اختزال النيكل المعياري أقل من جهد اختزال الكلور المعياري؛ لذلك يتأكسد النيكل ويختزل جزيئات الكلور. ويمكن كتابة معادلة التفاعل المتوقع وحساب جهد الخلية المعياري للتفاعل كالآتي:

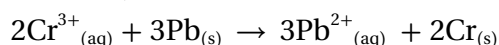


$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{cathode}(\text{Cl}_2)} - E^\circ_{\text{anode}(\text{Ni})}$$

$$E^\circ_{\text{cell}} = 1.36 - (-0.23) = 1.59 \text{ V}$$

بما أَنَّ جهد الخلية المعياري موجبٌ؛ فالتفاعل تلقائي.

4- أُقَارِنُ جهدَ اختزال الرصاص (-0.13 V) وجهدَ اختزال الكروم (-0.73 V)؛ فَأُلاحِظُ أَنَّ جهدَ اختزال الرصاص المعياري أعلى من جهد اختزال الكروم المعياري؛ لذلك لا تستطيع أيونات الكروم Cr^{3+} أكسدة الرصاص. ويمكن كتابة معادلة التفاعل المتوقع وحساب جهد الخلية المعياري للتفاعل كالآتي:



$$E^\circ_{\text{cell}} = -0.73 - (-0.13) = -0.60 \text{ V}$$

بما أَنَّ جهد الخلية المعياري سالبٌ؛ فالتفاعل غير تلقائي.

✓ **أَتَحَقَّقُ:**

أدرس الجدول الآتي، حيث يتضمن جهود الاختزال المعيارية لبعض المواد، ثم أجيب عما يليه:

| نصف تفاعل الاختزال | $E^\circ (\text{V})$ |
|--|----------------------|
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ | 1.33 |
| $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$ | 0.80 |
| $\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$ | -0.14 |
| $\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}$ | 1.5 |

أفكر: أرّب الفلزات ذوات الرموز الافتراضية X ، Y ، Z وفق قوتها بوصفها عوامل مختزلة إذا علمت أن: الفلز X يختزل أيونات Z^{2+} ولا يختزل أيونات Y^{2+} .

- 1- أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد وأقوى عامل مختزل.
- 2- أستنتج: أيُّ الفلزّات تختزل أيونات $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ولا تختزل أيونات Sn^{2+} ؟

Applications of the Galvanic Cell

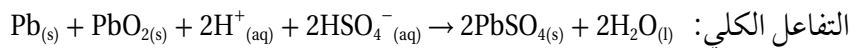
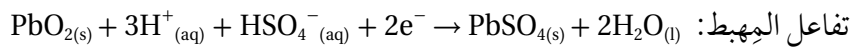
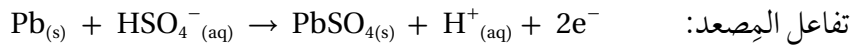
البطاريات Batteries

تُعدُّ البطاريات من التطبيقات العملية المهمة للخلايا الجلفانية؛ إذ تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال تلقائية تتحوّل فيها الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، وتختلف البطاريات في ما بينها في مكوّناتها، ومن ثمّ تختلف تفاعلات التأكسد والاختزال التي تُولّد الطاقة الكهربائية فيها.

هناك أنواع مختلفة من البطاريات؛ منها البطاريات الأولية التي تُستخدم مرّة واحدة ولا يمكن إعادة شحنها، مثل: البطاريات الجافة، والبطاريات الجافة القلوية. ومن أنواعها أيضًا البطاريات الثانوية؛ وهي قابلة لإعادة الشحن، مثل: بطاريات التخزين، مثل المرمك الرصاصي (بطارية الرصاص الحمضية)، وبطارية أيون الليثيوم، أنظر الشكل (8).

بطارية الرصاص للتخزين Lead Storage Battery

تُعدُّ بطارية الرصاص الحمضية مثالًا على البطاريات الثانوية؛ أي يمكن إعادة شحنها، وتتكوّن من ستّ خلايا جلفانية تتكوّن كلّ منها من ألواح من الرصاص تمثّل فيها المصعد، وألواح من الرصاص المغلف بأكسيد الرصاص PbO_2 IV تمثّل المهبط. تُرتّب هذه الأقطاب (الخلايا) داخل وعاء بلاستيكي مقوّى بطريقة متبادلة تفصل بينها صفائح عازلة، وتُغمّر في محلول حمض الكبريتيك الذي كثافته 1.28g/cm^3 ، وتوصل الخلايا على التوالي، كما يوضّح الشكل (9)، أمّا أنصاف التفاعلات التي تحدث فيها فهي:

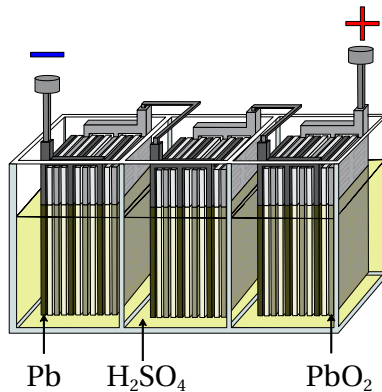


جهد الخلية الواحدة يساوي 2 V تقريبًا؛ أي أنّ البطارية تعطي فرق جهد يساوي 12 V.

الشكل (8): أنواع مختلفة من البطاريات.



الشكل (9): بطارية الرصاص الحمضية.



يُلاحظُ منَ المعادلات الكيميائية أنَّ حمض الكبريتيك يُستهلك نتيجة استخدام البطارية؛ فيؤدي ذلك إلى نقصان كثافته؛ لذلك يمكن مراقبة كفاءة البطارية عن طريق قياس كثافة حمضها.

عند شحن البطارية بواسطة تيار كهربائي؛ يُعكس تفاعل التأكسد والاختزال، ثمَّ التفاعل الكلي في البطارية، وفي السيارات تجري عملية الشحن بشكل تلقائي ومستمرَّ بواسطة مولّد التيار (الدينامو) المُتّصل بمحرّك السيّارة. ويتراوح عمرُ البطارية من 3-5 سنوات تقريباً؛ إذ إنها تفقدُ صلاحيتها نتيجة فقدان جزء من مكوناتها، مثل $PbSO_4(s)$ الذي يتكوّن على الأقطاب نتيجة عمليّتي التأكسد والاختزال اللتين تحدثان فيها، ونتيجة الحركة المستمرة للمركّبات على الطرق التي تؤدي إلى تساقطه عن ألواح الرصاص، وعدم دخوله في التفاعل العكسي الذي يؤدي إلى إعادة شحن البطارية.

بطارية أيون الليثيوم Lithium – Ion Battery

تُعدُّ بطارية أيون الليثيوم من أكثر أنواع البطاريات استخداماً في الوقت الحاضر، وقد استُخدمت للمرّة الأولى عام 1991؛ أمّا اليوم فإنها تُعدُّ مصدر الطاقة الرئيس لكثير من وسائل التكنولوجيا وأدواتها في المجالات المختلفة، حيث تُستخدم في السيارات الكهربائية والحواسيب والهواتف المحمولة وعدد من الأجهزة الكهربائية الاستهلاكية الأخرى، أنظر الشكل (10). ممّ تتكوّن بطارية أيون الليثيوم؟ وما التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها؟ وما ميزاتها؟

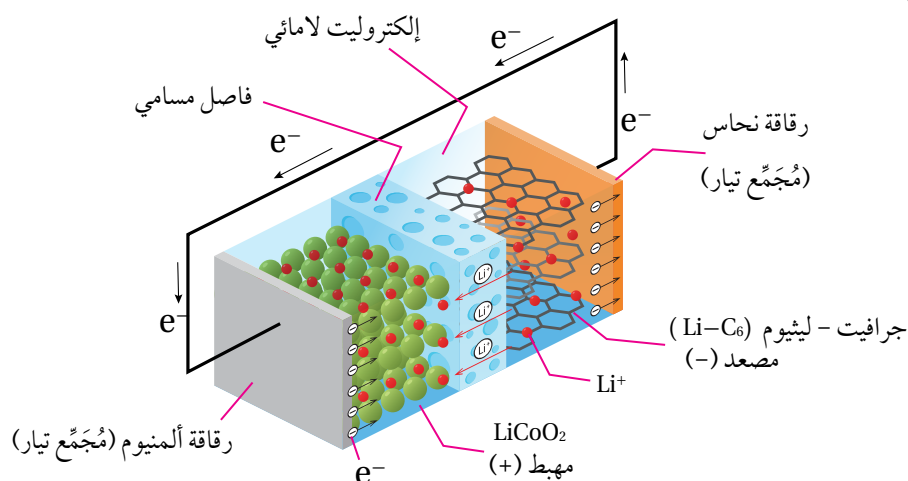
تتكوّن بطارية أيون الليثيوم من خلايا عدّة متصلة بعضها ببعض، تتكوّن كلّ منها من ثلاثة مكونات رئيسة، هي:

- المصعد (القطب السالب): يتكوّن عادةً من الجرافيت الذي يحمل ذرات الليثيوم وأيوناته دون التأثير فيها.



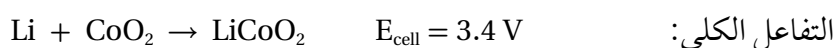
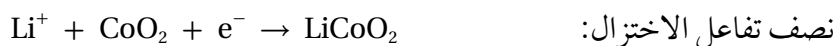
الشكل (10): بطارية أيون الليثيوم.

الشكل (11): رسم تخطيطي لمكونات بطارية أيون الليثيوم.



- المهبط (القطب الموجب): يتكوّن من بلّورات لأكسيد عنصر انتقالي، مثل أكسيد الكوبلت $(\text{CoO}_2)\text{IV}$ الذي يمكنه أيضًا حمل أيونات الليثيوم، أنظر الشكل (11).

- المحلول الإلكتروليتي: يتكوّن من محلول لامائي لأحد أملاح الليثيوم ومذيب عضوي يذوب فيه الملح، وعادةً يُستخدم LiPF_6 مُذابًا في كربونات الإيثيلين $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_3$ ، وتولّد خلايا أيون الليثيوم الكهرباء من خلال تفاعل التأكسد والاختزال الآتي:



حيث تتأكسد ذرات الليثيوم عند المصعد متحوّلة إلى أيونات Li^+ ، تنتقل عبر المحلول الإلكتروليتي باتجاه المهبط؛ بينما تتحرّك الإلكترونات عبر الدارة الخارجية من المصعد إلى المهبط، حيث تختزل أيونات الكوبلت من Co^{4+} في أكسيد الكوبلت CoO_2 إلى Co^{3+} ويتكوّن أيون CoO_2^- الذي يرتبط مع أيون الليثيوم Li^+ مكونًا LiCoO_2 ؛ وهي عملية ينعكس مسارها خلال شحن البطارية، فتتأكسد أيونات الكوبلت من Co^{3+} في LiCoO_2 إلى Co^{4+} وتتحرّك أيونات الليثيوم Li^+ عبر المحلول الإلكتروليتي باتجاه نصف خلية الجرافيت حيث تُختزل.

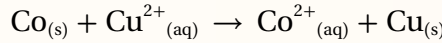
تستمد بطارية أيون الليثيوم مزاياها من أنّ لليثيوم أقلّ جهد اختزال معياري؛ أي أنه أقوى عامل مختزل، وكذلك فإنه أخفّ عنصر فلزي؛ حيث إنّ 6.941 g منه (كتلته المولية) كافية لإنتاج 1 مول من الإلكترونات؛ أي أنّ البطارية خفيفة الوزن، وكثافة طاقتها عالية، ويمكن إعادة شحنها مئات المرات.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: كيف تنتج الخلية الجلفانية الطاقة الكهربائية؟

2. أَوْضِّحْ المقصودَ بكلِّ من: • القنطرة الملحيّة. • جهد الاختزال المعياري.

3. خلية جلفانية يحدث فيها التفاعل الآتي:



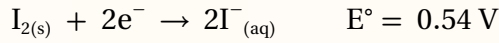
أ. أ حَدِّدْ فيها المصعدَ والمهبط.

ب. اكتب نصفَي تفاعل التأكسد والاختزال.

ج. أحسب جهد الخلية المعياري، وكتب تعبيراً رمزياً للخلية الجلفانية.

د. ما التغيّر الذي يحدث لكتلة كلا القطبين.

4. نصفَا التفاعل الآتيان يشكّان خلية جلفانية في الظروف المعيارية:



أجب عن الأسئلة الآتية المتعلقة بهما:

ب. أحسب جهد الخلية المعياري.

د. اكتب رمز الخلية الجلفانية.

أ. اكتب معادلة التفاعل الكلي في الخلية.

ج. ما التغيّر الذي يحدث لتركيز أيونات كل من Fe^{2+} و I^- ؟

| $E^\circ_{\text{Cell}} (\text{V})$ | المصعد | قطبا الخلية |
|------------------------------------|--------|-------------|
| 1.3 | D | D-B |
| 1.5 | E | E-B |
| 0.4 | C | C-E |
| 0.3 | B | A-B |

5. أدرس الجدول الآتي الذي يوضح جهد الخلية المعياري

لعدد من الخلايا الجلفانية المكوّنة من الفلزّات ذوات الرموز

الافتراضية (A,B,C,D,E)، وجميعها تُكوّن أيونات ثنائية موجبة،

ثمّ أجب عن الأسئلة الآتية:

أ. أ حَدِّدْ الفِلْزَّ الذي له أعلى جهد اختزال معياري: D أم C.

ب. أ حَدِّدْ أقوى عامل مؤكسد.

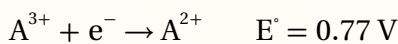
ج. أُنَبِّأ. هل يمكن تحريك محلول نترات E بمعلقة من A؟ أفسّر إجابتي.

د. أ حَدِّدْ اتّجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك في الخلية الجلفانية المكوّنة من نصف خلية $\text{E}^{2+}|\text{E}$ ونصف

خلية $\text{D}^{2+}|\text{D}$.

هـ. أحسب جهد الخلية المعياري للخلية الجلفانية المكوّنة من نصف خلية $\text{C}^{2+}|\text{C}$ ونصف خلية $\text{B}^{2+}|\text{B}$.

6. فلزان أعطيا الرمزین الافتراضیین A و B، حیث آیوناتهما B^+ ، A^{3+} ، قیست جهود الاختزال المعیارية لنصفی تفاعل الاختزال المعیاریین المكونین لخلية جلفانية كالآتي:



أ. أكتب معادلة كیمیائیة للتفاعل الكلّي في الخلية الجلفانية.

ب. أحسب E° للتفاعل الكلّي.

ج. أحدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل.

7. أدرُس الجدول المجاور الذي یمثّل جهود الاختزال المعیارية لبعض المواد، ثمّ أجیب عن الأسئلة الآتية:

أ. أحدّد أقوى عامل مؤكسد وأقوى عامل مختزل.

| المادة | $E^\circ \text{ (V)}$ |
|-----------|-----------------------|
| Co^{2+} | -0.28 |
| Br_2 | 1.07 |
| Pb^{2+} | -0.13 |
| Ag^+ | 0.80 |
| Mn^{2+} | -1.18 |
| Cd^{2+} | -0.40 |

ب. أستنتج: هل یمكن حفظ البروم Br_2 في وعاء من الفضة؟ أفسّر إجابتي.

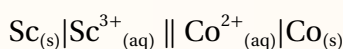
ج. أقارن: ما الفلزان اللذان یكونان خلية جلفانية لها أكبر جهد خلية معیاري؟

د. أستنتج المادة التي تستطيع أكسدة Cd ولا تؤكسد Pb.

هـ. أحدّد القطب الذي تزداد كتلته في الخلية الجلفانية (Cd-Pb).

و. أحدّد الفلز الذي لا یحرّر غاز الهیدروجین من محلول حمض HCl المخفض.

ز. في الخلية الجلفانية التي أعطیت الرّمز الآتي:



إذا علِمْتُ أنّ جهد الخلية المعیاري $E_{cell} = 1.8 \text{ V}$ ، فأجیب عن الأسئلة الآتية:

أ. أحدّد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك في الخلية.

ب. أحسب جهد الاختزال المعیاري لقطب السكّانديوم Sc.

ج. أكتب معادلة التفاعل الكلّي في الخلية.

8. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. العبارة الصحيحة المتعلقة بالخلية الجلفانية التي تفاعلها: $(Mg + Ni^{2+} \rightarrow Mg^{2+} + Ni)$ ، هي:

أ. القطب الموجب Mg. ب. في نصف الخلية $Mg^{2+} | Mg$ یقل تركیز آیونات Mg^{2+} .

ج. القطب Ni هو المصعد. د. یقل تركیز آیونات Ni^{2+} في نصف الخلية $Ni^{2+} | Ni$.

2. العبارة الصحيحة اعتمادًا على جهد الخليتين الآتيتين، هي:

$$(Zn|Zn^{2+}||Co^{2+}|Co) E^{\circ} = 0.48 V \quad , \quad (Mn|Mn^{2+}||Co^{2+}|Co) E^{\circ} = 0.9 V$$

- أ. Zn^{2+} أكثر ميلًا إلى الاختزال من Mn^{2+} .
 ب. Zn^{2+} أكثر ميلًا إلى الاختزال من Co^{2+} .
 ج. Co الأكثر ميلًا للتأكسد.
 د. Mn^{2+} الأكثر ميلًا للاختزال.

3. خلية جلفانية قطباها (Cd, Pb)، وتتحرك فيها الأيونات السالبة من القنطرة الملحية نحو نصف الخلية (Cd²⁺|Cd). التفاعل الذي يحدث على المهبط، هو:



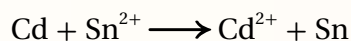
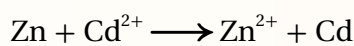
4. إذا كان الفلز B يتفاعل مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl بينما لا يتفاعل الفلز E، ويمكن للوعاء المصنوع من الفلز A حفظ محاليل الفلزات B, C, E، بالإضافة إلى قدرة الفلز C على اختزال أيونات B²⁺، فإن ترتيب هذه الفلزات وفق قوتها بوصفها عوامل مختزلة، هو:

- أ. $A > B > E > C$
 ب. $A > E > B > C$
 ج. $A < E < B < C$
 د. $A < B < E < C$

5. إذا كان ترتيب الأيونات حسب جهد اختزالها هو $D^{2+} > C^{2+} > B^{2+} > A^{2+}$ ، فإن الفلز الذي يمكنه استخلاص الفلزات الأخرى من محاليل أملاحها، هو:

- أ. A
 ب. B
 ج. C
 د. D

6. إذا كان التفاعلان الآتيان يحدثان تلقائيًا:



فإن ترتيب الأيونات (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Sn^{2+}) وفق قوتها بوصفها عوامل مؤكسدة، هو:

أ. $Cd^{2+} < Zn^{2+} < Sn^{2+}$
 ب. $Cd^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$
 ج. $Zn^{2+} < Cd^{2+} < Sn^{2+}$
 د. $Zn^{2+} > Cd^{2+} > Sn^{2+}$

| Cu^{2+} | Co^{2+} | Cd^{2+} | Ni^{2+} | Al^{3+} |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| +0.34 | -0.28 | -0.40 | -0.23 | -1.66 |

7. اعتمادًا على جهود الاختزال المعيارية للفلزات المبيّنة في الجدول الآتي:

فإن الفلز الذي يمكنه تحرير غاز الهيدروجين (H_2) من محلول الحمض HBr ولا يمكنه اختزال أيونات Co^{2+} هو:

أ. Cu
 ب. Ni
 ج. Cd
 د. Al

| التفاعل الذي يحدث في الخلية | جهد الخلية (E°) |
|--|----------------------------|
| $Z + Y^{2+} \rightarrow Z^{2+} + Y$ | 0.26 V |
| $H_2 + 2X^{+} \rightarrow 2H^{+} + 2X$ | 0.8 V |
| $Y + 2X^{+} \rightarrow Y^{2+} + 2X$ | 0.94 V |

8. يبيّن الجدول الآتي قيم فرق الجهد الكهربائي لثلاث خلايا جلفانية. إذا علمت أن جهد اختزال الفلز R يساوي (-0.28V)، فإن الرمز الصحيح للخلية الجلفانية التي يمثل القطب R مهبطها، هو:

- أ. $(Y|Y^{2+}||R^{2+}|R)$
 ب. $(X|X^{+}||R^{2+}|R)$
 ج. $(Z|Z^{2+}||R^{2+}|R)$
 د. $(R|R^{2+}||Z^{2+}|Z)$

التحليل الكهربائي Electrolysis

تُنتج الخلايا الجلفانية تيارًا كهربائيًا بسبب حدوث تفاعل تأكسد واختزال تلقائي فيها، ويُستفاد منها بوصفها مصدرًا للطاقة في تشغيل العديد من الأجهزة الكهربائية؛ بينما هناك تفاعلات تأكسد واختزال لا تحدث بشكل تلقائي، ويتطلب حدوثها تزويدها بطاقة كهربائية من مصدر خارجي، عندها تُسمى الخلية المستخدمة **خلية تحليل كهربائي Electrolytic Cell**، وتُسمى عملية تمرير تيار كهربائي في مصهور أو محلول مادة كهربية؛ مما يؤدي إلى حدوث تفاعل تأكسد واختزال، عملية **التحليل الكهربائي Electrolysis**، ويكون جهد هذه الخلية سالبًا. ولعملية التحليل الكهربائي أهمية كبيرة؛ فعن طريقها تُشحن البطاريات، وتُستعمل في استخلاص بعض الفلزات النشطة من مصاهيرها، مثل الصوديوم والألمنيوم، وتُستخدم في تنقية الفلزات والطلاء الكهربائي لبعضها، سواء لحمايتها من التآكل أو لإكسابها مظهرًا جميلًا، كما في الشكل (12). ممّ تتكوّن خلية التحليل الكهربائي؟ وما آلية عملها؟ وهل تختلف نواتج التحليل الكهربائي لمصهور المادة عن محلولها؟

التحليل الكهربائي لمصهور مادة كهربية

Electrolysis of Molten Electrolyte

تتكوّن خلية التحليل الكهربائي من وعاء يحتوي على مصهور مادة أيونية، وأقطاب خاملة من الجرافيت أو البلاتين، وبطارية وأسلاك توصيل، حيث يوصل أحد الأقطاب بقطب البطارية السالب، ويُسمى المهبط، بينما

الشكل (12): مظهر جميل لكؤوس وأواني
نتج عن طلاؤها كهربائيًا .

الفكرة الرئيسة:

تُستخدم الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي في خلايا التحليل الكهربائي.

نتائج التعلم:

- أحدد مكونات خلية التحليل الكهربائي ومبدأ عملها.
- أتناقش نواتج التحليل الكهربائي لمصاهير المركبات الأيونية ومحاليلها.
- أجري تجارب للتحليل الكهربائي لمحاليل بعض المركبات الأيونية.
- أوصول إلى تطبيقات خلايا التحليل الكهربائي في الصناعة.

المفاهيم والمصطلحات:

خلايا التحليل الكهربائي

Electrolytic Cells

التحليل الكهربائي Electrolysis



يَتَّصِلُ القطب الآخر بقطبها الموجب، ويُسمَّى المِصْعَد، كما في الشكل (13). يحتوي مصهور المادّة الأيونية على أيونات موجبة وسالبة، وعند تمرير تيار كهربائي فيه تتحرّك الأيونات باتجاه الأقطاب المخالفة لها في الشحنة؛ حيث تتحرّك الأيونات الموجبة باتجاه القطب السالب (المهبط) وتُختزل، أمّا الأيونات السالبة فتتحرّك باتجاه القطب الموجب (المِصْعَد) وتتأكسد، ومن ثَمَّ فإنّ التفاعل الذي يحدث في الخليّة غير تلقائي؛ لذا يجب أن يكون جهد البطاريّة المُستخدَمة لإحداثه أكبر من جهد الخليّة المعياري.

التحليل الكهربائي لمصهور NaCl

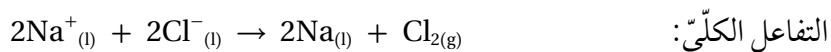
يحتوي مصهور NaCl على أيونات Na^+ و Cl^- ، كما هو موضح في المعادلة الآتية: $NaCl_{(l)} \rightarrow Na^+_{(l)} + Cl^-_{(l)}$ ، ويبيّن الشكل (14) خلية التحليل الكهربائي لمصهور NaCl؛ حيث يُلاحظ أنه عند إغلاق الدارة الكهربائيّة ومرور تيار كهربائي عبر الأسلاك تتحرّك أيونات الصوديوم Na^+ باتجاه المهبط، وتحدث لها عمليّة اختزال، وتتكوّن ذرات الصوديوم، كما في المعادلة الآتية:



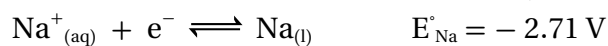
أمّا أيونات الكلوريد Cl^- فتتحرّك باتجاه المِصْعَد، حيث تتأكسد مكوّنة غاز الكلور، كما في المعادلة الآتية:



ولإيجاد التفاعل الكليّ في الخليّة يُجمَع نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال بعد مساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمُكتسبة.



ويمكن حساب جهد الخليّة المعياري بالرجوع إلى الجدول (2)، ومعرفة قيم جهود الاختزال المعياريّة، كالآتي:

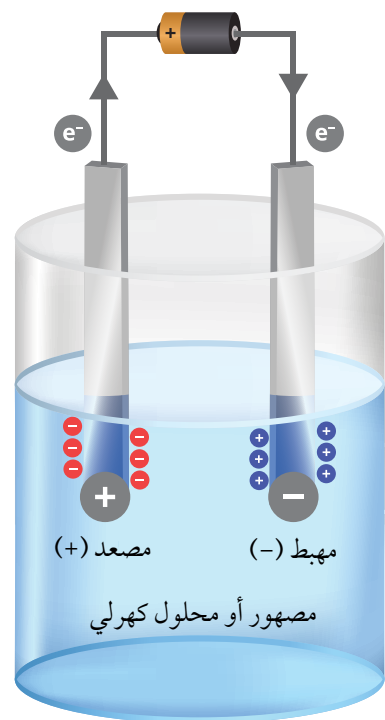


ثمّ أحسب جهد الخليّة المعياري:

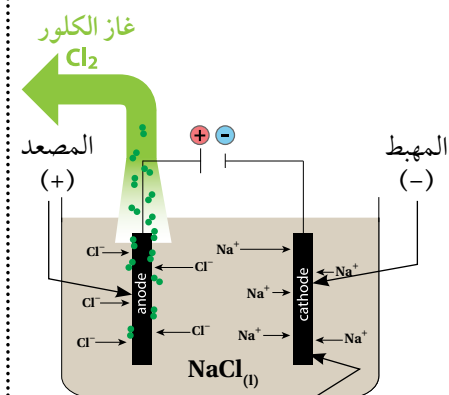
$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{Na(\text{cathode})} - E^\circ_{Cl_2(\text{anode})}$$

$$E^\circ_{\text{cell}} = -2.71 - 1.36 = -4.07 \text{ V}$$

يُلاحظ أنّ جهد الخليّة المعياري للتفاعل سالب؛ ويعني ذلك أنّ التفاعل غير تلقائي، وأنّه يحدث بسبب تزويد الخليّة بفرق جهد كهربائي من البطاريّة يزيد على جهد الخليّة المعياري؛ أي أكبر من (4.07 V). وتُستخدَم عمليّة تحليل مصهور NaCl كهربائيًا لاستخلاص الصوديوم صناعيًا، كما تُستخلص معظم الفلزّات النشطة، مثل الليثيوم والبوتاسيوم غالبًا من مصاهير كلوريداتها بتحليلها كهربائيًا.



الشكل (13): مكوّنات خلية التحليل الكهربائي.



يتكوّن $Na_{(l)}$ عند المهبط ويسحب من الخليّة

الشكل (14): التحليل الكهربائي لمصهور NaCl.

- أُجِيبْ عن الأسئلة الآتية المتعلقة بالتحليل الكهربائي لمصهور CaBr_2 :
- 1- أكتبُ نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال في خلية التحليل الكهربائي.
 - 2- أستنتجُ نواتج التحليل الكهربائي للمصهور.
 - 3- أتوقعُ جهد البطارية اللازم لإحداث تفاعل التحليل الكهربائي للمصهور.

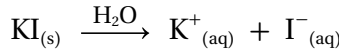
التحليل الكهربائي لمحلول مَادَّة كَهْرَلِيَّة

Electrolysis of an Electrolyte Solution

يحتوي المحلول المائي للمادَّة الأيونيَّة على الأيونات الموجبة والسالبة الناتجة عن تفكُّكها، وعلى جزيئات الماء؛ لذلك عند التحليل الكهربائي لمحلول مائي لمرَكَّب أيوني يُحتمَل حدوث تأكسد للأيونات السالبة في المحلول أو لجزيئات الماء، وكذلك يُحتمَل أن يحدث اختزال للأيونات الموجبة أو لجزيئات الماء في المحلول؛ لذلك قد تختلف نواتج عمليَّة التحليل الكهربائي لمصهور مرَكَّب أيوني عنها لمحلوله، فكيف نتنبأ بنواتج التحليل الكهربائي لمحاليل المركَّبات الأيونية؟

التحليل الكهربائي لمحلول يوديد البوتاسيوم KI

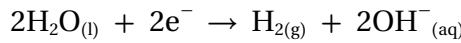
يتفكَّك يوديد البوتاسيوم في الماء، حسب المعادلة:



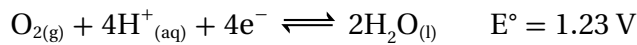
وعند تحليل محلول KI كهربائيًا يُحتمَل اختزال أيونات K^+ أو جزيئات الماء عند المِهبَط. وبالرُّجوع إلى جهود الاختزال المعيارية لكل من البوتاسيوم والماء:



يُلاحظُ أنَّ جهْدَ اختزال الماء أعلى من جهْدَ اختزال البوتاسيوم؛ أي أنَّ الماء أسهلُّ اختزالاً من أيونات البوتاسيوم K^+ ؛ لذلك يُختَزَل الماء، حسب المعادلة:

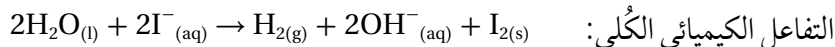
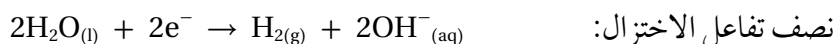


أما عند المِصْعَد فيُحتمَل تأكسد أيونات اليوديد I^- أو جزيئات الماء. وبالرُّجوع إلى الجدول (2) وكتابة أنصاف تفاعلات الاختزال المطلوبة وجهود الاختزال المعيارية لكلٍّ منها:



ألاحظُ أنَّ التفاعل العكسي في المعادلة الأولى يمثل تأكسد الماء، ويمثِّل في المعادلة الثانية تأكسد أيون اليوديد I^- ، وحيثُ أنَّ جهْدَ التأكسد المعياريّ = - جهْدَ الاختزال المعياري لنصف التفاعل، وبمقارنة جهود التأكسد لكلٍّ منها؛ وُجِدَ أنَّ جهْدَ تأكسد الماء يساوي (-1.23 V) ، أما جهْدَ تأكسد اليود فيساوي (-0.54 V) ؛ أي أنَّ جهْدَ تأكسد اليود أعلى من جهْدَ تأكسد الماء؛ ومن ثَمَّ فإنَّه أسهلُّ تأكسداً من الماء؛ لذا تتأكسد أيونات اليوديد I^- وينتج اليود I_2 عند المِصْعَد.

أما التفاعل الكلي؛ فهو مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



ويتفق ذلك مع النتائج العملية لتحليل محلول KI كهربائياً؛ إذ يُلاحظ تكوُّن اليود عند المصعد وتصادُّ غاز الهيدروجين عند المهبط، وتكوُّن محلول قاعدي من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، أنظر الشكل (15).
ويمكن حساب جهد الخلية المعياري كالآتي:

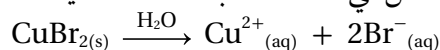
$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{H_2O(\text{cathode})} - E^{\circ}_{I_2(\text{anode})}$$

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = -0.83 - 0.54 = -1.37 \text{ V}$$

أما جهد البطارية اللازم لإحداث التفاعل، فيزيد على (1.37 V).

التحليل الكهربائي لمحلول بروميد النحاس $CuBr_2$

يتفكَّ بروميد النحاس في الماء، حسب المعادلة الآتية:

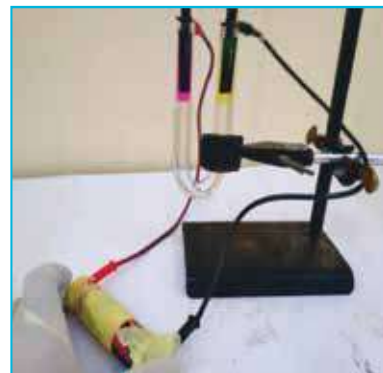


وعند تحليل محلول $CuBr_2$ كهربائياً يُحتمل اختزال أيونات Cu^{2+} أو جزيئات الماء عند المهبط.

وبالرُّجوع إلى جهود الاختزال المعيارية لكلٍّ من النحاس والماء:

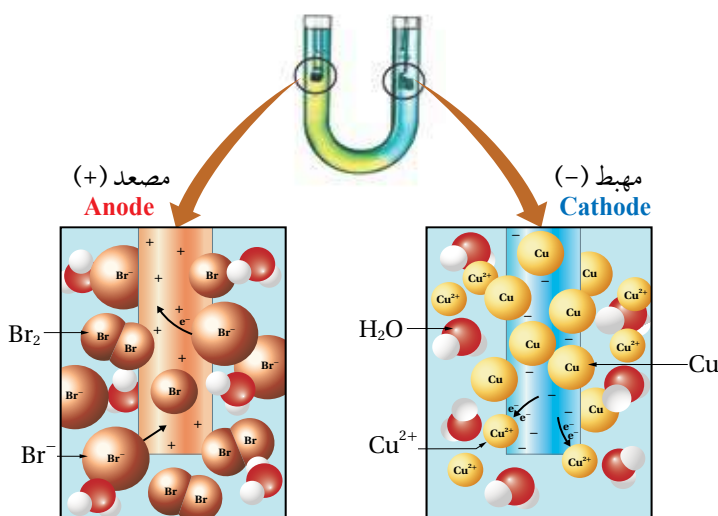


يُلاحظ أنَّ جهد اختزال النحاس أعلى منه للماء؛ لذلك تكون أيونات النحاس Cu^{2+} أسهل اختزالاً عند المهبط، حيث يُلاحظ تكوُّن النحاس كما في المعادلة:
 $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$ ، أنظر الشكل (16).



الشكل (15): التحليل

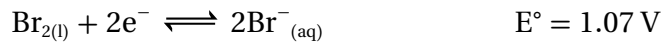
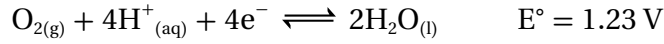
الكهربائي لمحلول KI.



الشكل (16): تحليل

محلول $CuBr_2$ كهربائياً.

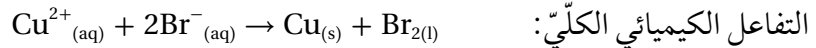
أما عند المصعد فيُحتمَلُ تأكسدُ أيونات البروميد Br^- أو جزيئات الماء. وبالنزول إلى جدول (2) وكتابة أنصاف تفاعلات الاختزال المطلوبة وجهود الاختزال المعيارية لكل منها:



ألاحظ أن التفاعل العكسي في المعادلة الأولى يمثل تأكسد الماء، ويمثل في الثانية تأكسد أيون البروميد Br^- ، وعند مقارنة جهود التأكسد لكل من الماء والبروميد نجد أن جهد تأكسد الماء يساوي (-1.23 V) ، أما جهد تأكسد البروم فيساوي (-1.07 V) . ألاحظ أن جهد تأكسد البروم أعلى منه للماء، أي أن أيونات البروميد Br^- أسهل تأكسداً، حيث يُلاحظ تكوّن البروم عند المصعد حسب المعادلة:



أما التفاعل الكليّ فهو مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



ويتفق ذلك مع النواتج العملية لتحليل محلول CuBr_2 كهربائياً؛ إذ يُلاحظ تكوّن البروم عند المصعد وتكوّن النحاس عند المهبط.

ويمكن حساب جهد الخلية المعيارية للتفاعل الكليّ كالآتي:

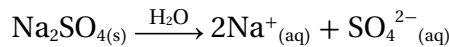
$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{Cu(cathode)}} - E^\circ_{\text{Br}_2(\text{anode})}$$

$$E^\circ_{\text{cell}} = 0.34 - 1.07 = -0.73 \text{ V}$$

أي أن جهد البطارية اللازم لإحداث التفاعل يزيد على (0.73 V) .

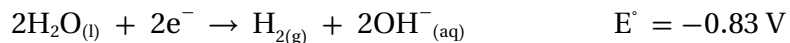
التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4

تتفكك كبريتات الصوديوم في الماء، حسب المعادلة:



وعند تحليل محلوله كهربائياً يُحتمَلُ اختزال أيونات الصوديوم Na^+ أو جزيئات الماء عند المهبط.

وبالنزول إلى جهود الاختزال المعيارية لكل منها:



يُلاحظ أن جهد اختزال الماء أعلى منه لأيونات الصوديوم؛ لذلك يكون أسهل اختزالاً عند المهبط، حيث يتكوّن غاز الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد OH^- . أما عند المصعد، فيُحتمَلُ تأكسد أيونات الكبريتات SO_4^{2-} أو جزيئات الماء، وقد لوحظ عملياً تصاعد غاز الأكسجين عند المصعد؛ الذي يدل على تأكسد جزيئات الماء، حسب المعادلة:



أصمّم - باستخدام

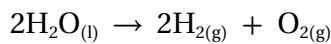
برنامج مناسب لصناعة الأفلام - فيلمًا قصيرًا يُوضّح مفهوم عملية التحليل الكهربائي، وتحولات الطاقة فيها، وعلاقة تفاعلات التأكسد والاختزال الحادثة فيها بجهود الاختزال، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

أفكر: أفسّر دور كبريتات الصوديوم في عملية التحليل الكهربائي للماء.

نصف تفاعل التأكسد: $2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+_{(aq)} + 4\text{e}^-$

أما التفاعل الكيميائي الكليّ فمجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:

نصف تفاعل الاختزال: $4\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_{2(g)} + 4\text{OH}^-$



أي أن ما حدث عند تحليل محلول كبريتات الصوديوم كهربائياً هو تحليل الماء كهربائياً، حيث تأكسدت جزيئات الماء واختزلت مُكوّنة غازي الأكسجين والهيدروجين. يُلاحظ من دراسة الأمثلة السابقة لتحليل محاليل المركّبات الأيونية كهربائياً؛ أن الأيونات الموجبة وجزيئات الماء يُحتمل أن تُختزل عند المهبط، وأن الأيونات السالبة أو جزيئات الماء يُحتمل أن تتأكسد عند المصعد، وأن التفاعل الذي يحدث يعتمد بشكل عام على جهود الاختزال المعيارية لكل منهما، كما أن سلوك أيون معين هو نفسه خلال عملية التحليل الكهربائي دون النظر إلى مصدره، وأن هناك بعض الأيونات متعدّدة الذرات، مثل $(\text{NO}_3^-, \text{SO}_4^{2-})$ لا تتأثر عند تحليل محاليلها كهربائياً.

التطبيقات العملية للتحليل الكهربائي Application of Electrolysis

تعمل خلايا التحليل الكهربائي على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية عن طريق استخدام تيار كهربائي يُجبر تفاعلي تأكسد واختزال غير تلقائيين على الحدوث كما في إعادة شحن البطاريات. ولهذه الخلايا تطبيقات مهمة في الصناعة، مثل استخلاص الفلزّات النشطة من مصاهير خاماتها، وتنقية الفلزّات لاستخدامها في المجالات التي تحتاج إلى فلزّات نقيّة بدرجة كبيرة، وستناقش أمثلة على كلّ منها.

استخلاص الألمنيوم Aluminum Extraction

يُعدّ الألمنيوم من أكثر الفلزّات انتشاراً في القشرة الأرضية، وهو من الفلزّات النشطة، ويُستخلص من خام البوكسيت $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ بطريقة هول-هيروليت، حيث يُعالج الخام لتخليصه من الشوائب، ثم يُسخّن لتحويله إلى أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ، ويذاب في مصهور الكريوليت Na_3AlF_6 ؛ فتتخفض درجة انصهاره نحو 1000°C . وتُسمّى خلية التحليل الكهربائي لمصهور Al_2O_3 خلية هول-هيروليت، وتتكوّن من الداخل من طبقة من الجرافيت تمثّل المهبط، وسلسلة من أقطاب الجرافيت تُغمّس في المصهور تمثّل المصعد، أنظر الشكل (17)، وعند إجراء عملية التحليل

✓ أتحقّق

أكتبُ التفاعل الذي يحدث عند كل من المصعد والمهبط عند تحليل محلول NiBr_2 كهربائياً باستخدام أقطاب من الجرافيت.

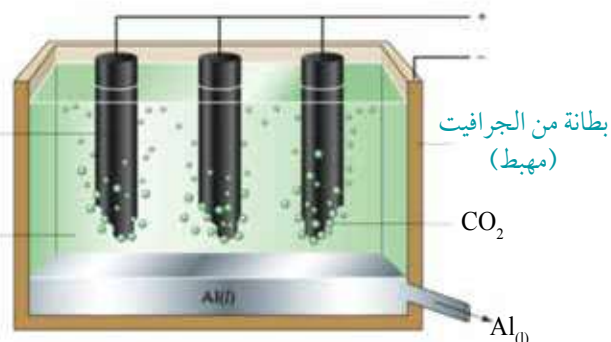
أفكر: أفسّر، بالاستعانة بالمعادلات. عند تحليل محلول CuSO_4 كهربائياً يتحوّل تدريجياً إلى محلول H_2SO_4 .

الشكل (17): تحليل

مصهور Al_2O_3 كهربائياً.

أقطاب جرافيت (مصعد)

خليط من مصهور Al_2O_3 و Na_3AlF_6



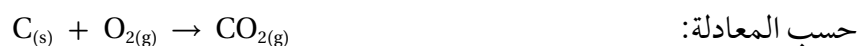
الكهربائي يحدث اختزال لأيونات الألمنيوم عند المهبط، ويتكوّن الألمنيوم الذي يتجمّع أسفل الخلية، حيث يُسحب من مخرج خاص.



أمّا عند المصعد فتتأكسد أيونات الأكسجين O^{2-} مُكوّنةً غاز الأكسجين، حسب المعادلة:

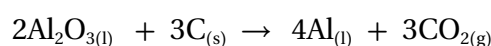


ويتفاعل الأكسجين الناتج مع أقطاب الجرافيت مُكوّنةً ثاني أكسيد الكربون،



مما يؤدي إلى تآكلها، فيجري تغييرها بشكل دوري.

ويمكن تلخيص التفاعل الكلي الذي يحدث في الخلية، بالمعادلة الآتية:



ونظرًا إلى أنّ عملية استخلاص الألمنيوم تستهلك كمّيات هائلة من الطاقة؛ تُقام مصانع إنتاجه بالقرب من محطات الطاقة الكهربائية لتوفير كلفة نقل الطاقة، كما يُركّز بشكل كبير على عملية إعادة تدويره؛ إذ تبلغ كميّة الطاقة اللازمة لإعادة التدوير نحو 5% من الطاقة اللازمة لاستخلاصه من خام البوكسيت.

تنقية الفلزّات Purification of Metals

تحتاج بعض استخدامات الفلزّات إلى أن تكون نقيّة تمامًا. فمثلاً: يجب أن يكون النحاس المُستخدَم في التمديدات الكهربائية نقيّاً؛ لذا تُستخدَم عمليّة التحليل الكهربائي في تنقية الفلزّات مثل النحاس بعد عمليات استخلاصه من خاماته؛ إذ يحتوي على شوائب، مثل الخارصين، والحديد، والذهب، والفضّة، والبلاتين. ولتنقيته؛ يُشكّل النحاس غير النقي على شكل قوالب تمثّل المصعد في خلية التحليل الكهربائي، ويوصل المهبط بشريحة رقيقة من النحاس النقي، ثمّ يُغمّران في محلول كبريتات النحاس CuSO_4 .

وعند تمرير تيار كهربائي في الخلية تحدث التفاعلات الآتية:



تتأكسد ذرات النحاس إلى أيونات Cu^{2+} وتنتقل لتختزل وترسب على المهبط، أنظر الشكل (18)، وتتأكسد ذرات الفلزّات (الشوائب) التي تمتلك جهد اختزال أقلّ من النحاس، مثل الخارصين والحديد مُكوّنةً أيونات Zn^{2+} و Fe^{2+} على الترتيب، وتبقى هذه الأيونات ذائبة في المحلول، أمّا الذهب والفضّة والبلاتين فإنّ جهدها اختزالها أعلى من جهد الخلية المستخدم؛ لذلك لا تتأكسد ذراتها، وتتجمّع في قاع الخلية، وتكون درجة نقاوة النحاس الناتج نحو 99.9%

✓ **أتحقّق:**

1- أفسّر - بالاستعانة بمعادلات

كيميائية - استبدال أقطاب

الجرافيت المُستخدَمة في خلية

هول - هيروليت بشكل دوري.

2- أفسّر: لا تُختزل أيونات Fe^{2+} و

Zn^{2+} ، التي توجد ذراتها على

شكل شوائب مع النحاس خلال

عملية تنقيته بالتحليل الكهربائي.



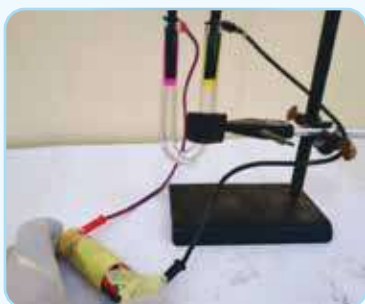
الشكل (18): تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي.

الدّجربة 2

التحليل الكهربائي لمحاليل بعض المركّبات الأيونية

المواد والأدوات:

أنبوبان زجاجيان على شكل حرف U، أقطاب جرافيت عدد (4)، كاشف الفينولفثالين، أسلاك توصيل، بطارية (3 V) عدد (2)، حامل وماسك فلزي، 100 mL من محلول يوديد البوتاسيوم KI، بتركيز 0.5 M، 100 mL من محلول كبريتات النحاس CuSO_4 بتركيز 0.5 M.



إرشادات السلامة:

- اتّباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- التعامل مع المواد الكيميائية بحذر.

خطوات العمل:

- 1- **أُجَرَّب:** أُثَبَّت أنبوباً زجاجياً على شكل حرف U على الحامل الفلزي باستخدام الماسك، كما في الشكل.
- 2- أُمْلَأ الأنبوب الزجاجي بمحلول يوديد البوتاسيوم، بحيث يبقى ما يقارب 1 cm فارغاً من كل طرف، ثم أُضِف إليه 3 نقاط من كاشف الفينولفثالين.
- 3- **أُطَبَّق:** أَصِل قطبي الجرافيت بأسلاك توصيل، ثم أضعها في الأنبوب الزجاجي، بحيث يكون كل منهما في أحد طرفي الأنبوب، كما في الشكل.
- 4- **أُلاحَظ:** أَصِل أسلاك التوصيل بقطبي البطارية وأتركها لمدة 15 min، وألاحظ التغيّرات التي تحدث في المحلول، ثم أفصل التيار الكهربائي، وأسجّل ملاحظاتي في جدول البيانات.
- 5- **أُجَرَّب:** أكرّر الخطوات من 1-4 باستخدام محلول كبريتات النحاس، وأسجّل ملاحظاتي في جدول البيانات.
- 6- **أُنظّم البيانات:** أسجّل بياناتي في الجدول الآتي:

| المُصعد | | التغيّر ومكان حدوثه | |
|-------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
| تغيّر اللون | تصاعد غاز | تغيّر اللون | تصاعد غاز |
| المُهبّط | | المحلول | |
| | | يوديد البوتاسيوم $\text{KI}_{(aq)}$ | |

التحليل والاستنتاج:

- 1- **أَصِف** التغيّرات التي حدثت عند تحليل محلول كل من يوديد البوتاسيوم وكبريتات النحاس كهربائياً عند كل من المُصعد والمُهبّط وأفسرها.
- 2- ما نواتج تحليل كل من محلول يوديد البوتاسيوم وكبريتات النحاس كهربائياً؟
- 4- أكتب معادلة كيميائية تمثّل التفاعل الذي حدث عند المُصعد لكل محلول.
- 5- أكتب معادلة كيميائية تمثّل التفاعل الذي حدث عند المُهبّط لكل محلول.
- 6- **أستنتج** نواتج التحليل الكهربائي لمحلول CuI_2 .

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أَوْضَحْ مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي.

2. أفسّر:

أ. لا يمكن تحضير غاز الفلور بالتحليل الكهربائي لمحلول NaF.

ب. تكون الكلفة الاقتصادية لإعادة تدوير الألمنيوم أقلّ من كلفة استخراجه من خام البوكسيت.

3. أُنَوِّعْ: بالرُّجُوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أُنَوِّعْ نواتج التحليل الكهربائي لمحاليل الأملاح الآتية:

أ. يوديد المغنيسيوم MgI_2 .

ب. نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$.

ج. كبريتات الكوبلت $CoSO_4$.

4. أدرُسْ الشكل المجاور، الذي يمثّل خلية تحليل كهربائي لمصهور المركّب الأيوني MX باستخدام أقطاب من

الجرافيت أُعْطِيتِ الرموز A و B، ثمّ أُجِيبْ عن الأسئلة الآتية:

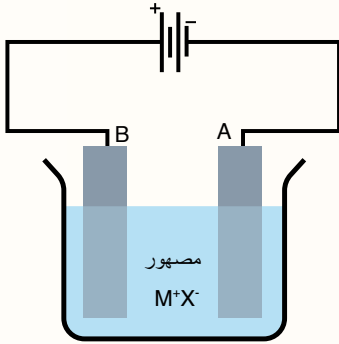
أ. أ حَدِّدْ المصعد والمهبط في الخلية.

ب. أ حَدِّدْ اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك، واتجاه حركة الأيونات

الموجبة والسالبة داخل المصهور باستخدام الأسهم.

ج. أ حَدِّدْ القطب الذي تحدث عنده عملية التأكسد.

د. أ حَدِّدْ القطب الذي تتكوّن عنده ذرّات العنصر M.



5. عند تنقية قوالب من النيكل باستخدام عملية التحليل الكهربائي:

أ. ما القطب الذي يجب أن تمثّله القوالب غير النقية؟

ب. ما المادّة المُستخدَمة في القطب الآخر؟

ج. اقترح محلولاً يمكن استخدامه في هذه الخلية.

6. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. العبارة الصحيحة فيما يتعلق بخلية التحليل الكهربائي لمحاليل المواد الكهرلية هي:

أ. يمثّل المصعد القطب السالب في الخلية.

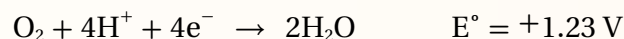
ب. جهد خلية التحليل الكهربائي (E°) أكبر من الصفر.

ج. تختزل فيها الأيونات الموجبة عند المهبط في جميع الأحوال.

د. قد لا يحدث فيها تأكسد للأيونات السالبة عند المصعد.

2. يتكوّن عند المصعد في خلية التحليل الكهربائي لمحلول نترات الصوديوم NaNO_3 باستخدام أقطاب جرافيت:
 أ . البوتاسيوم. ب. النيتروجين. ج. الأكسجين. د . الهيدروجين.

3. بالاعتماد على أنصاف التفاعلات الآتية، إذا جرى تحليل كهربائي لمحلول يوديد الصوديوم NaI باستخدام أقطاب البلاتين، فإن النواتج المتوقعة:



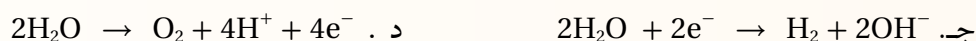
أ . الهيدروجين، واليود، ومحلول قاعدي.

ب. الصوديوم، واليود، ومحلول قاعدي.

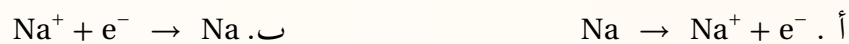
ج. الأكسجين، واليود، ومحلول حمضي.

د . الهيدروجين، واليود، ومحلول حمضي.

4. عند تنقية النحاس من الشوائب فإن التفاعل الذي يحدث عند المصعد، هو:



5. عند إجراء تحليل كهربائي لمصهور هيدريد الصوديوم NaH باستخدام أقطاب البلاتين، فإن التفاعل الذي يحدث عند المصعد، هو:



6. عند إجراء تحليل كهربائي لمصهور بروميد المغنيسيوم MgBr_2 باستخدام أقطاب الجرافيت، علماً أن:



فإن جهد البطارية (V) اللازم لإجراء عملية التحليل:

أ . يساوي 3.44

ب. يساوي -3.44

ج. أكبر من 3.44

د . أقل من 3.44

إعادة تدوير البطاريات Recycling Batteries

تُستخدم البطاريات لتزويد أجهزة مختلفة بالطاقة؛ تشمل السيارات والهواتف وأجهزة الحاسوب وغيرها، وعندما تنفذ البطارية أو تتلف تُرمى (يُستغنى عنها)، ويؤدي ذلك إلى تراكم كميات كبيرة من النفايات الخطرة؛ إذ تحتوي البطاريات على مواد كيميائية سامة وفلزات ثقيلة، ينتج عن تراكمها ودفنها مخاطر بيئية؛ فقد تسبب تلوث المياه والتربة، ومن هنا جاءت فكرة إعادة تدوير البطاريات، وتعني: معالجة نفاياتها؛ بهدف التقليل منها بوصفها نفايات صلبة، وإعادة استخدام مكوناتها مرة أخرى.

إعادة تدوير بطارية الرصاص الحمضية

تعد بطاريات الرصاص الحمضية من أقدم أنواع البطاريات القابلة لإعادة الشحن في العالم، ولإعادة تدويرها أهمية كبيرة في صناعة الرصاص في الوقت الحاضر؛ حيث يمثل الرصاص المُعاد استخدامه نحو 47% من إجمالي الرصاص المُستخدم عالمياً.

وتشمل عملية إعادة تدوير بطاريات الرصاص الحمضية المُستخدمة مراحل عدة، هي:



التجميع: يُقصد به تجميع بطاريات الرصاص المُستخدمة، وغالباً ما يكون ذلك لدى باعة البطاريات، حيث تجمعها الشركات التي تُعيد تدويرها. التفسير: تُفكك البطارية في منشأة إعادة التدوير، وتُسحق مكوناتها باستخدام أدوات خاصة، فتحول إلى شظايا.

الفرز: تتضمن هذه العملية فصل أجزاء بطارية الرصاص الحمضية بفرز المكونات البلاستيكية والورقية عن الرصاص والفلزات الثقيلة،

وسحب السائل الموجود فيها، يتبع ذلك سير كل مادة في رحلة تدوير خاصة بها؛ إذ تُغسل القطع البلاستيكية وتُجفف ثم تُرسل إلى وحدة تدوير البلاستيك، حيث تُصهر وتُشكّل آلياً على شكل كرات من مادة البولي بروبيلين، وتُستخدم مرة أخرى لإنتاج صناديق بطاريات الرصاص الحمضية، ويمكن استخدامها في صناعة منتجات أخرى. أما ألواح الرصاص وأكسيده ومركباته الأخرى فتُصهر معاً في أفران الصهر، ثم تُصب في قوالب وتُزال الشوائب المعروفة باسم الخبث من فوق سطح مصهور الرصاص، وتترك السبائك لتبرد وتتصلب، ثم تُرسل إلى الشركات المُصنعة للبطاريات، حيث تُستخدم في إنتاج ألواح جديدة من الرصاص وأكسيده.

أما حمض الكبريتيك، وهو المكون السائل في البطارية؛ فيجري التعامل معه بطريقتين، أولاًهما: مفاعلة الحمض مع مركب كيميائي قاعدي؛ فينتج الملح والماء، ثم يجري تجميع المياه الناتجة ومعالجتها ضمن مواصفات محددة والتخلص من الماء في شبكة الصرف الصحي. أما الطريقة الثانية؛ فيجري فيها تحويل الحمض إلى كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 ، ثم استخدامه في صناعة منظفات الغسيل والزجاج والمنسوجات.

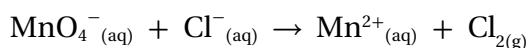
1. أقرن بين الخلية الجلفانية وخلية التحليل الكهربائي من حيث:

- أ. تحولات الطاقة في كل منهما.
- ب. شحنة كل من المصعد والمهبط.
- ج. تلقائية تفاعل التأكسد والاختزال.
- د. إشارة جهد الخلية المعياري E_{cell}° .

2. أفسر:

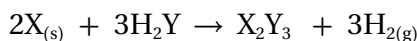
- أ. يُخلط أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 بالكربوليت خلال عملية استخلاص الألمنيوم بطريق هول - هيروليت.
- ب. تفقد بطارية السيارة صلاحيتها بعد بضع سنوات من استخدامها، على الرغم من إمكانية إعادة شحنها نظرياً عدداً لا نهائياً من المرات.

3. تمثل المعادلة الكيميائية الآتية تفاعل تأكسد واختزال يحدث في خلية جلفانية. أدرسه جيداً، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



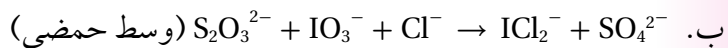
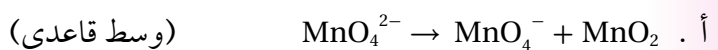
- أ. أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال.
- ب. أكتب معادلة التفاعل الكليّ الموزونة (في وسط حمضي).
- ج. هل يحدث هذا التفاعل تلقائياً؟ (أستعين بجدول جهود الاختزال المعيارية).

4. أدرس معادلة التفاعل الكيميائي، التي تتضمن رموزاً افتراضية للفلز X واللافلز Y وعنصر الهيدروجين، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:



- أ. أحدد التغير في عدد تأكسد X.
- ب. أحدد التغير في عدد تأكسد H.
- ج. أحدد العامل المؤكسد.

5. أوازن معادلات التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل، وأحدد العامل المؤكسد والعامل المختزل:



6. خلية جلفانية مكونة من نصف خلية الرصاص $\text{Pb}^{2+}|\text{Pb}$ ونصف خلية الكروم $\text{Cr}^{3+}|\text{Cr}$. إذا علمت أن تركيز أيونات

Cr^{3+} يزداد عند تشغيل الخلية، فأجب عما يأتي:

- أ. أحدد المصعد والمهبط في الخلية الجلفانية.
- ب. أوقع التغير على كتلة قطب الرصاص مع استمرار تشغيل الخلية.
- ج. أكتب معادلة موزونة تمثل التفاعل الكليّ الذي يحدث في الخلية.
- د. أستخدم بجدول جهود الاختزال المعيارية في حساب جهد الخلية المعياري (E_{cell}°).

مراجعة الوحدة

| نصف تفاعل الاختزال | $ E^\circ \text{ V}$ |
|---|-----------------------|
| $A^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons A_{(s)}$ | 0.80 |
| $B^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightleftharpoons B_{(s)}$ | 1.66 |
| $C^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightleftharpoons C_{(s)}$ | 1.5 |
| $D^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons D_{(s)}$ | 2.71 |
| $M^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons M_{(s)}$ | 0.28 |

7. يبين الجدول المجاور القيم المطلقة لجهود الاختزال المعيارية E° للعناصر (A, B, C, D, M). إذا عُلِّمَتْ أن ترتيب العناصر حسب قوتها بوصفها عوامل مختزلة، هو: $D > B > M > A > C$ ، وأنه عند وصل القطب M بقطب الهيدروجين المعياري تتحرك الإلكترونات من M إلى قطب الهيدروجين، فأجب -بالاستعانة بالمعلومات السابقة- عن الأسئلة الآتية:

أ. أكتب إشارة قيم جهود الاختزال المعيارية E° للعناصر A, B, C, D, M.

ب. أستخدم: ما العنصر الذي يمكن استخدام وعاء مصنوع منه لحفظ محلول يحتوي على أيونات A^+ ؟

ج. أستخدم: ما العامل المؤكسد الذي يؤكسد D ولا يؤكسد M؟

| المعلومات | المعادلة |
|------------------|---|
| تفاعل تلقائي | $Ca + Cd^{2+} \rightarrow Ca^{2+} + Cd$ |
| تفاعل غير تلقائي | $2Br^- + Sn^{2+} \rightarrow Br_2 + Sn$ |
| تفاعل تلقائي | $Cd + Sn^{2+} \rightarrow Cd^{2+} + Sn$ |

8. أدرس المعادلات والمعلومات المبينة في الجدول المجاور، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

أ. أحدد أقوى عامل مؤكسد.

ب. أرتب العوامل المختزلة تصاعدياً حسب قوتها.

ج. أستخدم: هل تؤكسد أيونات الكاديوم Cd^{2+} أيونات البروم Br^- ؟

د. أقرن: ما العنصران اللذان يكونان خلية جلفانية لها أعلى جهد خلية معياري؟

9. خلية تحليل كهربائي تحتوي على محلول بروميد الليثيوم LiBr. بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أجب عن الأسئلة الآتية:

أ. أكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند المصعد.

ب. أستخدم: ما ناتج التحليل الكهربائي عند المهبط؟

ج. أحسب: ما مقدار جهد البطارية اللازم لإحداث عملية التحليل الكهربائي؟

10. عند استخدام آلة تصوير ذات بطارية قابلة لإعادة الشحن:

أ. أقرن تحولات الطاقة خلال عمليتي الاستخدام والشحن.

ب. أفسر: تعمل هذه البطارية كخلية جلفانية وخلية تحليل كهربائي.

11. أدرس المعلومات الآتية المتعلقة بالفيلزات ذات الرموز الافتراضية الآتية: A, Y, X, B, Z, C، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

أ. الفيلز A يختزل أيونات X^{2+} ولا يختزل أيونات Y^{2+} .

ب. عند مفاعلة الفيلزين X, B مع محلول حمض الهيدروكلوريك المخفف؛ يتفاعل X وينطلق غاز الهيدروجين، أما B فلا يتفاعل.

ج. عند تكوين خلية جلفانية من الفيلزين C و Y، تتحرك الأيونات السالبة من القنطرة الملحية باتجاه نصف خلية C.

- د . يمكن استخلاص الفلز Z من محاليل أملاحه باستخدام الفلز B.
- 1) أستنتج اتجاه حركة الإلكترونات في الخلية المكوّنة من القطبين X , C.
 - 2) أستنتج القطب الذي تزداد كتلته في الخلية المكوّنة من القطبين A , B.
 - 3) أقارن: ما القطبان اللذان يُشكّلان خلية جلفانية لها أعلى جهد خلية معياري؟
 - 4) أتنبأ: هل يمكن تحضير الفلز Z بالتحليل الكهربائي لمحلول ZNO_3 ؟ أفسّر إجابتي.
 - 5) أستنتج: هل يتفاعل الفلز A مع محلول حمض الهيدروكلوريك وينطلق غاز الهيدروجين؟ أفسّر إجابتي.
 - 6) أتنبأ: هل يمكن تحريك محلول نترات الفلز $Y(NO_3)_2$ بمعلقة من الفلز B؟

12. استُخدمت أنصاف الخلايا المعيارية للفلزات ذات الرموز الافتراضية الآتية:

| المصعد | E°_{cell} V | الخلية الجلفانية |
|--------|---------------------------|------------------|
| E | 0.16 | E-D |
| E | 0.78 | E-L |
| T | 1.93 | T-E |
| E | 0.30 | E-M |
| R | 0.32 | R-E |

- M , L , D , R , T، مع نصف خلية الفلز E المعيارية لتكوين خلايا جلفانية، وكانت النتائج كما في الجدول المجاور. أدركه جيداً، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:
- أ . أرّتب الفلزّات متضمنة الفلزّ E حسب قوّتها بوصفها عوامل مختزلة.
- ب . أحسب جهد الخلية المعياري E°_{cell} للخلية المكوّنة من الفلزيّن T, R.
- جـ . أقارن. ما الفلزان اللذان يُشكّلان خلية جلفانية لها أعلى جهد خلية معياري؟
- د . أستنتج. هل يمكن حفظ محلول أحد أملاح الفلزّ D في وعاء من الفلزّ R؟ أفسّر إجابتي.

13. اختار رمز الإجابة الصحيحة لكلّ فقرة من الفقرات الآتية:

1. المادّة التي اختزلت في التفاعل الآتي: $TiO_2 + 2Cl_2 + C \rightarrow TiCl_4 + CO_2$ ، هي:

- أ . C ب . Cl_2 جـ . TiO_2 د . $TiCl_4$

2. عدد تأكسد البورون B في المركّب $NaBH_4$ يساوي:

- أ . +3 ب . +5 جـ . -5 د . -3

3. إحدى العبارات الآتية صحيحة:

- أ . العامل المختزل يسبب تأكسد مادة أخرى في التفاعل الكيميائي.
- ب . العامل المؤكسد يسبب اختزال مادة أخرى في التفاعل الكيميائي.
- جـ . تحتوي تفاعلات التأكسد والاختزال جميعها على عامل مؤكسد وعامل مختزل.
- د . يحتوي تفاعل التأكسد والاختزال على عامل مؤكسد أو عامل مختزل.

4. العبارة الصحيحة في معادلة التفاعل الموزونة الآتية: $IO_3^- (aq) + 5I^- (aq) + 6H^+ (aq) \rightarrow 3I_2 (aq) + 3H_2O (l)$ هي:

- أ . عدد تأكسد اليود في IO_3^- يساوي +7.
- ب . العامل المؤكسد في التفاعل هو I^- .
- جـ . يُعدّ التفاعل تأكسداً واختزالاً ذاتياً.
- د . تأكسدت ذرات اليود (أو أيوناته) واختزلت في التفاعل.

مراجعة الوحدة

5. التفاعل الذي يسلك فيه الهيدروجين بوصفه عاملاً مؤكسداً هو:



6. مقدار التغير في عدد تأكسد ذرة الكربون (C)، عند تحول الأيون $C_2O_4^{2-}$ إلى جزيء ثاني أكسيد الكربون CO_2 هو:

أ. 0 . ب. 1 . ج. 2 . د. 4 .

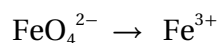
7. أحد التغيرات الآتية يحتاج إلى عامل مؤكسد:



8. أحد التفاعلات غير الموزونة الآتية يمثل تفاعل تأكسد واختزال ذاتي:

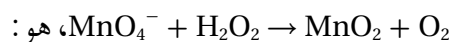


9. عدد مولات الإلكترونات اللازمة لموازنة نصف التفاعل الآتي في وسط حمضي، هو:



أ. 2 . ب. 4 . ج. 3 . د. 1 .

10. عدد مولات أيونات الهيدروكسيد OH^- اللازم إضافتها إلى طرفي المعادلة لموازنة التفاعل الآتي في وسط قاعدي:



أ. $8OH^-$. ب. $6OH^-$. ج. $4OH^-$. د. $2OH^-$.

11. إذا كان التفاعل الآتي يحدث في إحدى الخلايا الجلفائية $A + B^{2+} \rightarrow A^{2+} + B$ ؛ فإن:

أ. القطب السالب هو B.
 ب. كتلة القطب A تزداد.
 ج. تركيز أيونات A^{2+} يزداد.
 د. الإلكترونات تتحرك من القطب B إلى القطب A.

| قطب الخلية | القطب الذي يُشكّلُه الفلزّ X | $E^\circ_{\text{cell}} V$ |
|------------|------------------------------|---------------------------|
| M-X | مهبط | 0.78 |
| X-N | مصعد | 0.15 |
| X-L | مصعد | 0.74 |

• يتضمّن الجدول المجاور رموز ثلاث خلايا جلفائية، يُشكّل الفلزّ X أحد أقطابها مع أحد الفلزّات ذات الرموز الافتراضية M، N، L، ومعلومات عنها. أدرسه جيّداً، ثمّ أجب عن الأسئلة 12 و 13 و 14.

12. أرّب الفلزّات X، L، N، M حسب قوّتها بوصفها عوامل مختزلة:

أ. $X > L > N > M$.
 ب. $M > X > N > L$.
 ج. $M > N > L > X$.
 د. $L > N > X > M$.

13. قيمة جهد الخلية M-N المعياري E°_{cell} بالفولت يساوي:

- أ . 0.63 ب. 0.93 ج. 0.04 د . 0.59

14. الفلز الذي يمكن حفظه محلول أحد أملاحه في وعاء مصنوع من أيٍّ من الفلزّات الثلاثة المتبقية، هو:

- أ . X ب. L ج. N د . M

• أدرُسُ الجدول المجاور، حيث يتضمّن بعض أنصاف تفاعلات الاختزال المعيارية وجهودها، وأستخدمه للإجابة عن السؤالين 15 و 16.

| نصف تفاعل الاختزال | $E^\circ \text{ V}$ |
|---|---------------------|
| $\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$ | 0.80 |
| $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$ | 0.34 |
| $\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}$ | -0.76 |
| $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ | -0.83 |
| $\text{Br}_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$ | 1.07 |

15. عند التحليل الكهربائي لمحلول بروميد الخارصين، فإنّ الناتج عند المهبط هو:

- أ . Zn ب. H_2 ج. Br_2 د . OH^-

16. عند التحليل الكهربائي لمحلول يحتوي على الأيونات Ag^+ ، Zn^{2+} ، Cu^{2+} ؛ فإنّ ذراتها تبدأ بالترسّب عند المهبط حسب الترتيب الآتي:

- أ . Zn, Ag, Cu ب. Cu, Ag, Zn ج. Ag, Cu, Zn د . Ag, Zn, Cu

17. عندما يعادُ شحن بطارية قابلة لإعادة الشحن تعمل الخلية بوصفها خلية:

- أ . حمضية. ب. قلوية. ج. جلفانية. د . تحليل كهربائي.

18. العبارات الآتية جميعها صحيحة بالنسبة إلى الخلية الجلفانية $\text{Ba}|\text{Ba}^{2+}||\text{Ni}^{2+}|\text{Ni}$ عدا:

- أ . Ni^{2+} أقوى عامل مؤكسد. ب. Ba أقوى عامل مختزل. ج. تزداد كتلة القطب Ni. د . $\text{Ba}|\text{Ba}^{2+}$ تمثّل نصف خلية الاختزال.

19. العبارات الآتية التي تصف ما يحدث في بطارية أيون الليثيوم خلال عملية شحن البطارية، جميعها صحيحة عدا:

- أ . تتأكسد أيونات الكوبلت Co^{3+} إلى Co^{4+} . ب. يمثّل أكسيد الكوبلت CoO_2 قطب المهبط في أثناء الشحن. ج. تختزل أيونات الليثيوم Li^+ . د . تتحرّك أيونات الليثيوم Li^+ باتجاه نصف خلية الجرافيت.



أتأمل الصورة

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

الفكرة العامة:

تفاعلات المركبات العضوية الكيميائية كثيرة جدًا؛ يمكن تصنيفها إلى تفاعلات: الإضافة، والحذف، والاستبدال، والتأكسد، والاختزال؛ لتسهيل دراستها، 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، وتفاعلات 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، كما تتأكسد بعض المركبات العضوية أو تختزل، وينتج عن ذلك مركبات جديدة مختلفة في خصائصها.

الدرس الثالث: تحضير المركبات العضوية.

الفكرة الرئيسة: توظف تفاعلات المركبات العضوية في تحضير مواد عضوية جديدة وإنتاجها، ولذلك يجري تحضير كثير من المركبات العضوية في المختبرات بطرائق مختلفة؛ بهدف استكشاف طرق جديدة لإنتاجها على المستوى الاقتصادي.

تجربة استهلاكية

الكشف عن المجموعات الوظيفية في بعض المركبات العضوية

المواد والأدوات: محلول حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، محلول داكرومات 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، ماصة، شريط ورقي لاصق.

إرشادات السلامة:

- اتباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- الحذر عند التعامل مع المواد الكيميائية.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.

خطوات العمل:

- 1 أحضر ثلاثة أنابيب اختبار؛ وباستخدام الشريط الورقي اللاصق أرقمها من (1-3)، وأضعها على حامل الأنابيب.
- 2 **أقيس** 3 mL من حمض الإيثانويك باستخدام الماصة، ثم أسكبها في أنبوب الاختبار رقم (1).
- 3 **ألاحظ:** أضيف إلى الأنبوب رقم (1) كمية قليلة من كربونات الصوديوم الهيدروجينية، وأرجّه بلطف، ثم أقرب من فوهة أنبوب الاختبار بحذر عود كبريت مشتعلًا، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
- 4 **أقيس** 3 mL من الإيثانال باستخدام الماصة، ثم أسكبها في أنبوب الاختبار 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 الماصة، ثم أسكبها في أنبوب الاختبار رقم (3).
- 7 **ألاحظ:** أضيف إلى الأنبوب رقم (3) أربع قطرات من محلول داكرومات البوتاسيوم، وقطرتين من محلول حمض الكبريتيك، 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- **أتوقع:** ما الغاز المتصاعد في الأنبوب رقم (1)؟
- 2- **أتوقع:** نوع التفاعل الذي حدث في كل أنبوب من الأنابيب الثلاثة.

تفاعلات الإضافة Addition Reactions

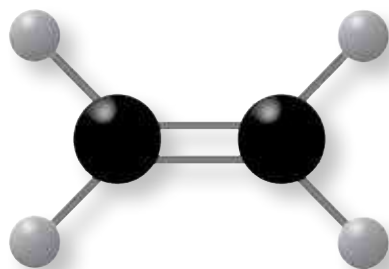
درست سابقاً؛ أن المركب العضوي يحتوي على ذرة أو مجموعة ذرات في تركيبه الكيميائي تكون مسؤولة عن خصائصه ونشاطه الكيميائي، وتسمى المجموعة الوظيفية. وتختلف المركبات العضوية في مجموعاتها الوظيفية؛ وتختلف تفاعلاتها تبعاً لذلك. ورغم أن هذه التفاعلات كثيرة جداً، إلا أنها صُنِّفت إلى تفاعلات الإضافة، والحذف، والاستبدال،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

عرفت سابقاً أن المركبات العضوية المشبعة تحتوي على رابطة تساهمية أحادية من النوع سيجما σ ، وأن المركبات العضوية غير المشبعة تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية أو ثلاثية، وهي تتكون من نوعين من الروابط، هما: سيجما σ القوية، وباي π الضعيفة. ولذلك تعدّ هذه المركبات نشطة كيميائياً، ومن أشهر تفاعلاتها: الإضافة.

تعتمد تفاعلات الإضافة في المركبات العضوية على طبيعة الروابط المكونة لها، فمثلاً: يحتوي الألكين على رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتي كربون $C=C$ ، في حين يحتوي الألكاين على رابطة تساهمية ثلاثية $C\equiv C$ ، 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؟

يُعرف **تفاعل الإضافة Addition Reaction** بأنه تفاعل بين جزيئين يحتوي أحدهما على الرابطة الثنائية أو الثلاثية لتكوين جزيء واحد جديد.



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

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، وتفاعلات الحذف لإعادة تكوين الرابطة الثنائية.

نتائج التعلم:

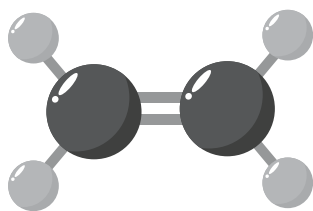
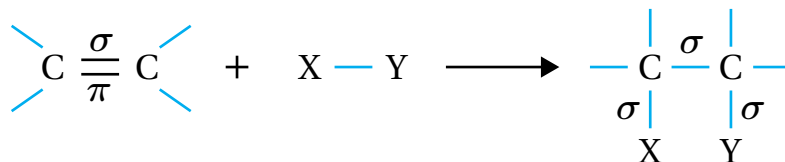
- أكتب معادلات كيميائية تعبر عن تفاعلات الإضافة والحذف في بعض المركبات العضوية.
- أُميّز بين الهيدروكربون المشبع وغير المشبع.

المفاهيم والمصطلحات:

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

تفاعلات الإضافة في الألكينات Addition Reactions in Alkenes

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



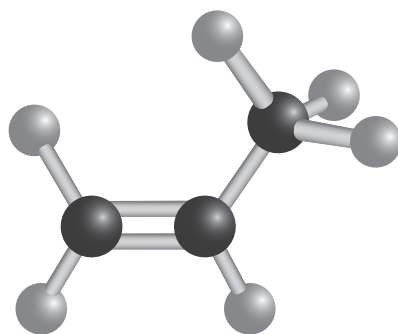
الشكل (2): ألكين متماثل.

ويمكن تفسير التفاعل؛ بأن الرابطة الثنائية تحتوي على زوجين من الإلكترونات الرابطة، مما يجعلها منطقة ذات كثافة إلكترونية عالية يجذب نحوها الطرف الموجب للجزيء المضاف مكونةً معه رابطة تساهمية، ويطلق على الرابطة الثنائية والأيونات السالبة (مثل: OH^- , Br^-) اسم **نيوكليوفيلات Nucleophiles**، وهي أطراف غنية بالإلكترونات تمتلك زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة، وتنجذب نحو الطرف الموجب للجزيء. كما يطلق على الأطراف الموجبة للجزيئات، (مثل: H^+) اسم **إلكتروفيلات Electrophiles**، وهي أطراف محبة للإلكترونات، تنجذب إلى منطقة الكثافة الإلكترونية السالبة. ومن الأمثلة على تفاعلات الإضافة: إضافة جزيء كل من الهيدروجين، أو الهالوجين، أو هاليد الهيدروجين، أو الماء، إلى الرابطة الثنائية في الألكين.

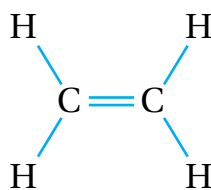
الألكين المتماثل والألكين غير المتماثل

Symmetrical and Unsymmetrical Alkenes

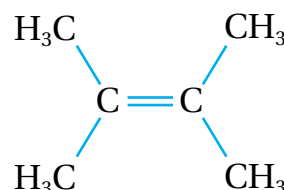
يعدّ الألكين متماثلًا عندما ترتبط كل ذرة كربون من ذرتي كربون الرابطة الثنائية بذرات أو مجموعات متماثلة، أنظر الشكل (2) فمثلاً: ترتبط كل ذرة كربون في جزيء الإيثين بذرتي هيدروجين، وكذلك في المركب 2، 3-ثنائي ميثيل -2-بيوتين؛ ترتبط كل ذرة كربون من ذرتي كربون الرابطة الثنائية بمجموعة ميثيل، كما يأتي:



الشكل (3): ألكين غير متماثل.



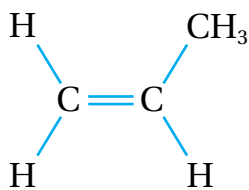
إيثين



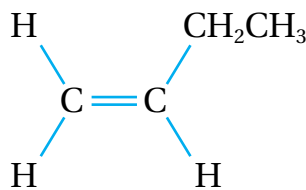
2، 3-ثنائي ميثيل -2-بيوتين

أما في الألكين غير المتماثل فتكون الذرات أو المجموعات المرتبطة بذرتي كربون الرابطة الثنائية غير متماثلة، أنظر الشكل (3) فمثلاً: 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

الرابطية الشائئية بذرتي هيدروجين، وترتبط الأخرى بذرة هيدروجين ومجموعة إيثيل كما يأتي:



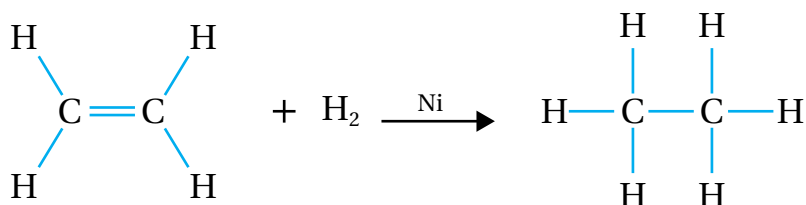
بروين



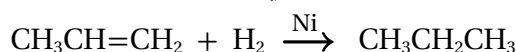
1- بيوتين

إضافة الهيدروجين (H_2) (الهدرجة) Addition of Hydrogen

يتفاعل جزيء الإيثين $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ 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)، ويعبر عن هذا التفاعل بالمعادلة الآتية:



وكذلك يتفاعل جزيء البروين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ مع غاز الهيدروجين مكوناً جزيء البروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ كما يأتي:

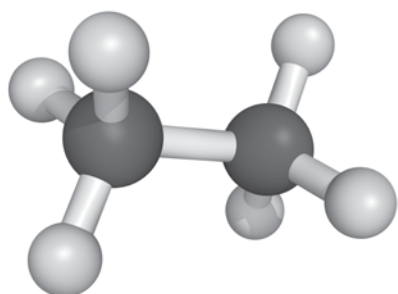
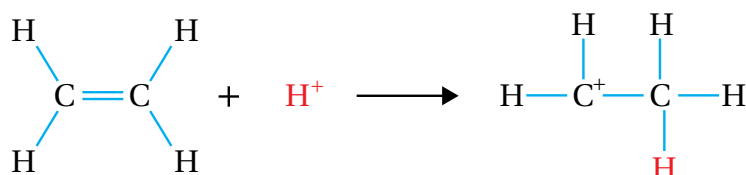


إضافة هاليد الهيدروجين (HCl , HBr , HI) Addition of Hydrogen Halide

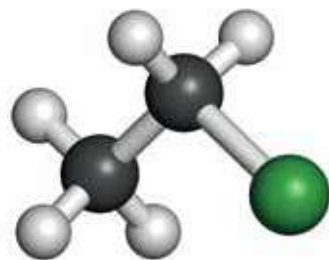
يتفاعل بروميد الهيدروجين HBr مع الألكين المتماثل مثل الإيثين $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ وفق المعادلة الآتية:



يتضح من المعادلة أن ذرة الهيدروجين من HBr ترتبط مع إحدى ذرتي كربون الرابطية الشائئية، وترتبط ذرة البروم مع ذرة الكربون الأخرى؛ ويتكون ناتج واحد هو بروموايثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ ، أنظر الشكل (5). ويمكن تفسير التفاعل بأن الإلكتروليل H^+ من جزيء HBr ينجذب نحو الرابطية الشائئية؛ مما يؤدي إلى كسر رابطية π ، ويرتبط H^+ بإحدى ذرتي الكربون مكوناً الرابطية $\text{C}-\text{H}$ ، وتنشأ على ذرة الكربون الأخرى شحنة موجبة، فيتكون أيون كربوني موجب، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

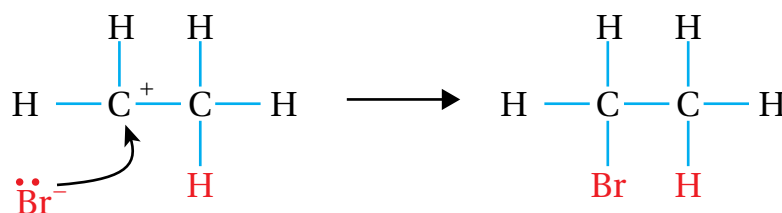


الشكل (4): جزيء الإيثان.



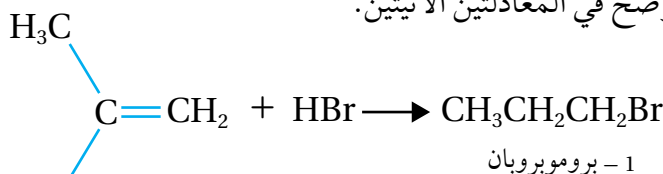
الشكل (5): جزيء بروموايثان.

يتبع ذلك ارتباط النيوكليوفيل Br^- بالأيون الكربوني الموجب، فتتكون رابطة $\text{C}-\text{Br}$ كما يأتي:

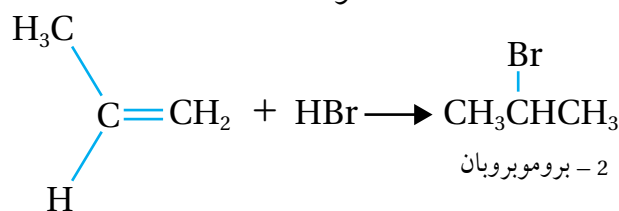


والأيون الكربوني قد يكون أولياً أو ثانوياً أو ثالثياً. أنظر الجدول رقم (1) الذي يوضح شكلاً مبسطاً لأنواع الأيون الكربوني، حيث R مجموعة ألكيل. ويكون الأيون الكربوني الثلاثي أكثر استقراراً وثباتاً من الأيون الكربوني الثانوي، وأقلها ثباتاً؛ الأيون الكربوني الأولي.

ويُسمى التفاعل السابق **إضافة إلكتروفيلية Electrophilic Addition**؛ لأن الإلكتروفيل H^+ هو الذي يبدأ التفاعل مع الرابطة الثنائية في الألكين. ومن الأمثلة أيضاً على هذه الإضافة: إضافة بروميد الهيدروجين HBr إلى ألكين غير متماثل، مثل البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ؛ فإنه يُحتمل تكون ناتجين، كما هو موضَّح في المعادلتين الآتيتين:



أو

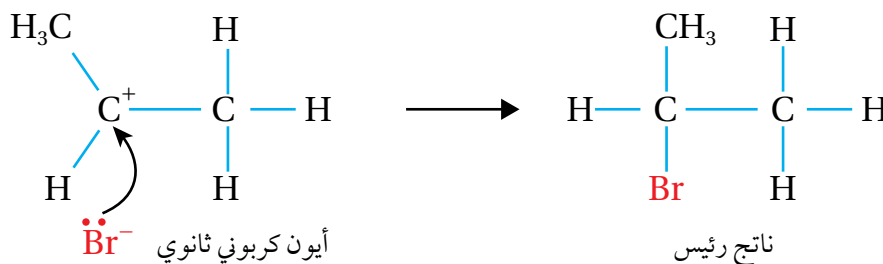
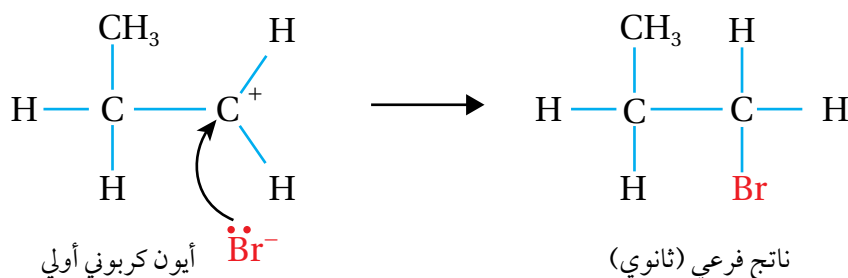


يتضح من المعادلتين أن ذرة البروم يمكن أن ترتبط مع إحدى ذرتي كربون الرابطة الثنائية، وبناء على ذلك يُحتمل أن يتكون المركب 1-بروموبروبان أو 2-بروموبروبان، وقد وُجد عملياً أن الناتج الرئيس الذي يتكون هو 2-بروموبروبان، ويمكن تفسير ذلك عن طريق **قاعدة ماركوفاييكوف Markovnikov's Rule**، التي تنصّ على أنه عند إضافة هاليد الهيدروجين HX إلى ألكين غير متماثل؛ فإن ذرة الهيدروجين ترتبط بذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين. وهذا بدوره يؤدي إلى تكوين أيون كربوني ثانوي هو الأكثر استقراراً وثباتاً، وبهذا؛ فإن تفاعل أيون البروميد Br^- مع الأيون الكربوني الثانوي يؤدي إلى تكوين الناتج الرئيس 2-بروموبروبان،

الجدول (1): أنواع الأيون الكربوني.

| نوع الأيون الكربوني | الصيغة البنائية |
|-------------------------|--|
| الأيون الكربوني الأولي | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}^+ - \text{H} \\ \\ \text{R} \end{array}$ |
| الأيون الكربوني الثانوي | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}^+ - \text{R} \\ \\ \text{R} \end{array}$ |
| الأيون الكربوني الثلاثي | $\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{C}^+ - \text{R} \\ \\ \text{R} \end{array}$ |

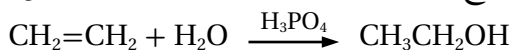
أفكر: كيف أميّز بين أنواع الأيونات الكربونية الثلاثة؟



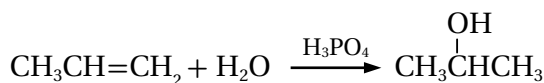
مقارنةً بتفاعل أيون البروميد Br^- مع الأيون الكربوني الأولي الأقل استقرارًا وثباتًا،
الذي يؤدي إلى تكوين ناتج فرعي (ثانوي) كما هو موضح في الشكل (6).

إضافة الماء H_2O Addition of Water

يتفاعل بخار الماء مع الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ مثلاً؛ بوجود عامل مساعد، مثل حمض
الفسفوريك H_3PO_4 ، أو حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، وتحت ضغط جوي ودرجة حرارة
مناسبة؛ وذلك لإنتاج الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، ويعبر عن التفاعل بالمعادلة الآتية:

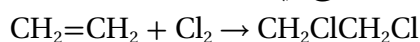


وكذلك يتفاعل البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ مع الماء في وسط حمضي؛ تبعاً
لقاعدة ماركونيكوف مكوّنًا المركب 2- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ، كما في المعادلة
الآتية:



إضافة الهالوجين (Cl_2, Br_2) Addition of Halogen

تتفاعل الألكينات مع الهالوجينات، مثل الكلور أو البروم، عند درجة حرارة
الغرفة، فمثلاً: يتفاعل الإيثين مع غاز الكلور مكوّنًا المركب 1، 2- ثنائي كلوروإيثان
 $\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$ ؛ كما هو موضح في المعادلة الآتية:



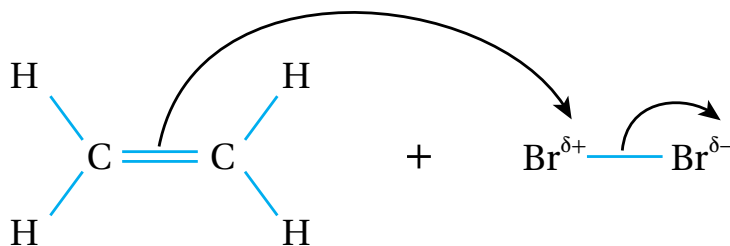
ويتفاعل الإيثين مع البروم Br_2 المذاب في ثنائي كلوروميثان CH_2Cl_2 ؛

أفكر: أفسّر عدم تكوّن أيون كربوني
ثالثي في تفاعل بروميد الهيدروجين
مع البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$.

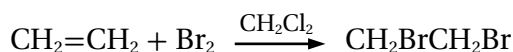
الربط بالحياة

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
المعقّمات؛ إلا أن المكوّن الفعال
هو الإيثانول أو 2- بروبانول.

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



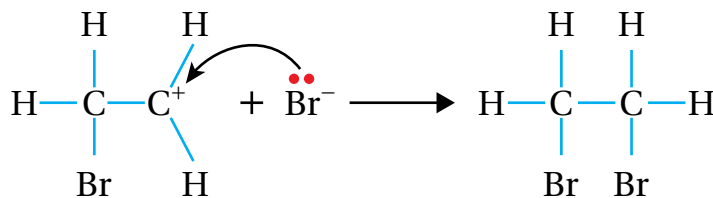
مكوّنًا المركب 1، 2- ثنائي بروموإيثان $\text{CH}_2\text{BrCH}_2\text{Br}$ ، كما هو موضح في
المعادلة الآتية:



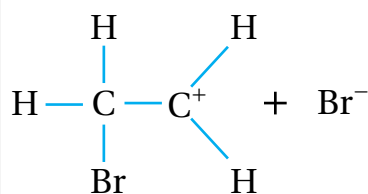
وتفسير ذلك أن الرابطة الثنائية ذات كثافة إلكترونية عالية سالبة الشحنة
تسبب استقطاب جزيء الهالوجين القريب منها، فتظهر على إحدى ذرتي
الجزيء شحنة جزئية موجبة، وتظهر على الذرة الأخرى شحنة جزئية سالبة،
كما هو موضح في الشكل (7) الذي يُبين استقطاب جزيء Br_2 عند اقترابه من
الرابطة الثنائية.

ثم يحدث تجاذب بين الشحنة السالبة للرابطة $\text{C}=\text{C}$ من الألكين وذرة البروم
ذات الشحنة الجزئية الموجبة؛ فتتكسر الرابطة π في الألكين، وتتكسر الرابطة
 $\text{C}-\text{Br}$ ، وينتج أيون كربوني موجب، وأيون بروميد سالب، وتعدّ هذه الإضافة
إضافة إلكتروفيلية، أنظر الشكل (8).

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



يُستعمل محلول البروم المائي (ماء البروم) ذو اللون البرتقالي المصفرّ أو
البروم Br_2 المذاب في ثنائي كلوروميثان CH_2Cl_2 في الكشف عن وجود الرابطة
الثنائية أو الثلاثية، لذلك؛ يمكن التمييز مخبريًا بين الهيدروكربون المشبع وغير
المشبع، باختفاء لون محلول البروم عند إضافته إلى الهيدروكربون غير المشبع،
فمثلاً: عند ضخ فقاعات غاز الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ عبر محلول البروم يختفي لون



الشكل (8): تكون رابطة $\text{C}-\text{Br}$ وأيون
كربوني موجب وأيون بروميد سالب.

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

✓ **أنتحق:**

1- أكمل المعادلات الآتية:

- $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3 + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Ni}}$
- $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{HCl} \longrightarrow$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_3\text{PO}_4}$

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

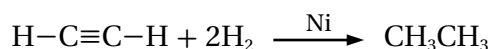


تفاعلات الإضافة في الألكاينات Addition Reactions in Alkynes

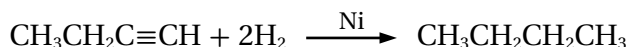
تتفاعل الألكاينات بتفاعلات الإضافة كما في الألكينات؛ إذ يمكن إضافة جزيئين من الهيدروجين، أو الهالوجين، أو هاليد الهيدروجين إلى الألكاين؛ فتتكسر رابطتا π ، ويتكون بدلاً منهما أربع روابط من النوع σ ، والأمثلة الآتية توضح هذه الإضافة:

إضافة الهيدروجين Addition of Hydrogen

يتفاعل الألكاين مع كمية وافرة من الهيدروجين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt مكوناً الألكان، فمثلاً: يتفاعل جزيء الإيثان $\text{HC}\equiv\text{CH}$ مع كمية وافرة من الهيدروجين مكوناً جزيء الإيثان CH_3CH_3 ، ويمكن التعبير عن معادلة التفاعل كما يأتي:

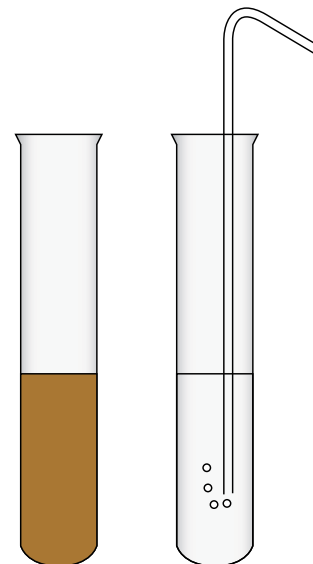
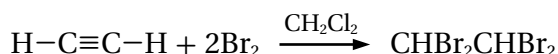


وكذلك يتفاعل الجزيء 1- بيوتان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CH}$ مع كمية وافرة من الهيدروجين، مكوناً جزيء البيوتان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ، كما يأتي:



إضافة الهالوجين Addition of Halogen

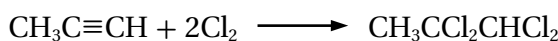
يتفاعل الألكاين مع كمية وافرة من الهالوجين مكوناً هاليد الألكيل، فمثلاً: يتفاعل جزيء الإيثان $\text{CH}\equiv\text{CH}$ مع جزيئين من البروم 2Br_2 المذاب في ثنائي كلوروميثان CH_2Cl_2 مكوناً الجزيء 1،1،2،2- رباعي برومو إيثان $\text{CHBr}_2\text{CHBr}_2$ ، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



الشكل (9): اختفاء لون ماء البروم عند تفاعله مع الإيثان.

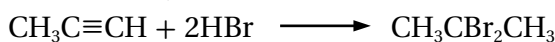
أفكر: أفسر تفاعل جزيئين من الهيدروجين مع جزيء واحد من الإيثان.

وكذلك يتفاعل جزيء البروبين $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH}$ مع جزيئين من الكلور 2Cl_2 مكوناً 1، 1، 2، 2- رباعي كلورو بروبان $\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{CHCl}_2$ كما يأتي:

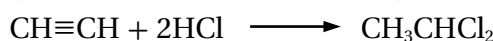


إضافة هاليد الهيدروجين Addition of Hydrogen Halide

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، فمثلاً: يتفاعل جزيئان من بروميد الهيدروجين HBr مع جزيء البروبين $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH}$ ، فينتج جزيء 2، 2- ثنائي بروموبروبان $\text{CH}_3\text{CBr}_2\text{CH}_3$ ؛ كما يأتي:



كما يتفاعل جزيئان من كلوريد الهيدروجين HCl مع جزيء الإيثاين $\text{CH}\equiv\text{CH}$ مكوناً الجزيء 1، 1- ثنائي كلوروإيثان CH_3CHCl_2 ؛ كما يأتي:



✓ **أتحقق:**

- 1- أكمل المعادلتين الآتيتين:
 - $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{HCl} \longrightarrow$
 - $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{Cl}_2 \longrightarrow$
- 2- أكتب معادلة تفاعل 2- بيوتايين $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3$ مع كمية وافرة من الهيدروجين.

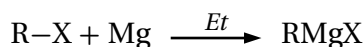
تفاعلات الإضافة في الألديهيدات والكي-tonات

Addition Reactions in Aldehydes and Ketones

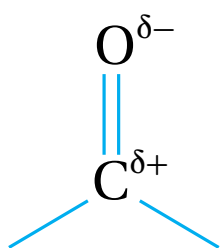
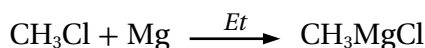
تشابه الألديهيدات والكي-tonات في كثير من تفاعلاتها الكيميائية؛ وذلك لاحتواء كلٍّ منها على مجموعة الكربونيل القطبية التي تحتوي على رابطة ثنائية بين ذرة الكربون وذرة الأكسجين، أنظر الشكل (10)؛ مما يجعل الألديهيدات والكي-tonات تتفاعل بالإضافة. ومن الأمثلة على هذه التفاعلات: تفاعلاتها مع مركبات غرينارد، ومع الهيدروجين كما يأتي:

إضافة مركب غرينارد R – MgX

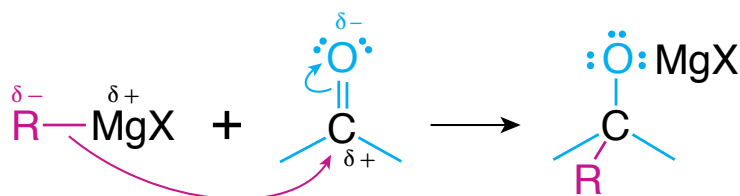
ينتج مركب غرينارد RMgX من تفاعل هاليد الألكيل R-X مع فلزّ المغنيسيوم بوجود الإيثر Et الجاف، كما هو موضح في المعادلة:



فمثلاً: ينتج مركب ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl من تفاعل كلوريد الميثيل (كلوروميثان) CH_3Cl مع فلزّ المغنيسيوم، كما في المعادلة الآتية:

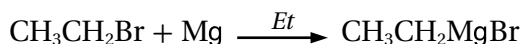


الشكل (10): مجموعة الكربونيل القطبية.



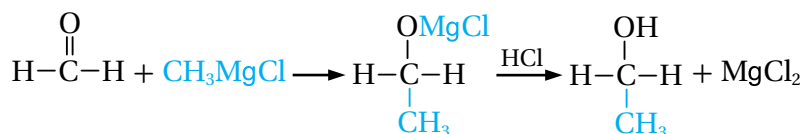
الشكل (11): الإضافة النيوكليوفيلية في الألدهايد والكتون.

وكذلك ينتج مركب إيثيل بروميد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgBr}$ من تفاعل بروميد الإيثيل (بروموإيثان) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ مع فلز المغنيسيوم بوجود الإثير Et الجاف، كما يأتي:



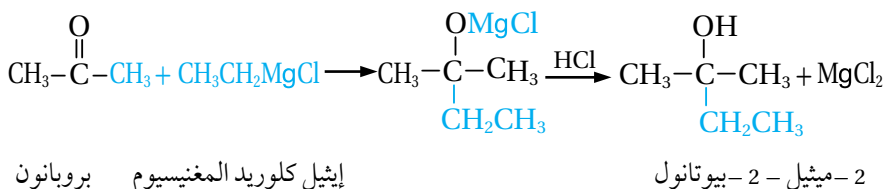
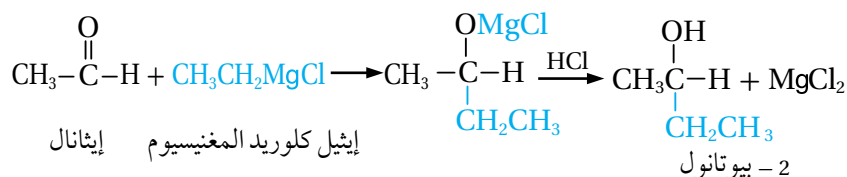
وحيث إن ذرة المغنيسيوم أقل سالبية كهربائية من ذرة كربون مجموعة الألكيل R المرتبطة بها، تظهر على ذرة المغنيسيوم شحنة جزئية موجبة، وتظهر على ذرة الكربون المرتبطة بذرة المغنيسيوم من مجموعة الألكيل R شحنة جزئية سالبة، $(\text{R}^{\delta-}-\text{Mg}^{\delta+}\text{X})$ ، وبهذا فإن مجموعة الألكيل $\text{R}^{\delta-}$ تعدّ نيوكليوفيلًا يبدأ التفاعل مع مجموعة الكربونيل، حيث ينجذب النيوكليوفيل نحو ذرة الكربون الموجبة الشحنة في مجموعة الكربونيل في الألدهايد أو الكتون، ولذلك يطلق على هذا النوع من الإضافة **الإضافة النيوكليوفيلية Nucleophilic Addition**، كما هو موضح في الشكل (11) الذي يُبين هذه الإضافة.

يتضح من الشكل أن النيوكليوفيل $\text{R}^{\delta-}$ يرتبط مع ذرة الكربون ذات الشحنة الجزئية الموجبة في مجموعة الكربونيل، ثم يرتبط الإلكتروليت $\text{MgX}^{\delta+}$ 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 الوسيط، وينتج الكحول، ويكون عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج مساوياً لمجموع عدد ذرات كربون المادتين المتفاعلتين من مركب الكربونيل ومركب غرينارد، فمثلاً: يتفاعل الميثانال HCHO مع ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl بوجود حمض HCl ، فينتج كحول الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ؛ كما هو موضح في المعادلة الآتية:



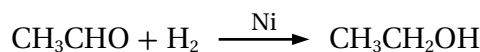
يتضح من معادلة التفاعل أن عدد ذرات الكربون في الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ يساوي اثنتين، وهذا يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في المادتين المتفاعلتين؛ ميثانال HCHO ، وميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl .

ومن الأمثلة أيضًا: تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ مع الإيثانال CH_3CHO ، وكذلك تفاعله مع البروبانون CH_3COCH_3 ؛ كما هو موضح في المعادلتين الآتيتين:

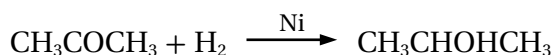


إضافة الهيدروجين Addition of Hydrogen

تتفاعل الألدهيدات والكيثونات مع غاز الهيدروجين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt مكوّنة الكحولات. فمثلاً: يتفاعل الإيثانال CH_3CHO مع غاز الهيدروجين H_2 مكوّناً الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ؛ وفق المعادلة الآتية:

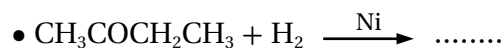


وكذلك يتفاعل البروبانون CH_3COCH_3 مع غاز الهيدروجين H_2 مكوّناً 2- بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ ؛ وفق المعادلة الآتية:



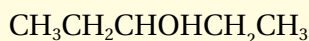
✓ **أتحقق:**

1- أكمل المعادلتين الآتيتين:



2- أكتب معادلة تفاعل البيوتانون $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$ مع إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، متبوعاً بإضافة حمض HCl .

أفكر: أكتب الصيغة البنائية المحتملة لمركبي غرينارد والألدهايد اللازمين لتكوين مركب 3- بتانول.

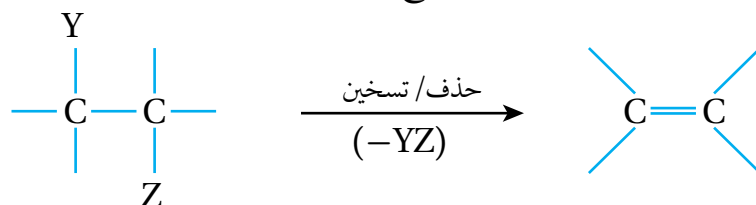


أصمّم، باستخدام

برنامج السكراتش (Scratch)، عرضاً يوضح إضافة CH_3MgCl إلى البيوتانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$ متبوعاً بإضافة حمض HCl ، وكذلك إضافته إلى البيوتانون $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$ ، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

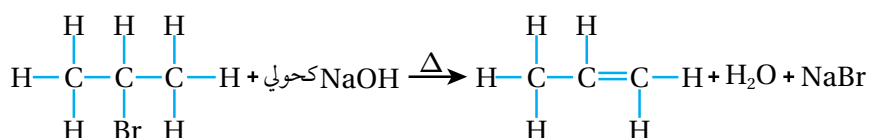
تفاعلات الحذف Elimination Reactions

درست سابقاً تفاعلات الإضافة في الألكينات، حيث جرى كسر الرابطة π من الرابطة الثنائية في الألكين عند إضافة جزيء هاليد الهيدروجين HX إليه مكوناً هاليد الألكيل R-X، وكذلك إضافة جزيء الماء H₂O مكوناً 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 H₂O من الكحول مكوناً الألكين. وتوضح المعادلة العامة الآتية تفاعل الحذف:



الحذف من هاليد الألكيل Elimination from Alkyl Halide

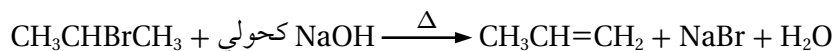
تُصنّف هاليدات الألكيل المحتوية على ذرة هالوجين واحدة إلى: أولية 1°، وثانوية 2°، وثالثية 3°، وذلك حسب عدد مجموعات الألكيل المرتبطة بذرة الكربون المتصلة بذرة الهالوجين، كما يوضح الجدول (2).
يُنْتزع جزيء HX من هاليد الألكيل الثانوي أو الثالثي بشكل رئيس، وذلك بالتسخين مع محلول مركز من قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد البوتاسيوم KOH أو هيدروكسيد الصوديوم NaOH المذاب في الإيثانول، فينتج الألكين. فمثلاً: عند تسخين 2- بروموبروبان CH₃CHBrCH₃ مع محلول هيدروكسيد الصوديوم الكحولي، يتكون المركب العضوي بروبين CH₃CH=CH₂، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



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

| هاليد ألكيل ثالثي 3° | هاليد ألكيل ثانوي 2° | هاليد ألكيل أولي 1° | نوع هاليد الألكيل |
|---|--|---|-------------------|
| $ \begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R}'-\text{C}-\text{X} \\ \\ \text{R}'' \end{array} $ | $ \begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R}'-\text{C}-\text{X} \\ \\ \text{H} \end{array} $ | $ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C}-\text{X} \\ \\ \text{H} \end{array} $ | الصيغة العامة |
| $ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{Br} \end{array} $ | $ \begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_3 \\ \\ \text{Br} \end{array} $ | CH ₃ CH ₂ CH ₂ Br | مثال |

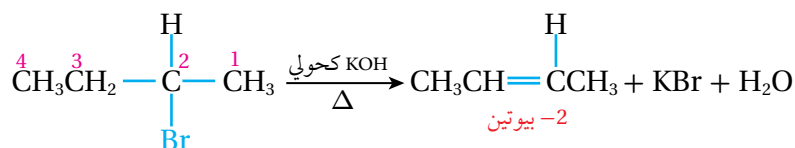
ويمكن كتابة معادلة التفاعل على النحو الآتي:



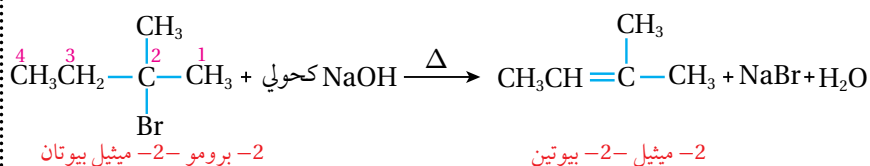
يتضح من المعادلة أن ذرة البروم Br نُزعت عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وأن ذرة هيدروجين H نُزعت عن ذرة الكربون المجاورة لها؛ فتكونت رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون المتجاورتين ونتاج البروين.

وعند زيادة عدد ذرات الكربون في هاليد الألكيل عن 3 ذرات كربون، تُنزع ذرة الهيدروجين H من ذرة الكربون المجاورة لذرة الكربون المرتبطة بالهالوجين التي ترتبط بعدد أكبر من مجموعات الألكيل وبعدها أقل من ذرات الهيدروجين.

فمثلاً: عند تسخين 2- بروموبوتان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{CH}_3$ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي تُنزع 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 وُجد أن نزع ذرة الهيدروجين عن ذرة الكربون رقم (3) يؤدي إلى تكوين الرابطة الثنائية الأكثر ثباتاً بين ذرتي كربون 2 و 3، ويكون الناتج 2- بيوتين هو الناتج الرئيس.



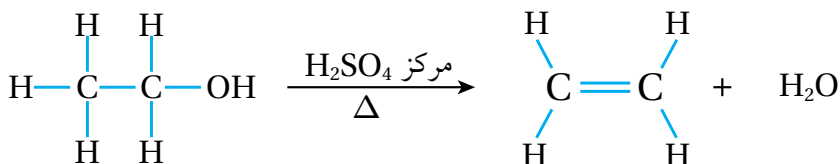
وكذلك عند تسخين 2- برومو 2- ميثيل بيوتان مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH الكحولي؛ فإن ذرة البروم تُنزع عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وتُنزع ذرة الهيدروجين عن ذرة الكربون رقم (3) المرتبطة بعدد أكبر من مجموعات الألكيل؛ فيكون الناتج الرئيس 2- ميثيل 2- بيوتين، كما توضح المعادلة الآتية:



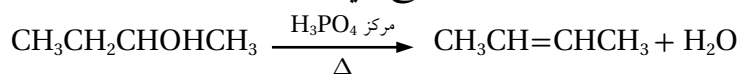
✓ **أتحقق:** أكتب معادلة تفاعل تسخين 2- كلوروبتان $\text{CH}_3\text{CHClCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي.

الحذف من الكحول Elimination from Alcohol

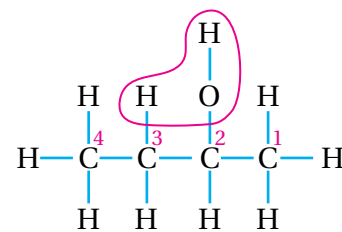
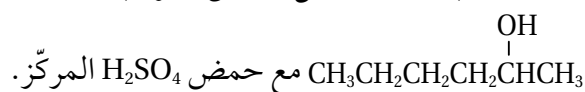
عند تسخين الكحول مع حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز أو حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركز؛ يُنزع جزيء H_2O من ذرتي كربون متجاورتين، حيث تُنزع مجموعة OH عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وتُنزع ذرة الهيدروجين H عن ذرة الكربون المجاورة، فتتكون رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون المتجاورتين وينتج الألكين، ومثال ذلك: نزع جزيء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



أما عند تسخين 2- بيوتانول $CH_3CH(OH)CH_2CH_3$ مع حمض الفسفوريك المركز H_3PO_4 ؛ فتُنزع مجموعة الهيدروكسيل OH عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وتُنزع 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:



✓ **أتحقق:** أكتب معادلة تفاعل تسخين المركب 2- هكسانول



الشكل (12): نزع الماء من المركب 2- بيوتانول.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أقرن بين تفاعلي الإضافة والحذف.

2. أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:

- $\text{CH}_3\text{COCH}_3 + \text{C}_2\text{H}_5\text{MgBr} \longrightarrow \dots \xrightarrow{\text{HBr}}$
- $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Ni}}$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{HCl} \longrightarrow$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{HCl} \longrightarrow$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_2\text{CH}_3 \xrightarrow[\text{مركز } H_2SO_4]{\Delta}$

3. أكتب معادلة كيميائية تبين كلاً مما يأتي:

- إضافة الماء بوسط حمضي إلى المركب 1- بنتين $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
- إضافة 2 مول من غاز الهيدروجين إلى المركب 2- هكساين $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ بوجود عامل مساعد Ni.
- إضافة بروبييل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{MgCl}$ إلى بروبانون CH_3COCH_3 ، متبوعاً بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl.
- تسخين 1- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ مع حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز.
- تسخين 2- كلورو -2- ميثيل بنتان $\text{CH}_3\text{C}(\text{Cl})(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ مع محلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH المركز الكحولي.

4. أطبق: مركب عضوي X صيغته $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ، عند تسخينه مع محلول مركز من حمض الكبريتيك 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 العضوية المحتملة X, Y, Z.

5. أستنتج الصيغة البنائية للمركب G المستخدم في التفاعل الآتي:



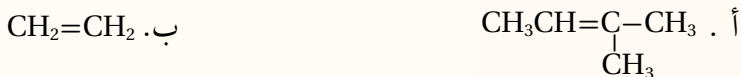
6. أدرس الجدول الآتي الذي يضم مركبات عضوية، ثم أختار منه صيغة المركب الصحيحة لكل مما يأتي:

| | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ | $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ | CH_3CH_3 |
| $\text{CH}\equiv\text{CH}$ | CH_3CHO | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ |

- أ. صيغة المركب الناتج من تفاعل الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ مع بروميد الهيدروجين HBr.
- ب. صيغة المركب الناتج من تسخين الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركز.
- ج. ناتج تفاعل الإيثاين $\text{CH}\equiv\text{CH}$ مع 2 مول من الهيدروجين بوجود النيكل Ni.
- د. صيغة المركب الناتج من تفاعل الإيثانال CH_3CHO مع الهيدروجين بوجود النيكل Ni.
- هـ. صيغة المركب الناتج من تفاعل الميثانال HCHO مع ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl ، متبوعاً بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl.

7. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

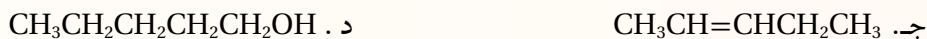
1. يتكوّن أيون كربوني ثانوي موجب خلال تفاعل بروميد الهيدروجين HBr مع أحد المركبات الآتية:



2. ينتج المركب 3- ميثيل -2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CHOHCH}_3$ عند إضافة الماء بوجود حمض الفسفوريك H_3PO_4 إلى أحد المركبات الآتية:



3. الناتج العضوي الرئيس عند تسخين 2-بروموبنتان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي، هو:



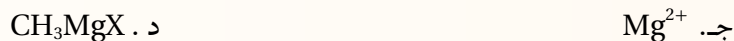
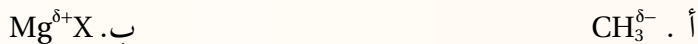
4. صيغة المركب X في التفاعل: $\text{X} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl} \xrightarrow{\text{HCl}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_2\text{CH}_3$ هي:



5. صيغة المركب Z في التفاعل: $Z + 2HCl \rightarrow CH_3CCl_2CH_3$ ؛ هي:



6. في تفاعل الميثانال $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ مع ميثيل هاليد المغنيسيوم CH_3MgX ، الجزء الذي يضاف إلى ذرة الأكسجين في مجموعة الكربونيل، هو:



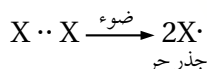
تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions

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 المركب العضوي. ومن المركبات العضوية التي تتفاعل بالاستبدال: الألكانات، وهاليدات الألكيل، والكحولات، والحموض الكربوكسيلية. أنظر الشكل (13) الذي يُمثل نماذج لأمثلة من المركبات العضوية التي تتفاعل بالاستبدال.

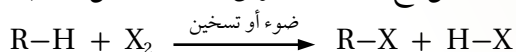
تفاعلات الاستبدال في الألكانات (هلجنة الألكانات)

Substitution Reactions of the Alkanes

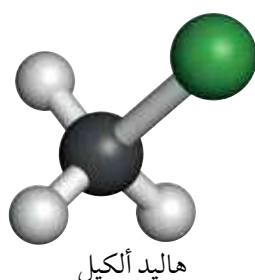
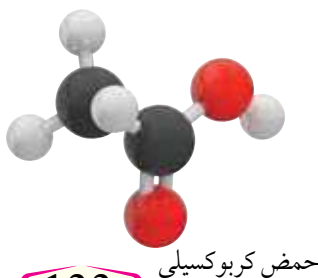
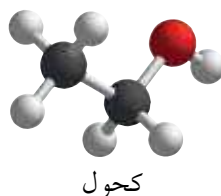
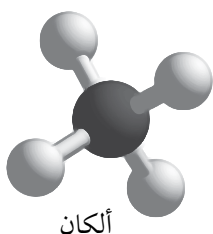
يُعرّف تفاعل هلجنة الألكانات بأنه تفاعل استبدال تحلّ فيه ذرة هالوجين أو أكثر محل ذرة هيدروجين أو أكثر في الألكان مكونًا هاليد الألكيل، ويحدث التفاعل بوجود الضوء، أو بالتسخين الذي يعمل على كسر الرابطة بين ذرتي الهالوجين مكونًا ما يسمى **الجذر الحر Free Radical** كما في المعادلة الآتية:



ويُعرّف بأنه ذرة أو مجموعة ذرات تمتلك إلكترونًا منفردًا مثل $Cl \cdot$ مما يجعله شديد النشاط؛ فيتفاعل مع الألكان لتكوين هاليد الألكيل حسب المعادلة الآتية:



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



الفكرة الرئيسة:

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

نتائج التعلم:

- 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: الألديهيدات، والكيثونات، والكحولات، والحموض الكربوكسيلية.

المفاهيم والمصطلحات:

تفاعل الاستبدال

Substitution Reaction

Free Radical جذر حر

الاستبدال النيوكليوفيلي

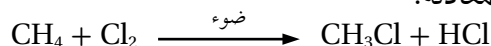
Nucleophilic Substitution

Esterification الأسترة

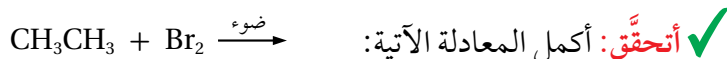
Saponification التصبن

الشكل (13): أمثلة لمركبات عضوية تتفاعل بالاستبدال.

فمثلاً: يتفاعل الميثان CH_4 مع الكلور Cl_2 ؛ بوجود الضوء منتجاً كلوروميثان CH_3Cl حسب المعادلة:



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، وسيكتفى فقط بدراسة الاستبدال الأحادي في الميثان والإيثان CH_3CH_3 .



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.

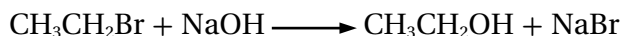
تتفاعل هاليدات الألكيل الأولية بشكل رئيس بالاستبدال؛ وذلك عند تفاعلها مع قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH ، أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH المذابة في مزيج من الماء والإيثانول مكوّنة كحول ROH ، كما تتفاعل مع أيون ألكوكسيد RO^- وتنتج الإيثر ROR' ، والمعادلة الآتية تمثل المعادلة العامة للتفاعل:



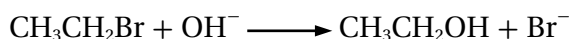
حيث تشير Nu إلى نيوكليوفيل يمتلك زوجاً من الإلكترونات غير الرابطة، ويمكن أن يكون أيوناً سالباً، مثل OH^- ، RO^- .

يحدث تفاعل الاستبدال في هاليدات الألكيل الأولية عند تفاعل نيوكليوفيل، مثل أيون الهيدروكسيد (OH^-) ، مع ذرة الكربون التي تحمل شحنة جزئية موجبة والمرتبطة بذرة الهالوجين، 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).

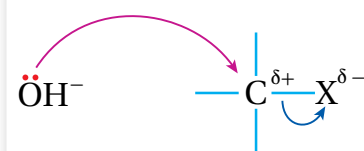
توضح المعادلة الآتية تفاعل برومو إيثان مع محلول NaOH ، كما في المعادلة الآتية:



يمكن التعبير عن المحلول NaOH بأيون OH^- كما في المعادلة الآتية:

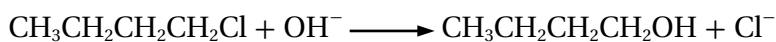


ويتفاعل 1-كلوروبوتان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ مع محلول KOH ، كما في

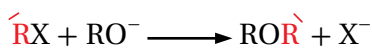


الشكل (14): استبدال OH^- محل X^- .

المعادلة الآتية:



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



حيث يحل الأيون RO^- محل X^- ؛ كما يوضح الشكل (15). والمعادلة الآتية

توضح تفاعل أيون الميثوكسيد CH_3O^- مع كلوروايثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ لتكوين إيثيل ميثيل إيثر حسب المعادلة:



يجري الحصول على أيون CH_3O^- من تفاعل كحول الميثانول CH_3OH مع فلز نشط، مثل الصوديوم؛ إذ ينتج المركب الأيوني ميثوكسيد الصوديوم $\text{CH}_3\text{O}^- \text{Na}^+$ الذي يتفكك في الماء منتجاً أيون CH_3O^- اللازم للتفاعل، وستتطرق إلى دراسة تفاعل الكحولات مع الفلزات النشطة لاحقاً.

✓ **أنتحقق:** أكمل المعادلات الآتية:

- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl} + \text{OH}^- \longrightarrow$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^- \longrightarrow$

تفاعلات الاستبدال في الكحولات Substitution Reactions of Alcohols

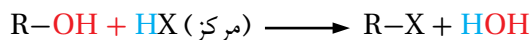
تعدّ الكحولات من المركبات المهمة التي تُستخدم لتحضير العديد من المركبات العضوية، وتتفاعل بطرائق مختلفة، منها: الاستبدال.

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° ، وثنائية 2° ، وثالثية 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.

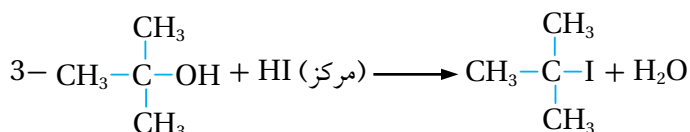
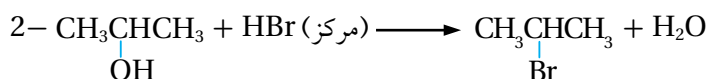
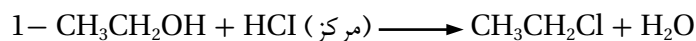
| نوع الكحول | كحول أولي 1° | كحول ثانوي 2° | كحول ثالثي 3° |
|---------------|--|---|---|
| الصيغة العامة | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R}'-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R}'-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{R}'' \end{array}$ |
| مثال | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ | $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$ |

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



حيث HX هي: HCl، HBr، HI.

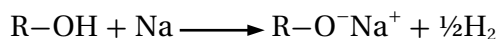
ويعدّ التفاعل من الطرائق الشائعة لتحضير هاليدات الألكيل، كما توضح المعادلات الآتية:



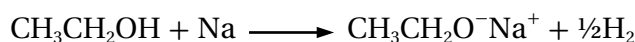
تفاعل الكحولات مع الفلزّات النشطة

Reaction of Alcohol with active Metals

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

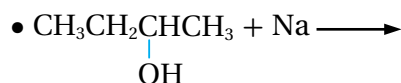
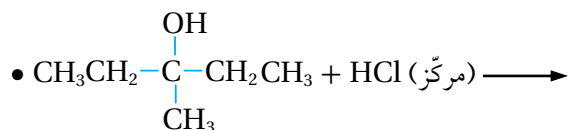


فمثلاً: يتفاعل الإيثانول مع الصوديوم مكونًا إيثوكسيد الصوديوم حسب المعادلة:

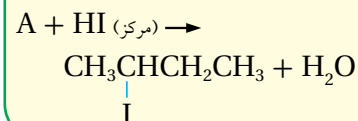


تكمن أهمية هذا التفاعل في أنه يُستخدم لتحضير أيون ألكوكسيد RO^- الذي يتفاعل مع هاليد الألكيل الأولي لتكوين الإيثر كما ورد سابقاً، وكذلك يُستخدم للكشف عن الكحولات مخبرياً، إذ يُميّز الكحول عن غالبية المركبات العضوية الأخرى بمفاعلتها جميعاً مع فلزّ الصوديوم، وسيلاحظ تصاعد غاز الهيدروجين في أثناء التفاعل مع الكحولات فقط، ويتكون ألكوكسيد الصوديوم $R-O^-Na^+$ ، وتشارك الحموض الكربوكسيلية مع الكحولات في هذا التفاعل.

✓ **أنتحقّق:** أكمل المعادلات الآتية:



أفكر: أكتب الصيغة البنائية للمركب A

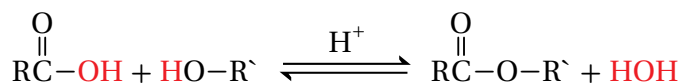


تفاعل الاستبدال في الحموض الكربوكسيلية

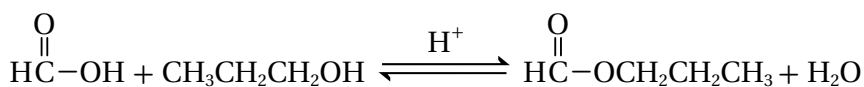
Substitution Reaction of Carboxylic Acid

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

تمثل المعادلة العامة الآتية تفاعل تكوين الإستر:



ألاحظ من المعادلة أن OR' من الكحول حلت محل OH من مجموعة الكربوكسيل في الحمض الكربوكسيلي لتكوين الإستر $RCOOR'$ ، لذلك؛ يعد تفاعل الأسْترة من تفاعلات الاستبدال في الحموض الكربوكسيلية، وهو تفاعل منعكس يمكن إزاحته باتجاه تكوين الإستر بإزالة الماء من وسط التفاعل. فمثلاً: يتفاعل حمض الميثانويك مع 1-بروبانول لتكوين الماء وميثانوات البروبيل حسب المعادلة:



ويتفكك الإستر بالماء في وسط حمضي مكوناً الحمض الكربوكسيلي والكحول من جديد، فمثلاً: 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 بروبانات الميثيل $CH_3CH_2COOCH_3$ ، بوجود حمض الهيدروكلوريك المخفف؛ لإنتاج حمض البروبانويك والميثانول.



ويتفكك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية أيضاً، مثل هيدروكسيد الصوديوم $NaOH$ ؛ وينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي في تفاعل يسمى **التصبن Saponification**، حيث يشبه التفاعل المستخدم في صناعة الصابون. وتُمثل المعادلة الآتية تفكك إستر إيثانوات البروبيل عند تسخينه في الوسط القاعدي مكوناً إيثانوات الصوديوم و 1-بروبانول:



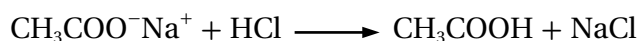
الربط بالصناعة



استخلص الإنسان منذ القدم مسكناً للألم من لحاء شجر الصفصاف، إلى أن صُنِعَ الأسبرين فأصبح يُستخدم في أنحاء العالم كافة بوصفه مسكناً للألم بوجه عام، حيث يحضر من خلال تفاعل الأسْترة.

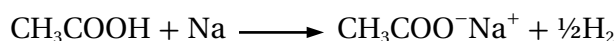


ويمكن الحصول على الحمض الكربوكسيلي بتفاعل الملح الناتج مع حمض قوي مثل HCl كما في المعادلة:

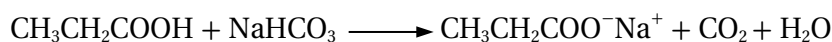
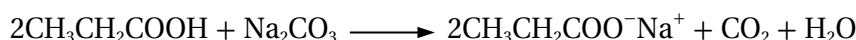


وللحموض الكربوكسيلية تفاعلات استبدال أخرى، منها:

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

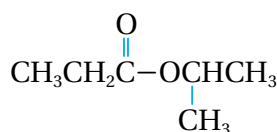


تفاعل الحموض الكربوكسيلية مع بعض الأملاح القاعدية، مثل كربونات الصوديوم Na_2CO_3 أو كربونات الصوديوم الهيدروجينية NaHCO_3 ، ويتصاعد غاز CO_2 ، ويُستخدَم هذا التفاعل للكشف عن الحموض الكربوكسيلية؛ إذ يميّزها عن غيرها من المركبات العضوية، كما في المعادلتين الآتيتين:

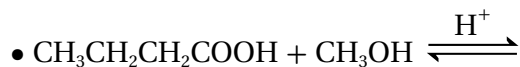


✓ **أتحقّق:**

1. أحدّد الكحول والحمض الكربوكسيلي اللّذين تكوّن منهما الإستر الآتي:



2. أكمل المعادلات الآتية:



أفكر: أصف كيف أميّز مخبرياً بين كحول الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، وحمض الإيثانويك CH_3COOH ، وأكتب معادلة كيميائية للتفاعل الحاصل.

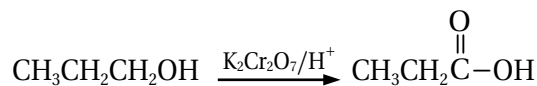
تفاعلات التأكسد والاختزال في المركبات العضوية

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. وستُدرَس تفاعلات التأكسد أو الاختزال لكل من المركبات العضوية الآتية: الكحولات، والألديهايدات، والكيتونات، والحموض الكربوكسيلية.

تأكسد الكحولات Oxidation of Alcohols

تعتمد نواتج تأكسد الكحولات على نوع الكحول الذي يتأكسد، حيث يتأكسد الكحول الأولي بوجود عامل مؤكسد مكوّنًا ألدیهيدًا، وقد يستمر تأكسده إلى حمض كربوكسيلي، ويعتمد ذلك على العامل المؤكسد المستخدم وظروف التفاعل، فمثلاً: يتأكسد 1- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ عاملاً مؤكسداً قوياً في وسط حمضي إلى البروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ الذي يتأكسد مباشرة إلى حمض البروبانويك $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ؛ وفق المعادلة الآتية التي تبين الناتج النهائي لتأكسد 1- بروبانول:

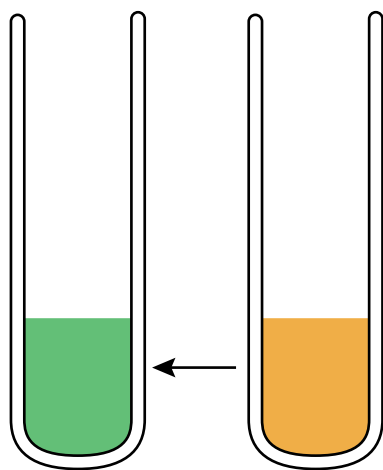


ألاحظ أن تأكسد الكحول الأولي 1- بروبانول وتحوله إلى حمض البروبانويك؛ يصاحبه نقص في عدد ذرات الهيدروجين وزيادة في عدد ذرات الأكسجين O، ويرافق التفاعل تغير لون محلول دايكرومات البوتاسيوم البرتقالي إلى أخضر، وهو لون أيونات Cr^{3+} ، أنظر الشكل (16).

ويُستخدم العامل المؤكسد كلورو كرومات البيريدينوم المذاب في ثنائي كلوروميثان $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، وهو عامل مؤكسد متوسط القوة يؤكسد الكحول ولا يؤكسد الألدیهيد، وبذلك يتم الحصول على الألدیهيد، فمثلاً: يتأكسد 1- بروبانول إلى البروبانال حسب المعادلة الآتية:

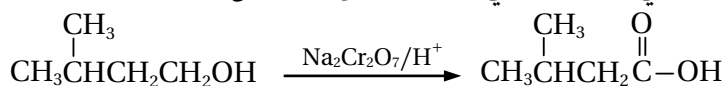


ألاحظ أن تأكسد 1- بروبانول وتحوله إلى البروبانال صاحبه نقص في عدد ذرات الهيدروجين H؛ إذ حُذفت ذرة هيدروجين من مجموعة الهيدروكسيل OH وذرة هيدروجين من ذرة الكربون المرتبطة بها، وتكونت رابطة ثنائية بين ذرتي الأكسجين والكربون.



الشكل (16): يرافق تفاعل تأكسد الكحولات الأولية والثانوية تغير لون محلول $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ البرتقالي إلى الأخضر.

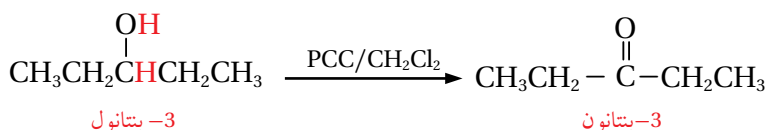
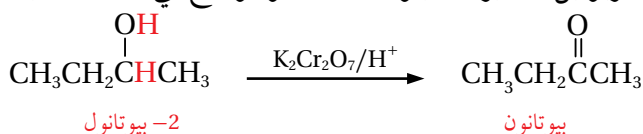
ويتفاعل 3-ميثيل -1-بيوتانول مع العامل المؤكسد دايكرومات الصوديوم $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ في وسط حمضي مكوناً حمض 3-ميثيل بيوتانويك حسب المعادلة:



ولكن عند استخدام العامل المؤكسد $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ؛ فإن 3-ميثيل -1-بيوتانول يتأكسد مكوناً 3-ميثيل بيوتانال حسب المعادلة:

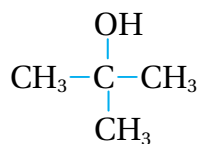


ويتأكسد الكحول الثانوي سواء باستخدام العامل المؤكسد دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$ ، أو كلوروكرومات البيريدينوم $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، وينتج عن أكسدته الكيتون، حيث تُنزع ذرة هيدروجين من مجموعة الهيدروكسيل OH ، وذرة هيدروجين من ذرة الكربون المرتبطة بها، وترتبط ذرتا الكربون والأكسجين برابطة ثنائية مكونة مجموعة الكربونيل المميزة للكيتونات؛ كما هو موضح في الأمثلة الآتية:

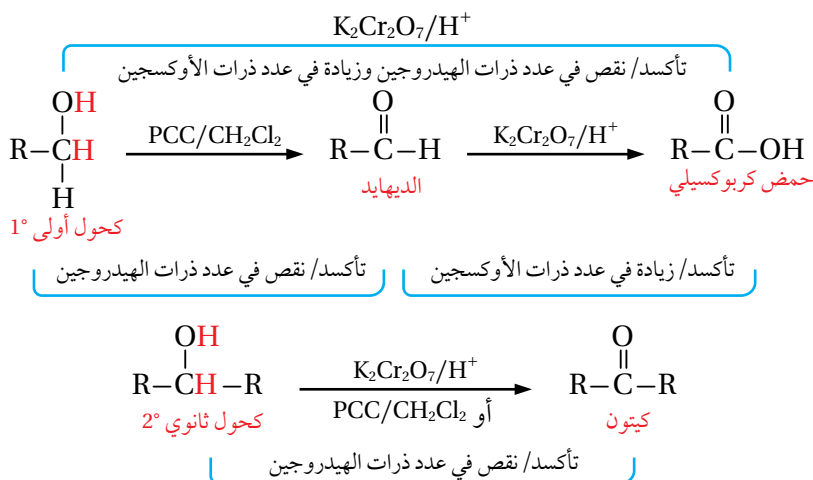


أما في الكحولات الثالثة؛ فإن ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل OH لا ترتبط بأي ذرة هيدروجين H ، فلا يمكن نزع ذرتي H من المركب، لذلك؛ فإن الكحولات الثالثة لا تتأكسد عند الظروف نفسها.

فمثلاً: في الكحول الثلاثي 2-ميثيل -2-بروبانول؛ ألاحظ أن ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل لا ترتبط بأي ذرة هيدروجين، وبذلك لا يتأكسد.



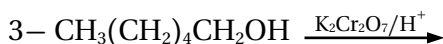
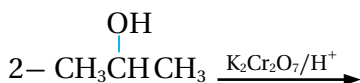
ويمكن تلخيص أكسدة الكحولات بالمخطط الآتي:



أصمّم باستخدام

برنامج سكراتش Scratch عرّضاً أقارن فيه بين تأكسد الكحولات الأولية والثانوية والثالثة، مع توظيف أمثلة مناسبة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي.

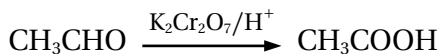
أ. أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:



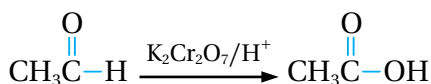
ب. أفسّر: لا تتأكسد الكحولات الثالثة باستخدام محلول داكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ في وسط حمضي.

تأكسد الألديهيدات Oxidation of Aldehydes

تتأكسد الألديهيدات باستخدام عامل مؤكسد مناسب مكوّنة حموضاً كربوكسيلية، فمثلاً: عند استخدام عامل مؤكسد قوي، مثل داكرومات البوتاسيوم، في وسط حمضي $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$ ؛ فإن الإيثانال CH_3CHO يتأكسد منتجاً حمض الإيثانويك CH_3COOH ؛ حسب المعادلة الآتية:



ويمكن كتابتها بصورة أخرى:



ألاحظ من المعادلة الكيميائية السابقة أن تأكسد الألديهيد إلى حمض كربوكسيلي يرافقه زيادة في عدد ذرات الأكسجين، وكذلك يتحول لون محلول $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ الحمضي من البرتقالي إلى الأخضر.

أما الكيتونات فإنها لا تتأكسد عند الظروف نفسها، وبناء على ذلك يُستخدم تفاعل أكسدة الألديهيد للتمييز بين الألديهيدات والكيتونات. ومن أمثلة ذلك؛ يُستخدم محلول تولينز، وهو عامل مؤكسد ضعيف في وسط قاعدي $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+/\text{OH}^-$ ، في التمييز بين الألديهيد والكيتون، حيث يتأكسد الألديهيد وتُختزل أيونات الفضة Ag^+ من محلول تولينز، وترسب على السطح الداخلي لوعاء التفاعل مكوّنة مرآة فضية كما يوضح

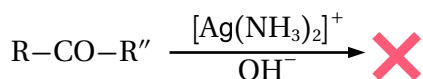
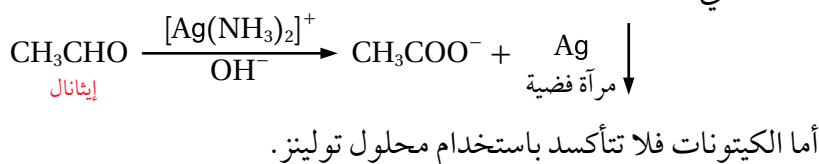
أفكر: مركب عضوي A صيغته الجزيئية $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ على شكل سلسلة مستمرة، عند أكسدته باستخدام $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$ نتج المركب B الذي صيغته الجزيئية $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ، وحين يتفاعل مع كربونات الصوديوم Na_2CO_3 ينتج غاز CO_2 . أكتب الصيغتين البنائيتين للمركبين A و B.



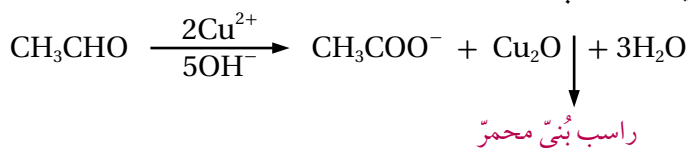
الشكل (17): ترسب مرآة فضية على السطح الداخلي لأنابيب الاختبار.

الشكل (17)، أما الكيتون فإنه لا يتأكسد.

وتمثل المعادلة الآتية تأكسد الإيثانال باستخدام محلول تولينز في وسط قاعدي:



ويستخدم أيضًا محلول فهلنج؛ للتمييز بين الألددهايد والكيتون؛ وهو عامل مؤكسد ضعيف يتكون من محلول قاعدي يحتوي على أيونات النحاس Cu^{2+} . يسخن الألددهايد مع محلول فهلنج؛ فيتأكسد في الوسط القاعدي إلى أيون الحمض الكربوكسيلي RCOO^- ، وتختزل أيونات النحاس Cu^{2+} ، إلى Cu^+ ، وترسب على شكل راسب بني محمر من أكسيد النحاس (I) Cu_2O ، أنظر الشكل (18) مثلاً؛ يتأكسد الإيثانال حسب المعادلة:



أما الكيتونات فلا تتأكسد باستخدام محلول فهلنج.



الشكل (18): اختزال أيونات النحاس Cu^{2+} زرقاء اللون إلى Cu^+ وترسبها على شكل راسب بني محمر من Cu_2O .

✓ **أتحقق:**

1- أكتب معادلة تأكسد البيوتانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}(=\text{O})\text{H}$ ، باستخدام محلول دايكرومات البوتاسيوم الحمضي $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$.

2- أصف كيف أميز مخبريًا بين البروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ والبروبانون CH_3COCH_3 ، وأكتب معادلات كيميائية توضح ذلك.

التجربة ١

التمييز بين الألد依يدات والكيٲونات

الهدف: أُمَيِّز عملياً بين الألد依يدات والكيٲون

المواد والأدوات:

أنبوبا اختبار، مخبر 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.

إرشادات السلامة:

- اتباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- التعامل مع المواد الكيميائية بحذر.
- إبعاد المركبات العضوية جميعها عن أي مصدر للهب؛ فهي قابلة للاشتعال.

خطوات العمل:

1. **أجرب:** أحضر أنبوبي اختبار نظيفين، وأضعهما على حامل الأنابيب، وأرقمهما (1، 2).
2. **أقيس:** أستخدم المخبر المدرج، وأضع 5 mL من محلول تولينز في كل أنبوب اختبار.
3. **أجرب:** أضيف باستخدام القطارة 5 – 10 نقاط من الإيثانال إلى الأنبوب رقم (1)، وأرجه بلطف.
4. **أجرب:** أكرر الخطوة رقم (3) للبروبانون (الأسيتون)، وأضيفه إلى الأنبوب رقم (2).
5. **ألاحظ:** أسخن كلا المحلولين في الحمام المائي الساخن بدرجة 50°C ، مدة 5 min، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.

6. **أنظم البيانات:** أسجل ملاحظاتي في جدول البيانات الآتي:

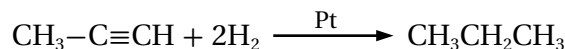
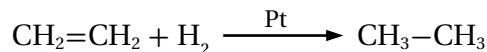
| اسم المركب | التفاعل مع محلول تولينز (يتفاعل أو لا يتفاعل) | دليل حدوث تفاعل |
|---------------------------------------|--|-----------------|
| الإيثانال CH_3CHO | | |
| البروبانون CH_3COCH_3 | | |

التحليل والاستنتاج:

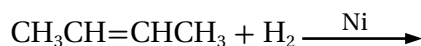
1. **أفسر:** هل يُمثل محلول تولينز عاملاً مؤكسداً أم عاملاً مختزلاً؟
2. أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي حدث.

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 -عاملاً مساعداً- اختزالاً؛ إذ يصاحبه زيادة في عدد ذرات الهيدروجين في كل منهما، كما توضح المعادلات الآتية:



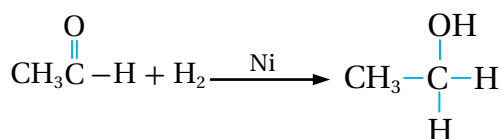
✓ **أنحَقِّق:** أكمل المعادلة الآتية:



اختزال الألددهيدات والكيئونات Reduction of Aldehydes and Ketones

تعلمتُ أن تأكسد الكحول الأولي ينتج ألددهيداً، وأن تأكسد الكحول الثانوي يكون كيئوئاً. ويمكن اختزال كل من الألددهيد والكيئون لتكوين كحول أولي وكحول ثانوي على الترتيب بطريقتين:

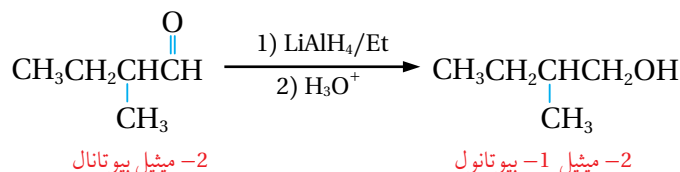
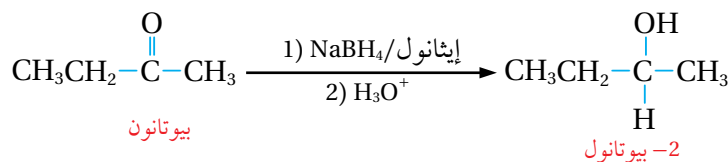
الطريقة الأولى: إضافة الهيدروجين في وجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt؛ إذ يعمل العامل المساعد على إضعاف الرابطة بين ذرتي الهيدروجين؛ فيسهل إضافتهما إلى الرابطة الثنائية في مجموعة الكربونيل، كما توضح المعادلة الآتية:



ألاحظ أن إضافة الهيدروجين إلى الإيثانال CH_3CHO صاحبتُهُ زيادة في عدد ذرات الهيدروجين، أي اختزال الإيثانال؛ إذ كسرت الرابطة π بين ذرتي الكربون والأكسجين في مجموعة الكربونيل، وأضيفت ذرة هيدروجين H إلى كل من ذرة الكربون وذرة الأكسجين، ونتج كحول الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، وهو كحول أولي.

الطريقة الثانية: استخدام عوامل مختزلة، مثل هيدريد الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 ، المذاب في الإيثر الجاف (Et)، أو بوروهيدريد الصوديوم NaBH_4 ، المذاب في الإيثانول. ويعدّ العاملان المختزلان مصدرًا لأيونات الهيدريد H^- ؛

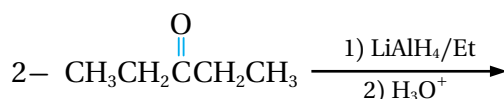
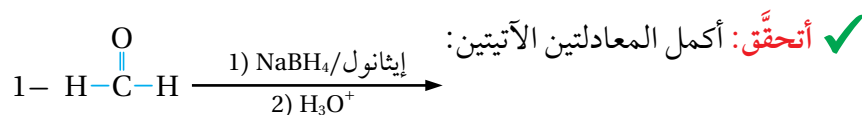
إذ يرتبط أيون H^- بذرة كربون مجموعة الكربونيل التي تحمل شحنة جزئية موجبة، ثم يضاف إلى التفاعل محلول مخفف من حمض مثل H_2SO_4 ؛ فينتج الكحول، والمعادلات الآتية توضح ناتج التفاعل:



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

عملياً يتم التعامل بحذر شديد جداً مع العامل المختزل LiAlH_4 ؛ إذ إنه شديد التفاعل مع الماء؛ لذلك يذاب في الإيثر الجاف، ولا يضاف H_3O^+ إلى التفاعل إلا بعد انتهاء تفاعله مع الألدهايد أو الكيتون، أو الحمض الكربوكسيلي كما سيرد لاحقاً.

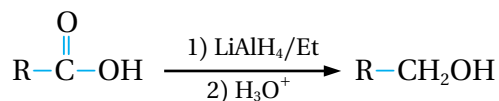
أفكر: أفسّر: تُختزل الكيتونات إلى كحولات ثانوية وليست أولية.



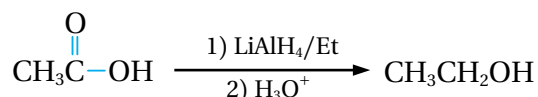
اختزال الحموض الكربوكسيلية Reduction of Carboxylic Acids

تحتوي مجموعة الكربوكسيل $\text{C}(=\text{O})\text{OH}$ المميّزة للحموض الكربوكسيلية على مجموعة كربونيل $\text{C}(=\text{O})$ قابلة للاختزال كما في الألدهيدات والكيتونات؛ لذلك يُختزل الحمض الكربوكسيلي باستخدام عامل مختزل قوي هو: هيدريد الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 المذاب في الإيثر الجاف - ولا يُختزل باستخدام

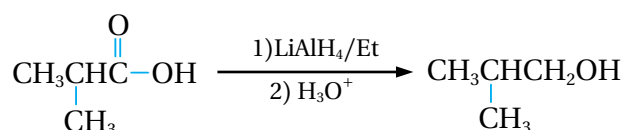
العامل NaBH_4 لأنه أقل قوة - وينتج ألددهايد يُختزل فورَ تَكُونِهِ إلى كحول أولي،
وتكتب المعادلة العامة كالآتي:



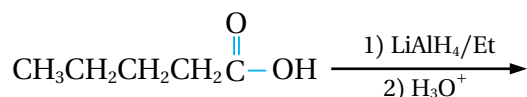
ألاحظ أن اختزال الحمض الكربوكسيلي يرافقه زيادة في عدد ذرات الهيدروجين ونقص في عدد ذرات الأكسجين، فمثلاً: يُختزل حمض الإيثانويك مكوناً الإيثانول وفق المعادلة الآتية:



ويُختزل حمض 2-ميثيل بروبانويك إلى كحول 2-ميثيل -1- بروبانول؛
كما توضح المعادلة الآتية:



✓ **أتحقق:** أكمل المعادلة الآتية :



الربط بالصناعة



حمض الأسيتيك أو حمض الإيثانويك CH_3COOH ؛ هو المكون للخلّ، ويُستخدم ما يقارب ثلث إجمالي حمض الأسيتيك المنتج صناعياً في جميع أنحاء العالم في إنتاج أسيتات الفينيل $\text{CH}_3\text{COOCH}=\text{CH}_2$ ، وهو مركب يستخدم مونومراً لإنتاج مبلمر بولي فينيل أسيتات PVA المكوّن لأصماغ الخشب. ويُستخدم حمض الأسيتيك -أيضاً- في إنتاج إسترات مختلفة منها: أسيتات السليلوز، التي تُستخدم في صناعة الأفلام الفوتوغرافية، ويمكن استخدامه أيضاً في تحضير بعض الأدوية مثل الأسبرين. وقد ثبت أيضاً أن له خصائص مضادة للبكتيريا والفطريات حتى عند تخفيفه، لذلك يُستخدم لتطهير الجروح ومنظفاً للأسطح في المطابخ.

مراجعة الدرس

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

| وجه المقارنة | 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. يُختزل البيوتانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$ 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؟

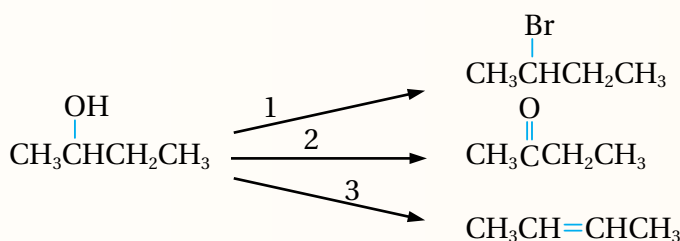
4. أضيفت قطعة صغيرة من الصوديوم إلى كأس يحتوي كحول 1- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$.

أ. أصف ما ألاحظه في التفاعل.

ب. أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي يحدث.

ج. أكتب معادلة كيميائية تمثل تفاعل الناتج السابق مع 1- كلورو بروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$.

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



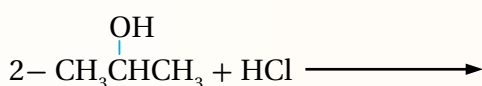
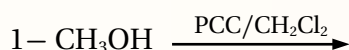
أ. أحدّد نوع كل من التفاعلين (1، 2).

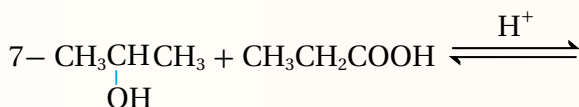
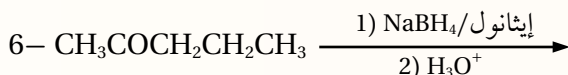
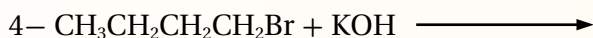
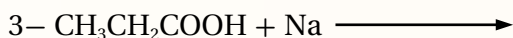
ب. أكتب الصيغة الجزيئية للمواد الكيميائية التي تتفاعل مع 2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCH}_3$ ؛ لتعطي النواتج

في كل من التفاعلين (2، 3).

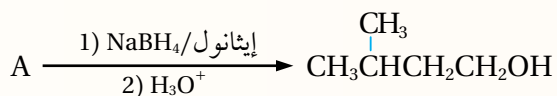
ج. أكتب الظروف المناسبة لحدوث التفاعلين (2، 3).

6. أكمل المعادلات الآتية:





7. أَسْتَنْتِج الصيغة البنائية للمركب A في المعادلة الآتية:



8. أدرس الجدول الآتي الذي يُبين الصيغ البنائية لبعض المركبات العضوية المشار إليها بالأرقام من (1-8)، ثم أجب عما يليه:

| | | | |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 4 | 3 | 2 | 1 |
| $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ |
| 8 | 7 | 6 | 5 |
| $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_3$ | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$ |

أُحَدِّد من الجدول الرقم الذي يشير إلى كل مما يأتي:

أ. مركب ينتج عن تفاعل المركب 2 مع CH_3O^- .

ب. الناتج النهائي لأكسدة المركب 8 باستخدام محلول دايكرومات البوتاسيوم الحمضي $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$.

ج. مركب يتفاعل مع محلول تولينز مكوناً مرآة فضيَّة.

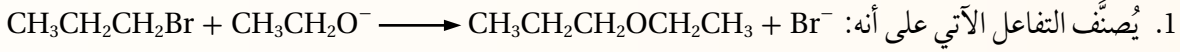
د. مركب يتصبَّن.

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

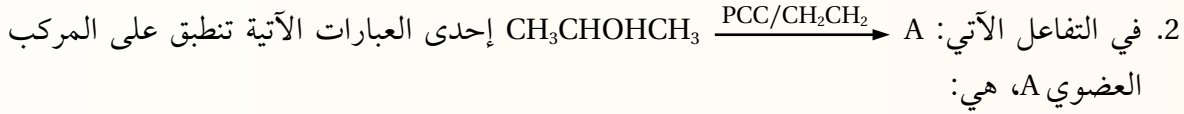
و. مركب ينتج عن أكسدة المركب 8 باستخدام $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$.

ز. مركب يُنتِج المركب 7؛ عند تفاعله مع KOH .

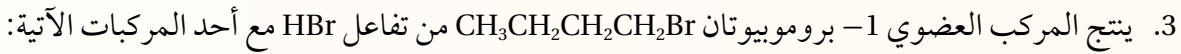
9. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:



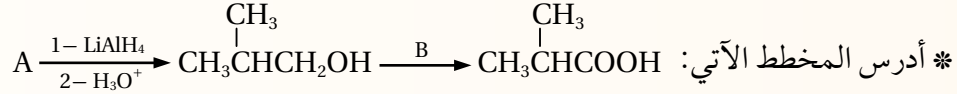
- أ . إضافة إلكتروفيلية. ب. استبدالاً إلكترونياً.
ج. إضافة نيوكليوفيلية. د . استبدالاً نيوكليوفيلي.



- أ . يتفاعل مع الهيدروجين بوجود Ni وينتج 2- بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$.
ب. المجموعة الوظيفية في المركب هي مجموعة الهيدروكسيل.
ج. يتفاعل مع الميثانول CH_3OH وينتج بروبانات الميثيل $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$.
د . يتأكسد باستخدام محلول تولينز في وسط قاعدي.



- أ . $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$ ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
ج. $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$ د . $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$



ثم أجب عن الفقرتين 4 و 5:

4. صيغة المركب A هي:



5. يشير الرمز B إلى:

- أ . $\text{H}_2\text{O}/\text{H}^+, \Delta$ ب. H_2/Ni
ج. $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$ د . $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$

طرائق تحضير المركبات العضوية

Methods of Preparing Organic Compounds

تنتج ملايين المركبات العضوية سنوياً، ولكل منها استخداماته وأهميته على المستوى الصناعي وفي الحياة اليومية؛ فقد أنعم الله على خلقه بكثير من النعم، وجعل لكل من النباتات وثمارها طعماً ورائحة مميزين يعودان إلى أنواع المركبات العضوية التي توجد فيها، مثل: الإسترات، والألديهايدات، وغيرها من المركبات العضوية التي تعرف بالنكهات الطبيعية، وقد تمكّنت فرق البحث من استخلاص كثير من هذه المواد ودراستها والتعرف إلى مكوناتها وخصائصها؛ مما ساعد على تصنيع مواد مشابهة عُرفت بالنكهات الصناعية، حيث تُستخدم 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 تهتم الكيمياء العضوية بدراسة المركبات العضوية وطرائق تحضيرها والصناعات القائمة عليها، أنظر الشكل (19).

الفكرة الرئيسة:

توظف تفاعلات المركبات العضوية في تحضير مواد عضوية جديدة وإنتاجها؛ ولذلك يجري تحضير كثير من المركبات العضوية في المختبرات بطرائق مختلفة بهدف استكشاف طرائق جديدة لإنتاجها على المستوى الاقتصادي.

نتائج التعلم:

- أكتب معادلات كيميائية تبين كيفية تحضير بعض المركبات العضوية.
- أصمم مخططاً لتحضير مركب عضوي جديد بشكل صحيح.

المفاهيم والمصطلحات:

التكسير الحراري Thermal Cracking



الشكل (19): تحضير المركبات العضوية.

تحضير الألكانات Preparation of Alkanes

تُحضّر الألكانات بالتكسير الحراري للنفط والغاز الطبيعي، وتُستخلص بعملية التقطير التجزيئي، كما يمكن تحضيرها بإضافة الهيدروجين إلى الألكين والألكاين.

إنتاج الألكانات بالتكسير الحراري

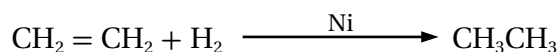
Produce Alkanes by Thermal cracking

يُسخّن خليط النفط إلى درجات حرارة عالية في أبراج ضخمة، أنظر الشكل (20)؛ فتتكسر سلاسل المركبات الهيدروكربونية الطويلة إلى مركبات أصغر في ما يُعرف بعملية **التكسير الحراري Thermal Cracking** التي تؤدي إلى تكوين خليط غازي 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، فمثلاً: عند إجراء تكسير للمركب $C_{12}H_{26}$ ، فإن الجزيء الواحد يتكسر بحيث يكون مجموع عدد ذرات الكربون في الألكان والألكين الناتجين عن تكسيه مساوياً لعدد ذرات الكربون فيه.

تحضير الألكانات من الألكينات

Preparation of Alkanes from Alkenes

يُحضّر الألكان بإضافة الهيدروجين H_2 إلى الألكين فيما يُعرف بعملية الهدرجة التي تُستخدم في هدرجة الزيوت صناعياً إلى دهون مشبعة. حيث يُضاف الهيدروجين H_2 إلى الألكين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt، فمثلاً: يُحضّر الإيثان بإضافة غاز الهيدروجين إلى الإيثين عند درجة حرارة $150^\circ C$ ، كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقّق:** أكتب معادلة كيميائية توضح تحضير البروبان

$CH_3CH_2CH_3$ ؛ باستخدام البروبين $CH_2=CHCH_3$.



الشكل (20): برج التكسير الحراري.



+



+

قاعدة كحولية / تسخين
KOH or NaOH

تسخين مع محلول مركز من
H₃PO₄ أو H₂SO₄

هاليد الكيل
ثانوي أو ثالثي

كحول

الشكل (21): مخطط لتحضير الألكينات من تفاعلات
الحذف في هاليدات الألكيل والكحولات.

تحضير الألكينات Preparation of Alkenes

تُنتج الألكينات صناعياً بالتكسير الحراري للألكانات، وتُحضّر مخبرياً باستخدام تفاعلات الحذف في كل من هاليدات الألكيل RX، أو الكحولات ROH، أنظر الشكل (21).

إنتاج الألكينات بالتكسير الحراري

Produce Alkenes by Thermal Cracking

عرفت في ما سبق أن تكسير السلاسل الكربونية الطويلة للهيدروكربونات يؤدي إلى إنتاج خليط غازي من الألكانات والألكينات، حيث تُفصل المكونات بالاعتماد على درجة غليان كل منها بعملية التقطير التجزيئي. فمثلاً: عند تكسير سلسلة من الديكان C₁₀H₂₂، ينتج خليط من الأوكتان C₈H₁₈ والإيثين C₂H₄، والهبتان C₇H₁₆ والبروبين C₃H₆ وغيرها.

تحضير الألكينات من هاليدات الألكيل

Preparation of Alkenes from Alkyl Halides

يُحضّر الألكين مخبرياً بتسخين هاليد الألكيل الثانوي أو الثالثي مع محلول مركز من أيونات الهيدروكسيد (OH⁻) الناتجة من محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH المذاب في الإيثانول، أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH المذاب في الإيثانول.

الربط بالصناعة



هدرجة الزيوت

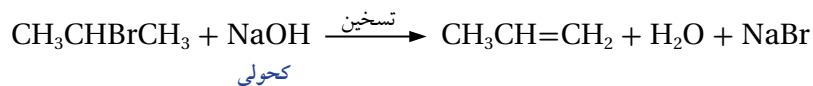
Hydrogenation of Oils

تُعرف الزيوت المهدرجة باسم الدهون الصناعية (السمن)، حيث تُحوّل الزيوت السائلة غير المشبعة إلى زيوت مشبعة على شكل سمن نباتي أو زبدة صلبة؛ 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

يُحضّر البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ، من تسخين 2- برومو بروبان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$ ، مع محلول مركز من هيدروكسيد الصوديوم NaOH الكحولي. أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير البروبين.

الحل:



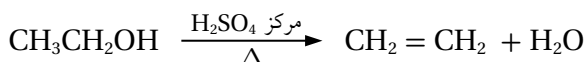
تحضير الألكينات من الكحولات Preparation of Alkenes from Alcohols

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

المثال 2

أكتب معادلة تحضير الإيثين الناتج عن تسخين الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع محلول مركز من حمض الكبريتيك H_2SO_4 .

الحل:



✓ أتحقق:

1- أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 2- بيوتين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$ ؛ باستخدام 2- برومو بيوتان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{CH}_3$ ، ومحلول مركز من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي.

2- أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ؛ بتسخين 2- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ مع محلول حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز.

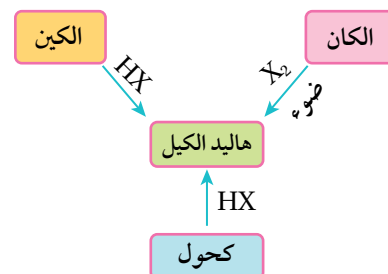
تحضير هاليدات الألكيل Preparation of Alkyl Halide

تُستخدم هاليدات الألكيل في كثير من الصناعات، مثل: صناعة المبيدات الحشرية، ومحاليل المُعقِّمات الطبية، وصناعة طفايات الحريق، وصناعة المبلّمرات، وغيرها. تُحضّر هاليدات الألكيل بطرائق عدة في المختبر، منها: الاستبدال في الألكان (هلجنة الألكان)، وإضافة هاليد الهيدروجين إلى الألكين، والاستبدال في الكحولات، أنظر الشكل (22).

تحضير هاليدات الألكيل من الألكانات

Preparation of Alkyl Halide from Alkanes

تُحضّر هاليدات الألكيل بأن تحل ذرة هالوجين محل ذرة هيدروجين في الألكان بوجود الضوء، مثل تفاعل الميثان مع الكلور Cl_2 ، أو البروم Br_2 ، بوجود الضوء.

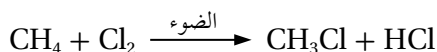


الشكل (22): مخطط لتفاعلات تحضير هاليدات الألكيل.

المثال 3

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

الحل:



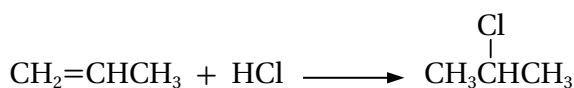
تحضير هاليدات الألكيل من الكينات Preparation of Alkyl Halides from Alkenes

يُحضّر هاليد الألكيل RX ؛ بإضافة هاليد الهيدروجين إلى الألكين؛ وفق قاعدة ماركو فينكوف.

المثال 4

يُحضّر 2-كلوروبروبان $\text{CH}_3\text{CHClCH}_3$ بإضافة كلوريد الهيدروجين HCl ، إلى البروبين $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$. أكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الحاصل.

الحل:

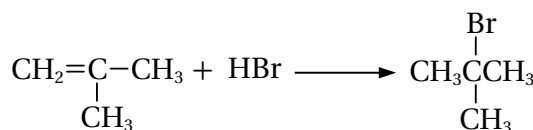


المثال 5

أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير المركب 2-برومو-2-ميثيل بروبان $\text{CH}_3\overset{\text{Br}}{\underset{|}{\text{C}}}\text{CH}_3$

بإضافة بروميد الهيدروجين HBr إلى 2-ميثيل بروبين $\text{CH}_2=\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}_3$.

الحل:



تحضير هاليدات الألكيل من الكحولات

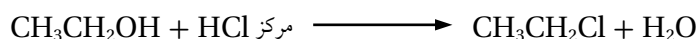
Preparation of Alkyl Halides from Alcohols

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

المثال 6

يُحضّر كلورو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ؛ بتفاعل الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع حمض الهيدروكلوريك HCl المركّز. أكتب معادلة كيميائية للتفاعل الحاصل.

الحل:

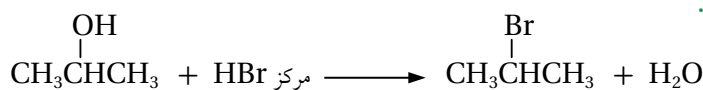


المثال 7

أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 2- بروموبروبان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$ من

تفاعل 2- بروبانول $\text{CH}_3\overset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{CH}_3$ مع حمض HBr المركّز.

الحل:



2- بروبانول

2- بروموبروبان

أتحقق: ✓

1- أكتب معادلة كيميائية لتحضير برومو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ بتفاعل الإيثان

CH_3CH_3 ، مع البروم Br_2 ؛ بوجود الضوء.

2- أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 2- كلورو -2- ميثيل بروبان $\text{CH}_3\overset{\text{Cl}}{\text{C}}\text{CH}_3$

من تفاعل 2- ميثيل -2- بروبانول $\text{CH}_3\overset{\text{OH}}{\text{C}}\text{CH}_3$ مع حمض الهيدروكلوريك HCl المركّز.



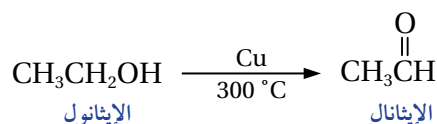
أصمّم، باستخدام

برنامج سكراتش scratch عرضًا
يوضح طرائق تحضير هاليدات
الألكيل مع توظيف أمثلة مناسبة،
وأشاركه زملائي / زميلاتي.

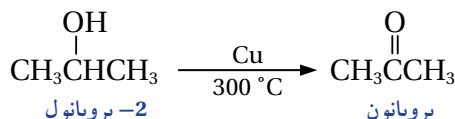
Preparation of Aldehyde and Ketone تحضير الألديهaid والكيتون

تعدّ تفاعلات التأكسد من الطرق الرئيسة لتحضير الألديهيدات والكي-tonات التي تُستخدم في المجالات الصناعية المتعددة في حياتنا اليومية؛ فُستخدم الألديهيدات في صناعة العطور، والمنظفات، والصابون، كما تُستخدم الكي-tonات في صناعة المنسوجات، والأصماغ، ومذيبات الدهانات، وغيرها.

تُحضّر الألديهيدات والكي-tonات صناعيًّا بتسخين الكحولات الأولية أو الثانوية عند درجة حرارة 300 °C، بوجود فلزّ النحاس الذي يعمل عاملاً مساعداً لنزع الهيدروجين، فمثلاً: يتأكسد الإيثانول بوجود النحاس وفق المعادلة الآتية:



وكذلك يتأكسد الكحول الثانوي 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ بوجود النحاس؛
وفق المعادلة الآتية:

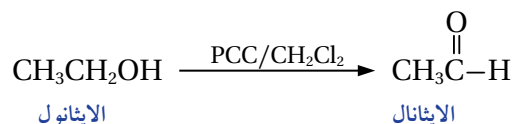


أما في المختبر؛ فهناك طرائق عدة لتحضير كل من الألديهيدات والكي-tonات، من أشهرها: أكسدة الكحول الأولي باستخدام كلوروكرومات البيريدينوم PCC المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2 ، وينتج الألديهيد.

المثال 8

يتأكسد الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ باستخدام كلوروكرومات البيريدينوم PCC المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2 ، وينتج الإيثانال CH_3CHO .
أكتب معادلة التفاعل الحاصل.

الحل:



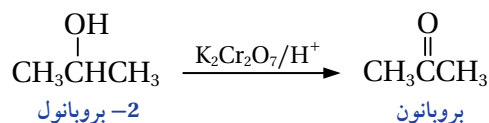
في حين يتأكسد الكحول الثانوي باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، في وسط حمضي أو باستخدام المركب PCC المذاب في CH_2Cl_2 ، وينتج الكيتون.

أفكر: أصمم مخططاً لسلسلة التفاعلات المستخدمة في تحضير الإيثانال بدءاً من الإيثين.

المثال 9

يتأكسد 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ في وسط حمضي، وينتج البروبانون CH_3COCH_3 . أكتب معادلة التفاعل الحاصل.

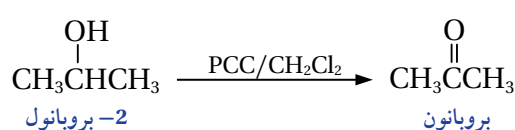
الحل:



المثال 10

أكتب معادلة أكسدة 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ باستخدام كلوروكرومات البيريدينوم PCC المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2 ، لتحضير البروبانون CH_3COCH_3 .

الحل:

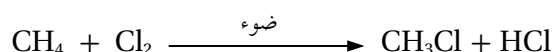


المثال 11

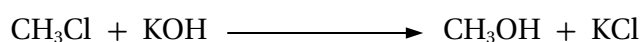
أكتب معادلات تبين تحضير الميثانال CH_2O ، باستخدام الميثان CH_4 ، وبوجود الضوء وكل من المواد الآتية: Cl_2 , KOH , PCC , CH_2Cl_2

الحل:

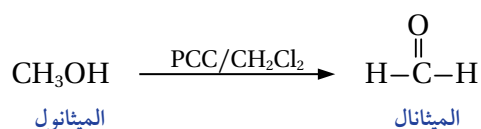
يتفاعل الميثان CH_4 مع الكلور Cl_2 ، بوجود الضوء لتكوين كلوروميثان CH_3Cl ؛ كما في المعادلة الآتية:



ثم يتفاعل كلوروميثان CH_3Cl مع القاعدة KOH لتكوين الميثانول CH_3OH ، كما في المعادلة الآتية:



يتأكسد الميثانول CH_3OH باستخدام العامل المؤكسد PCC، وبوجود CH_2Cl_2 ، وينتج الميثانال؛ كما في المعادلة الآتية:

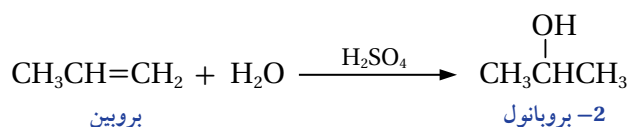


أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير البروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ باستخدام البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ، والمواد غير العضوية الآتية: H_2SO_4 , H_2O , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

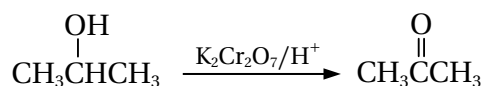
الحل:

يُحضّر البروبانول من أكسدة 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ، وهو كحول ثانويّ يمكن الحصول عليه من إضافة الماء إلى البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ، والمعادلات الآتية توضح ذلك:

يضاف الماء إلى البروبين بوجود حمض H_2SO_4 ؛ فينتج 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ، كما في المعادلة الآتية:



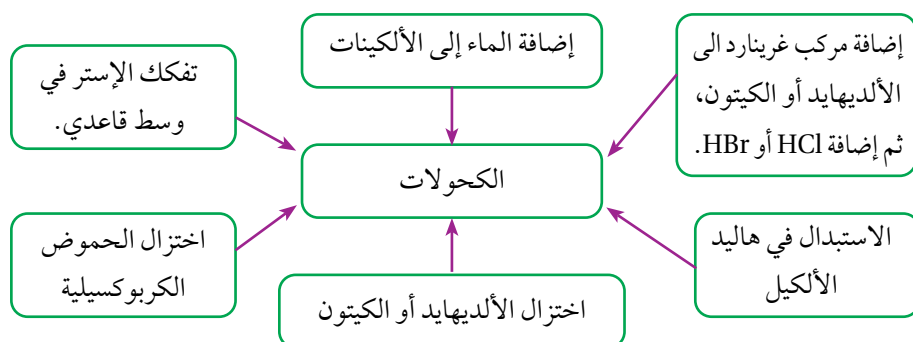
ثم يتأكسد 2-بروبانول باستخدام العامل المؤكسد $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، بإضافة قطرات من الحمض؛ فينتج البروبانول كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقّق:** أصمّم مخططاً يبيّن صيغ المركبات العضوية الناتجة من سلسلة التفاعلات الكيميائية التي تجري لتحضير البيوتانول $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$ ؛ من 1-كلورو بيوتان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ، باستخدام مصدر حرارة والمواد الآتية: H_2SO_4 , H_2O ، مُركّز $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، KOH

تحضير الكحولات Preparation of Alcohols

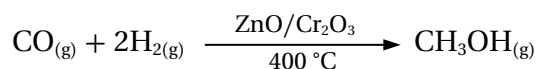
تعدّ الكحولات من أشهر المركبات العضوية، ولها أهمية كبيرة في الكيمياء العضوية، ويمكن تحضيرها من عدد من المركبات العضوية، أنظر الشكل (23).



الشكل (23): تحضير الكحولات من مركبات عضوية.

يعدّ كل من الميثانول CH_3OH ، والإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، أبسط أنواع الكحولات، ولهما أهمية في الصناعات المختلفة، لذلك يجري تحضيرهما صناعياً بكميات تجارية.

يُحضّر الميثانول صناعياً عن طريق هدرجة غاز أول أكسيد الكربون CO عند درجة حرارة 400°C ، وبوجود أكسيد الخارصين ZnO ، أو أكسيد الكروم Cr_2O_3 ، بوصف كل منهما عاملاً مساعدًا، كما في المعادلة الآتية:



يُحضّر الإيثانول صناعياً؛ بتخمير الجلوكوز الموجود في الذرة، أو العنب، أو الشعير، باستخدام أنزيمات الخميرة، كما في المعادلة الآتية:

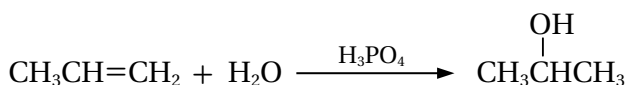


تحضير الكحولات من الألكينات Preparation of Alcohols from Alkenes

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 $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ باستخدام البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ، والماء، وحمض الفسفوريك H_3PO_4 .
أكتب معادلة التفاعل الحاصل.



✓ **أنتحقق:** أكتب معادلة تحضير 2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$ من تفاعل 1- بيوتين $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$ مع الماء، بوجود حمض الكبريتيك H_2SO_4 .

تحضير الكحولات من هاليدات الألكيل

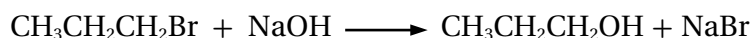
Preparation of Alcohols from Alkyl Halides

يُحضَّر الكحول الأولي من تفاعل هاليد الألكيل الأولي مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH، أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

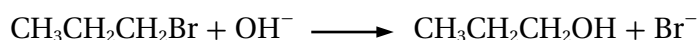
المثال 14

أكتب معادلة كيميائية تبين ناتج تفاعل 1- برومو بروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ مع محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH.

الحل:



ويمكن كتابة المعادلة على النحو الآتي:



✓ **أتحقق:** أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، إذا توافر في المختبر الإيثان CH_3CH_3 ، والكلور Cl_2 ، والضوء، ومحلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

أفكر: يصعب تحضير المركب

2- بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$

مباشرة من تفاعل 2- كلورو بروبان

$\text{CH}_3\text{CHClCH}_3$.

تحضير الكحولات من الألددهيدات أو الكيتونات

Preparation of Alcohols from Aldehydes or Ketones

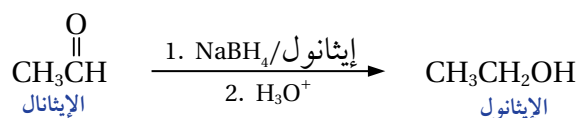
يُحضَّر الكحول باختزال الألددهيدات أو الكيتون باستخدام عوامل مختزلة، مثل هيدريد الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 ، في وسط من الإيثر الجاف، أو بورو هيدريد الصوديوم NaBH_4 مذاباً في الإيثانول، ثم إضافة محلول مخفف من حمض H_2SO_4 ؛ إذ يؤدي اختزال الألددهيدات إلى إنتاج كحول أولي، بينما يؤدي اختزال الكيتون إلى إنتاج كحول ثانوي.

المثال 15

أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير الإيثانول بتفاعل الإيثانال CH_3CHO مع بورو هيدريد الصوديوم NaBH_4 ، ثم يضاف إليه محلول مخفف من حمض الكبريتك H_2SO_4 .

الحل:

يُحْضَرُ الْإِثْنَانُ بِاخْتِزَالِ الْإِثْنَانِ كَمَا فِي الْمَعَادِلَةِ الْآتِيَةِ:

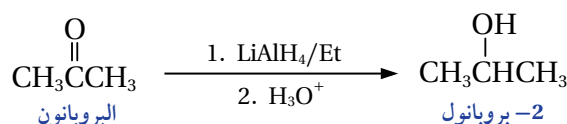


المثال 16

أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ، من البروبانون، باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 .

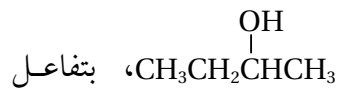
الحلّ:

يُحْضَر 2- بروبانول باختزال البروبانول كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقّق:** أكتب معادلة كيميائية

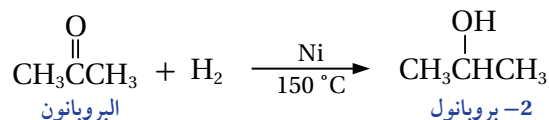
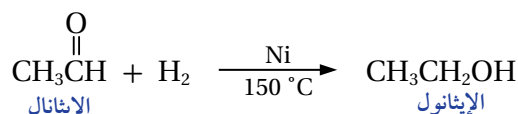
تین تحضیر 2- بیوتانول



$\text{CH}_3\text{CH}_2\overset{\text{O}}{\parallel}\text{CCH}_3$ البيوتانون

مع بوروهيدريد الصوديوم
NaBH₄.

كما يمكن الحصول على الكحولات صناعياً باختزال الألدهيدaid والكيتون أيضاً؛ بإضافة غاز الهيدروجين إلى كلٍّ منهما بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni، عند درجة حرارة 150 °C، والمعادلتان الآتيتان توضحان اختزال كلٍّ من الإيثانال والبروبانون:



تحضير الكحولات من الحموض الكربوكسيلية

Preparation of Alcohols from Carboxylic Acids

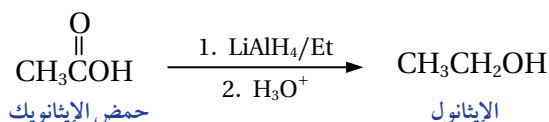
يُحضَّر الكحول الأولي باختزال الحمض الكربوكسيلي باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 ، المذاب في الإيثر الجاف، حيث يُختزل الحمض الكربوكسيلي وينتج الكحول الأولي.

المثال 17

أكتب معادلة كيميائية لتحضير الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، من حمض الإيثانويك CH_3COOH ؛ باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 .

الحل:

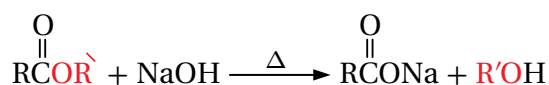
يُحضَّر الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ باختزال حمض الإيثانويك CH_3COOH ، في وسط جاف من الإيثر، ثم إضافة قطرات من محلول حمض مخفف، كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقق:** أكتب معادلة كيميائية تبين تحضير 1-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ من حمض البروبانويك $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COH}$ ، بوجود هيدريد الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 ، والإيثر وحمض H_2SO_4 المخفف.

تحضير الكحولات من الإسترات Preparation of Alcohols from Esters

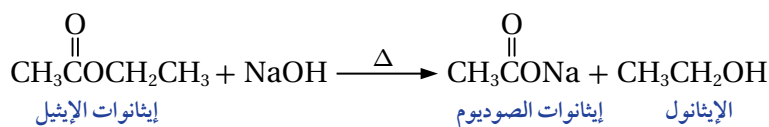
يتفكك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH ؛ وينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي.



المثال ١٨

أكتب معادلة كيميائية لتحضير الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ بتسخين إيثانوات الإيثيل $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$ مع محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH .

الحل:



✓ **أنتحقق:** أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير الميثانول بتسخين إستر إيثانوات الميثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH .

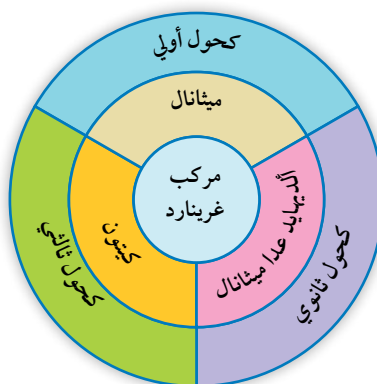
تحضير الكحولات باستخدام مركبات غرينارد

Preparation of Alcohols from Grinard's Compounds

عرفت سابقاً أن مركب غرينارد RMgX ينتج من تفاعل هاليد ألكيل RX مع المغنيسيوم بوجود الإثير الجاف.

تتفاعل مركبات غرينارد RMgX مع كل من الألددهايد RCHO ، والكيون RCOR ؛ وينتج الكحول ROH ، وتعدّ هذه التفاعلات من أشهر الطرائق المتبعة في تحضير الكحولات، ويكون عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج مساوياً لمجموع عدد ذرات الكربون في كل من مركب غرينارد والألددهايد أو الكيون. يعتمد نوع الكحول الناتج على نوع الألددهايد أو الكيون المتفاعل، ويبيّن الشكل (24) مخططاً عاماً لنواتج تفاعلات الألددهايد أو الكيون مع مركب غرينارد.

الشكل (24): مخطط عام
لنواتج تفاعلات مركبات
الكربونيل مع مركب
غرينارد.

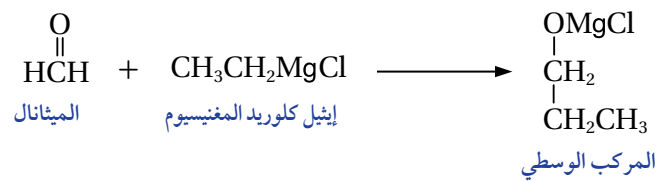


المثال 19

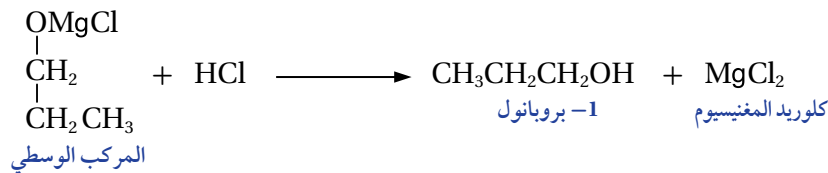
أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير 1- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ من تفاعل الميثانال CH_2O مع إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$.

الحل:

المركب $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ هو كحول أولي؛ عدد ذرات الكربون فيه يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في كل من مركب غرينارد $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، حيث عدد ذرات الكربون فيه يساوي 2، والميثانال الذي عدد ذرات الكربون فيه يساوي 1، وبهذا يمكن تحضير 1- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ بإضافة مركب غرينارد $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، إلى الميثانال CH_2O ؛ وينتج المركب الوسيط كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل المركب الوسيط الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl ؛ وينتج الكحول 1- بروبانول؛ كما في المعادلة الآتية:

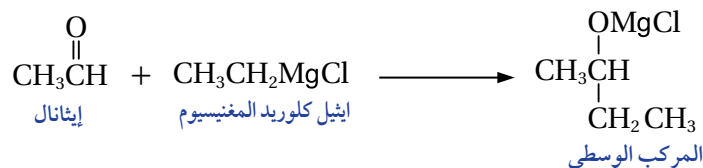


المثال 20

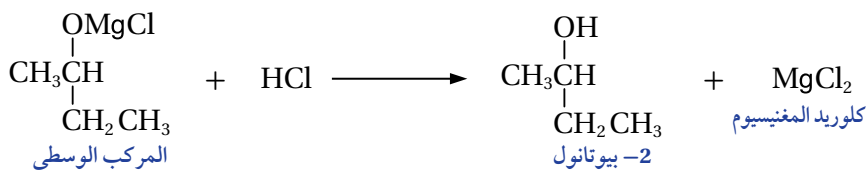
أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير 2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ من تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، مع الإيثانال CH_3CHO .

الحل:

المركب $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ 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 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، والأخرين مصدرهما الإيثانال CH_3CHO . وبذلك يُحضّر المركب 2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ بإضافة إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ إلى الإيثانال CH_3CHO ؛ وينتج المركب الوسيط كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل المركب الوسيط الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl، وينتج 2- بيوتانول؛ كما في المعادلة الآتية:



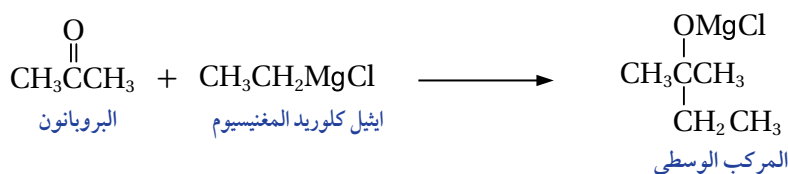
المثال 21



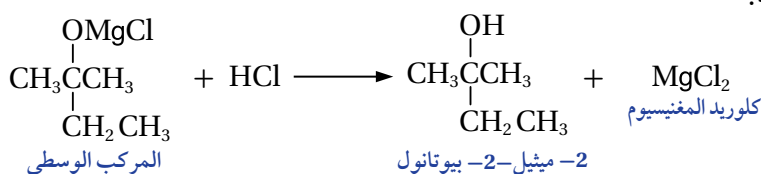
يُحضّر من تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ مع البروبانون CH_3COCH_3 . أكتب معادلات كيميائية توضح ذلك.

الحل:

المركب $\begin{array}{c} \text{OH} \\ | \\ \text{CH}_3\text{CCH}_2\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$ كحول ثالثي يتكون من خمس ذرات كربون، تساوي مجموع عدد ذرات الكربون في إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، والبروبانون CH_3COCH_3 ، حيث يضاف إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، إلى البروبانون CH_3COCH_3 ، وينتج مركب وسطي، كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل المركب الوسيط الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl، وينتج الكحول المطلوب، كما في المعادلة الآتية:



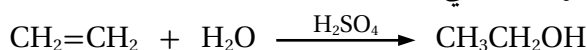
أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2-بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ ؛ إذا توافر الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، و $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، والمواد الآتية: Et , Mg , HCl , H_2SO_4 , H_2O .

الحل:

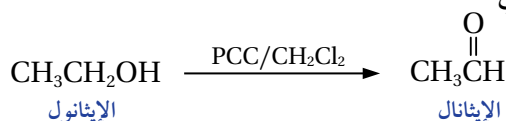
الكحول المطلوب تحضيره 2- بيوتانول هو كحول ثانوي، ويتكون من أربع ذرات كربون؛ أي ضعف عدد ذرات الكربون في الإيثين. ولتحضيره أستخدم مركب غرينارد؛ وألديهايداً، ويكون عدد ذرات الكربون فيهما يساوي أربع ذرات؛ لذا أستخدم مركب غرينارد وألديهايداً يتكون كل منهما من ذرتي كربون.

أقسم الكمية المتوافرة من الإيثين إلى قسمين؛ أستخدم أحدهما لتحضير الألديهايد (الإيثانال)، وأستخدم القسم الآخر لتحضير مركب غرينارد (إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$).

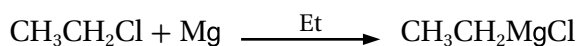
يمكن الحصول على الإيثانال من أكسدة كحول أولي؛ ولذلك أضيف الماء إلى الإيثين بوجود حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، للحصول على الإيثانول كما يأتي:



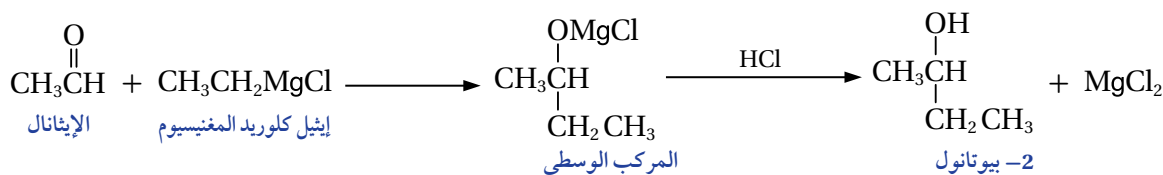
أُجري أكسدة الإيثانول باستخدام كلورو كرومات البيريدينوم المذاب في ثنائي كلوروميثان $\text{PCC} \backslash \text{CH}_2\text{Cl}_2$ للحصول على الإيثانال كما يأتي:



أحضّر مركب غرينارد (إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$) من تفاعل هاليد الألكيل مع المغنيسيوم، بوجود الإثير الجاف؛ ولذلك أحضّر هاليد الألكيل (كلورو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$) بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl ، إلى الإيثين، ثم أُجرى تفاعل كلورو إيثان الناتج مع المغنيسيوم بوجود الإثير، فينتج إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ؛ كما يأتي:



أضيف مركب غرينارد الناتج إلى الإيثانال، فينتج المركب الوسيط الذي يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك لتكوين الكحول المطلوب، كما يأتي:

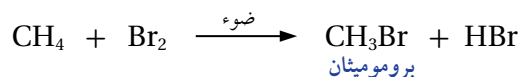


أكتب المعادلات الكيميائية التي توضح كيفية تحضير الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ من الميثان CH_4 بوجود الضوء، والمواد الآتية: الإيثر، $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، HBr ، NaOH ، Mg ، Br_2

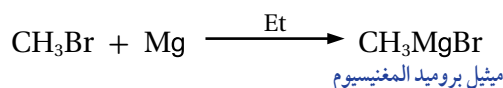
الحل:

المركب المطلوب تحضيره هو الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، وهو كحول أولي، وعدد ذرات الكربون فيه أكبر من الميثان، ولا يمكن أن ينتج إلا بتفاعل الميثانال مع مركب غرينارد؛ ولتحضيره أحضر مركب غرينارد أولاً، ثم أحضر الميثانال، وأجري تفاعلهما معاً كي أحصل على الإيثانول.

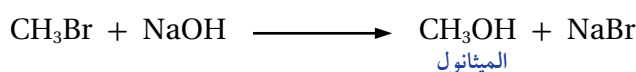
يتفاعل الميثان مع الهالوجين؛ مثل البروم بالاستبدال لتكوين هاليد الألكيل كما في المعادلة:



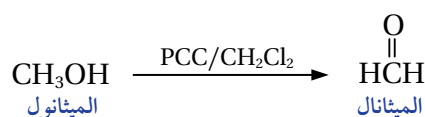
أقسم المركب برومو ميثان CH_3Br الناتج إلى قسمين؛ أستخدم أحدهما لتحضير مركب غرينارد ميثيل بروميد المغنيسيوم CH_3MgBr ، كما يأتي:



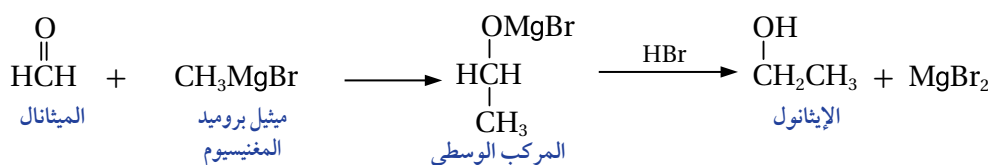
في حين أستخدم القسم المتبقي من برومو ميثان CH_3Br ، لتحضير الميثانال CH_2O ، حيث يتفاعل CH_3Br مع NaOH ، وينتج الميثانول CH_3OH ، كما يأتي:



وبعدها أُجري أكسدة الميثانول؛ باستخدام كلورو كرومات البيريدينوم $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، لتكوين الميثانال كما يأتي:



ثم أضيف ميثيل بروميد المغنيسيوم إلى الميثانال؛ فينتج المركب الوسيط، ثم أفاعله مع حمض HBr ، فيتكون كحول الإيثانول المطلوب؛ كما في المعادلات الآتية:



أكتب المعادلات التي تبين تحضير 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ؛ من: الميثان CH_4 والإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، بوجود الضوء، والمواد الآتية: الماء، الإيثير، Cl_2 ، Mg ، H_2SO_4 ، $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$.

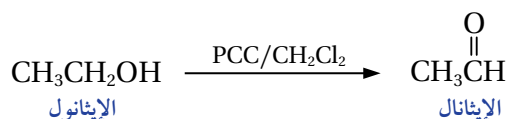
الحلّ:

الكحول المراد تحضيره 2- بروبانول هو كحول ثانوي، وعدد ذرات الكربون فيه أكبر من عددها في أي من المركبين العضويين المتوافرين، ويساوي مجموع عددها في كل من المركبين، ولتحضير هذا المركب؛ تُستخدم طريقة غرينارد، إذ يُحضّر ألديهايد ومركب غرينارد أولاً، ثم تجري مفاعلتهم معاً. ولما كان الكحول المطلوب ثانوياً؛ فإنه يلزم تحضيره ألديهايد عدا الميثانال، ولذلك؛ يُستخدم المركب $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، لتحضير الألديهايد CH_3CHO ، ويُستخدم المركب CH_4 لتحضير مركب غرينارد ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl ، كما يأتي:

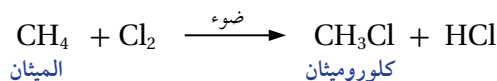
أضيف الماء إلى الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ للحصول على كحول الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، كما في المعادلة الآتية:



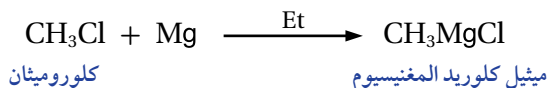
ثم يؤكسد الإيثانول باستخدام كلورو كرومات البيريدينوم $\text{PCC} \backslash \text{CH}_2\text{Cl}_2$ للحصول على الإيثانال كما يأتي:



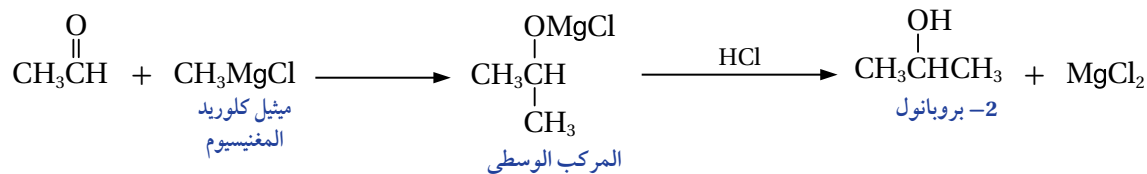
يتفاعل الميثان مع الكلور Cl_2 بالاستبدال؛ فينتج كلورو ميثان CH_3Cl ، كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل كلوروميثان CH_3Cl ، مع المغنيسيوم Mg ؛ بوجود الإيثر للحصول على مركب غرينارد (ميثيل كلوريد المغنيسيوم) كما في المعادلة الآتية:



أضيف ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl إلى الإيثانال CH_3CHO ؛ فينتج المركب الوسيط، ثم أُجري تفاعله مع الحمض HCl ، فيتكون 2-بروبانول، كما في المعادلات الآتية:

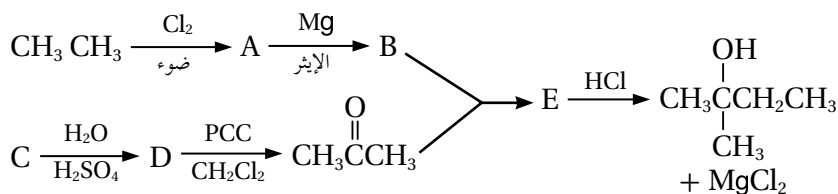




أصمّم باستخدام

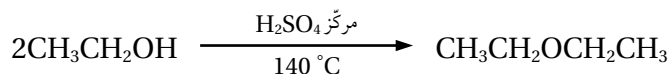
الكاميرا الرقمية فيلماً أوضح فيه بعض الأمثلة التي أوظف فيها أنواع التفاعلات العضوية في تحضير بعض المركبات العضوية في المختبر مثل الكحولات، ثم أشاركه زملائي / زميلاتي.

✓ **أنتحقّق:** أكتب صيغ المركبات العضوية A, B, C, D, E, الناتجة من سلسلة التفاعلات المبينة في المخطط الآتي:



تحضير الإثيرات Preparation of Ethers

يُحضّر العديد من الإثيرات صناعياً؛ ومن أهمها: ثنائي إيثيل إثير $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$ الذي يُستخدم مديباً عضوياً في كثير من التفاعلات، ويُحضّر صناعياً بتسخين الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 ، إلى درجة حرارة تصل 140°C ، والمعادلة الآتية توضح ذلك:



أما في المختبر؛ فتُحضّر الإثيرات بشكل أساسي بتفاعل هاليد الألكيل الأولي RX ، مع مركبات ألكوكسيد، مثل ألكوكسيد الصوديوم R-ONa ، حيث يحلّ أيون ألكوكسيد RO^- محلّ أيون الهالوجين.

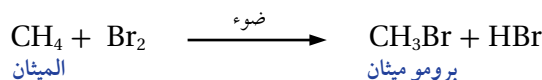
المثال 25

أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير ثنائي ميثيل إثير $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ ؛ بوجود الضوء والمواد الآتية:

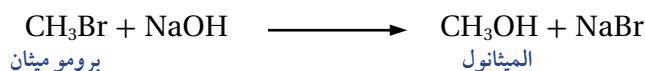
NaOH , Br_2 , Na , CH_4

الحلّ:

ثنائي ميثيل إثير $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ ، المراد تحضيره يتكون من مجموعتي 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:



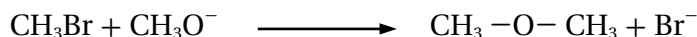
أقسم المركب بروموميثان إلى قسمين؛ أحفظ بأحدهما، وأستخدم الآخر لتحضير أيون الميثوكسيد، حيث أُجري تفاعل بروموميثان مع هيدروكسيد الصوديوم؛ فينتج الميثانول CH_3OH ، كما يأتي:



ثم أُجري تفاعل الميثانول CH_3OH ، مع الصوديوم Na ، فينتج ميثوكسيد الصوديوم CH_3ONa ؛ كما في المعادلة الآتية:



وبعدها أُجري تفاعل بروموميثان CH_3Br مع ميثوكسيد الصوديوم CH_3ONa ، الذي يتأين ويُنتج أيون CH_3O^- الذي يحل محل ذرة الهالوجين Br في بروموميثان، وينتج ثنائي ميثيل إيثر $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ ؛ كما في المعادلة الآتية:

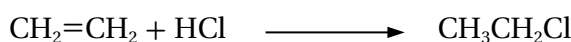


المثال 26

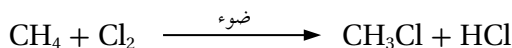
أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير إيثيل ميثيل إيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$ ، إذا توافر في المختبر الميثان CH_4 والإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ؛ وبوجود الضوء والمواد الآتية: NaOH , HCl , Cl_2 , Na .

الحل:

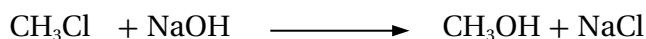
الإيثر المراد تحضيره هو إيثيل ميثيل إيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$ ، ويتكون من مجموعتي الألكيل مختلفتين؛ إحداهما CH_3 ، والأخرى CH_3CH_2 ، ولذلك؛ يُستخدم أحد المركبين العضويين لتحضير هاليد الألكيل RX ، ويُستخدم الآخر لتحضير مركب الألكوكسيد RONa ، ولذلك أُضيف HCl إلى الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ؛ فينتج كلورو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ، كما في المعادلة الآتية:



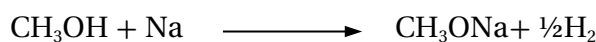
ثم أستخدم الميثان CH_4 لتحضير الألكوكسيد CH_3ONa ، حيث يتفاعل الميثان مع الكلور Cl_2 ، بوجود الضوء عن طريق تفاعل الاستبدال، وينتج كلورو ميثان CH_3Cl ؛ كما في المعادلات الآتية:



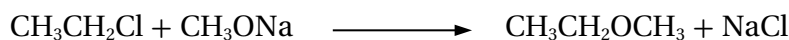
ثم أُجري تفاعل كلورو ميثان CH_3Cl ، مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH ؛ فينتج الميثانول CH_3OH ، كما يأتي:



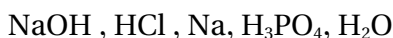
بعد ذلك؛ أُجري تفاعل الميثانول CH_3OH ، مع الصوديوم Na ؛ فينتج ميثوكسيد الصوديوم CH_3ONa .



ثم أُجري تفاعل كلورو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ، مع ميثوكسيد الصوديوم؛ فينتج إيثيل ميثيل إيثر؛ كما في المعادلة الآتية:

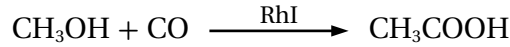


✓ **أتحقق:** أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير الإيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3$ ، إذا توافر في المختبر 1- كلورو بروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ، والإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، والمواد الآتية:

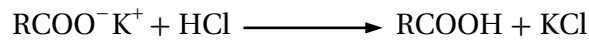


تحضير الحموض الكربوكسيلية Preparation of Carboxylic Acids

يُحضَّر حمض الإيثانويك صناعياً 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:



وتُحضَّر الحموض الكربوكسيلية في المختبر بطرائق عدة، منها: أكسدة الكحولات الأولية أو أكسدة الألددهيدات باستخدام عوامل مؤكسدة قوية، مثل دايكرومات الصوديوم $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، أو دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ في وسط حمضي، وتُحضَّر أيضاً 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 مفاعلاته مع محلول مخفف من حمض الهيدروكلوريك HCl ؛ فينتج الحمض الكربوكسيلي، كما في المعادلة العامة الآتية:

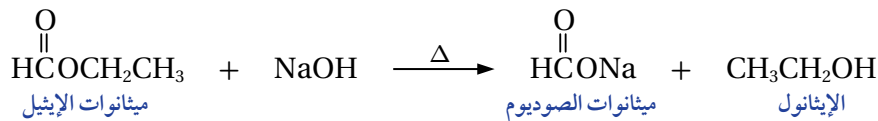


المثال 27

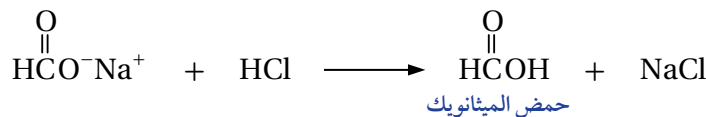
أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير حمض الميثانويك HCOOH ؛ من ميثانات الإيثيل $\text{HCOOCH}_2\text{CH}_3$ ، باستخدام قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH ، وحمض الهيدروكلوريك HCl .

الحل:

يُحضَّر حمض الميثانويك بتسخين ميثانات الإيثيل مع محلول القاعدة NaOH ، وينتج الإيثانول وميثانات الصوديوم؛ كما في المعادلة الآتية:



يضاف حمض الهيدروكلوريك HCl إلى محلول ميثانات الصوديوم المتبقي، وينتج حمض الميثانويك HCOOH ، كما في المعادلة الآتية:

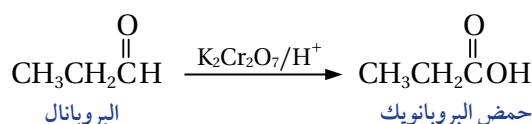


المثال 28

أكتب معادلات كيميائية تبين أكسدة البروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ للحصول على حمض البروبانويك $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$.

الحل:

يُحضّر حمض البروبانويك $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ؛ بأكسدة البروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ في وسط حمضي (H^+)، كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقق:** أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير حمض الميثانويك HCOOH مخبرياً؛ من الميثان CH_4 ، بوجود الضوء، والمواد الآتية: NaOH , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$, Cl_2

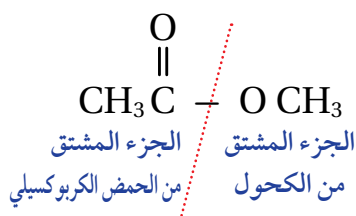
تحضير الإسترات Preparation of Esters

تُستخدم عملية الأسترة في تحضير كثير من المركبات العضوية ذات الأهمية الكبرى في حياتنا، مثل: الأسبرين، ومضافات لتحسين الوقود، ومُنكّهات غذائية، وفي صناعة النسيج، وتُستخدم في صناعة الصابون، والمنظّفات، وغيرها. يُحضّر الإستر في المختبر بتفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول في وسط حمضي (محلول حمض الكبريتيك H_2SO_4)، وهي أيضاً العملية الأكثر شيوعاً صناعياً.

المثال 29

أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير إيثانوات الميثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ ، في المختبر إذا توافر CH_4 , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ والضوء والمواد الآتية: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KOH , H_2SO_4 , Br_2

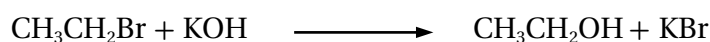
الحل:



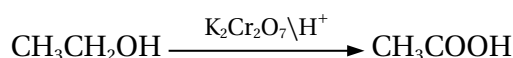
المركب $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ هو إستر ينتج من تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول في وسط حمضي، وبالتدقيق في صيغته؛ يمكن تحديد الجزء المشتق من الحمض والجزء المشتق من الكحول كما يأتي:

ألاحظ أن الجزء المشتق من الحمض يتكون من ذرتي كربون؛ ولذلك أستخدم المركب $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ ، 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:

أُجري تفاعل برومو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ ، مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH ، فينتج الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، كما في المعادلة الآتية:

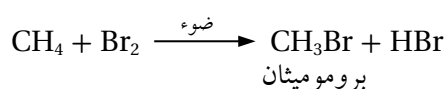


ثم يؤكسد الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، في وسط حمضي، فينتج حمض الإيثانويك CH_3COOH ، كما في المعادلة الآتية:

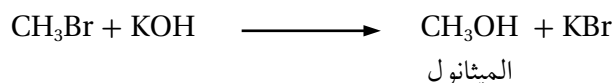


ثم يُحضّر الميثانول CH_3OH من الميثان CH_4 كما يأتي:

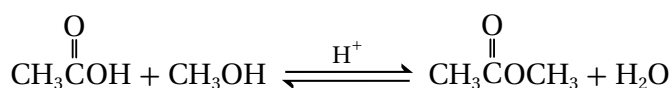
أُجري تفاعل الميثان CH_4 مع البروم بوجود الضوء؛ فينتج بروموميثان CH_3Br ، كما يأتي:



ثم أُجري تفاعل بروموميثان CH_3Br ، مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH ؛ فينتج الميثانول CH_3OH ، كما في المعادلة الآتية:



بعدها أُجري تفاعل الميثانول CH_3OH ، مع حمض الإيثانويك CH_3COOH في وسط حمضي، فينتج الإستر $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ ؛ كما في المعادلة الآتية:



✓ **أنتحقق:** أكتب معادلات كيميائية تبين تحضير إيثانوات الإيثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ ؛ بدءًا من الإيثانال

CH_3CHO ، وباستخدام المواد الآتية: Ni , H_2 , H_2SO_4 مركز، $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$

تحضير الإستر

المواد والأدوات:

أنبوب اختبار، كأس زجاجية 250 mL، كأس زجاجية 50 mL، سخان كهربائي، مخبر مدرج، حامل أنابيب، قطارة، ماسك أنابيب، محلول حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 ، حمض الإيثانويك المركز CH_3COOH ، الإيثانول CH_3CH_2OH .

إرشادات السلامة:

- اتباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- الحذر من استنشاق الحموض أو لمسها باليد؛ فهي مواد كاوية.

خطوات العمل:

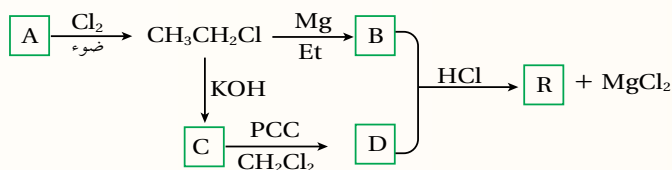
1. أضع 200 mL من الماء في الكأس الزجاجية ذات السعة 250 mL، وأضعها على السخان الكهربائي، وأبدأ عملية التسخين.
2. **أقيس:** أستخدم المخبر المدرج في قياس 5 mL من محلول حمض الإيثانويك؛ ثم أضعها في أنبوب الاختبار.
3. **أقيس:** أستخدم المخبر المدرج في قياس 5 mL من محلول الإيثانول، ثم أضيفها إلى حمض الإيثانويك في أنبوب الاختبار.
4. أضيف - باستخدام القطارة - ثلاث قطرات من حمض الكبريتيك إلى الخليط في أنبوب الاختبار.
5. **الاحظ:** أمسك أنبوب الاختبار بالماسك وأغمسه داخل الكأس الزجاجية الموجودة على السخان الكهربائي، وانتظر حتى غليان الخليط. ما الرائحة الناتجة؟
6. أرفع أنبوب الاختبار من الكأس الزجاجية عندما يبدأ الماء بالغليان، وأضعه على حامل الأنابيب.

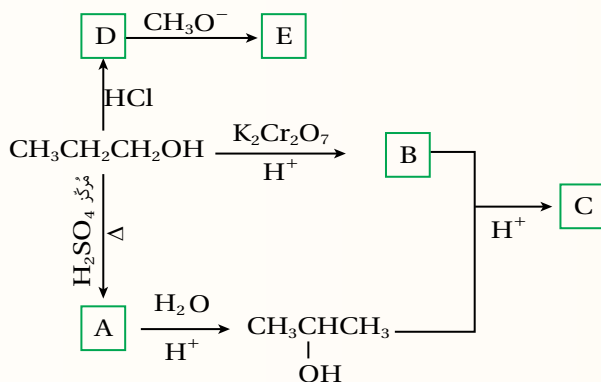
التحليل والاستنتاج:

1. أكتب معادلة التفاعل التي تحدث بين حمض الإيثانويك والإيثانول.
2. أسمّي الإستر الناتج.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أوضح أهمية تحضير المركبات العضوية في المختبر.
2. أوضح المقصود بتفاعل التأكسيد الحراري.
3. أصمم مخططاً يبين سلسلة التفاعلات المستخدمة في تحضير الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ؛ باستخدام الإيثان CH_3CH_3 .
4. أكتب معادلة تحضير الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، صناعياً من تخمر سكر الغلوكوز.
5. أكتب معادلة التحضير الصناعي للإيثانال CH_3CHO .
6. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير البروبانول CH_3COCH_3 ؛ باستخدام 1- كلوروبروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ؛ والمواد الآتية: H_2SO_4 , NaOH , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$, H_2O ، مركز.
7. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ ؛ باستخدام الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، بالاستعانة بالمواد الآتية:
إيثر، $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$, HBr , Mg
8. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2- ميثيل -2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ إذا توافرت المواد الآتية في المختبر:
الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ، إيثر، HBr , Mg , H_2SO_4 , H_2O , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$
9. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير بروبانوات الميثيل $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$ ؛ إذا توافر في المختبر كل من:
الميثان CH_4 ، والبروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ ، الضوء، والمواد الآتية:
مركز NaOH , Cl_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$, H_2SO_4
10. أستنتج: مركب عضوي A؛ يتكون من ثلاث ذرات كربون، يتفاعل مع الصوديوم مُطلقاً غاز الهيدروجين H_2 ، وعند أكسده باستخدام دايكرومات البوتاسيوم في وسط حمضي ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$)؛ يُنتج مركباً عضوياً B، حيث يتفاعل مع كربونات الصوديوم Na_2CO_3 ، ويطلق غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وعند تسخين مزيج من المركبين A, B؛ يُنتج مركباً عضوياً C ذا رائحة تشبه رائحة الفواكه، أستنتج الصيغ البنائية للمركبات A, B, C.





12. أدرس المخطط الآتي، وأكتب الصيغ العضوية

لكل من المركبات : E , D , C , B , A .

13. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة في ما يأتي :

1. يُحضّر المركب إيثانوات الميثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ من تفاعل المركبين الآتين :

أ . $\text{CH}_3\text{COONa}/\text{CH}_3\text{OH}$. ب . $\text{CH}_3\text{CHO}/\text{CH}_3\text{OH}$.

جـ . $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{OH}$. د . $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{ONa}$.

2. يُحضّر البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ بإحدى الطرق الآتية :

أ . طريقة التكسير الحراري . ب . اختزال الكيتون .

جـ . الاستبدال في الألكان . د . الاستبدال في الكحول .

3. يُنتج المركب $\text{CH}_3\text{OCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3$ مباشرة من تفاعل المركبين :

أ . $\text{CH}_3\text{Cl}/\text{CH}_3\text{CHONa}$. ب . $\text{CH}_3\text{OH}/\text{CH}_3\text{CHCl}$.

جـ . $\text{CH}_3\text{Cl}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{ONa}$. د . $\text{CH}_3\text{OH}/\text{CH}_3\text{CHONa}$.

4. سلسلة التفاعلات الصحيحة لتحضير المركب CH_3CHO ، بدءاً من CH_3CH_3 هي :

أ . استبدال - إضافة - أكسدة . ب . استبدال - استبدال - اختزال .

جـ . إضافة - استبدال - اختزال . د . استبدال - استبدال - أكسدة .

5. تُحضّر الألكينات صناعياً بالتكسير الحراري للألكانات ذات السلاسل الطويلة. جميع الأزواج الآتية تتج

من التكسير الحراري للديكان $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ ، باستثناء :

أ . C_3H_6 , C_7H_{16} . ب . $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$, C_6H_{14} .

جـ . C_4H_8 , C_6H_{14} . د . C_2H_4 , C_8H_{18} .

6. أحد المركبات الآتية يُحضّر بخطوة واحدة ابتداءً من 2-كلوروبوتان $\text{CH}_3\text{CH}(\text{Cl})\text{CH}_2\text{CH}_3$ ، هو :

أ . $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$. ب . $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$.

جـ . $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$. د . $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$.

تحضير حمض الفورميك من أكسدة الكتلة الحيوية

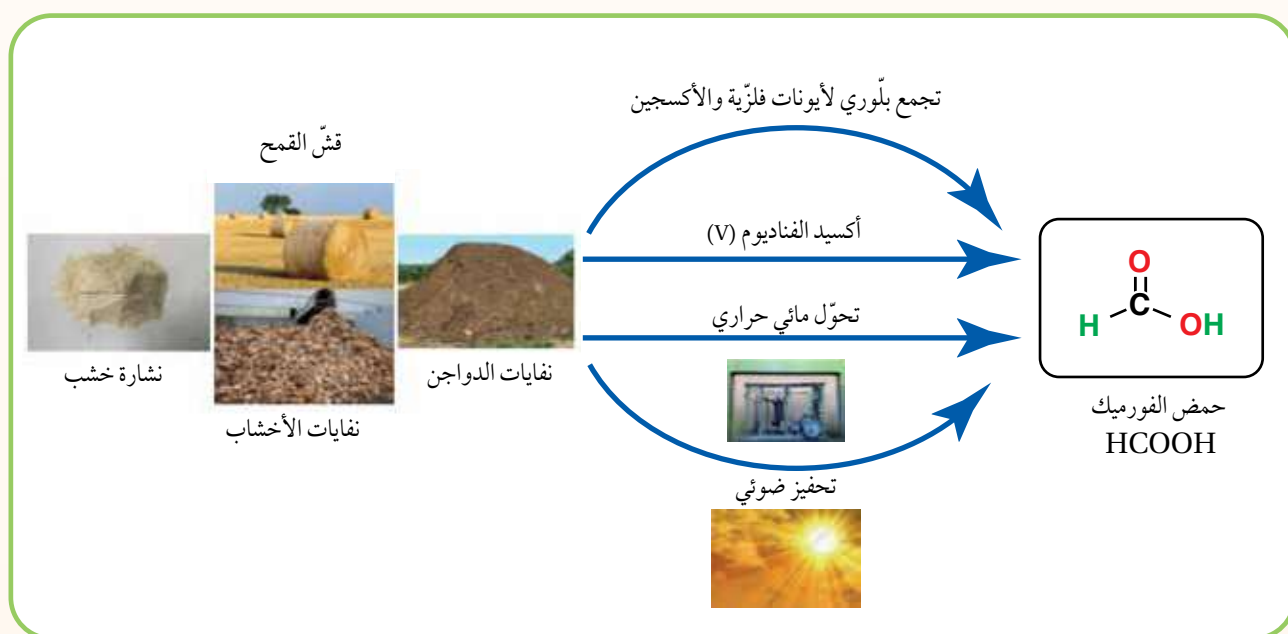
Preparation of Formic Acid from Biomass Oxidation

الإثراء والتوسع

يعدّ حمض الفورميك أو حمض الميثانويك HCOOH من المواد الكيميائية المهمة في صناعات متعددة، منها: صناعة المنسوجات، والأدوية، والمواد الكيميائية الغذائية، وصناعة الجلود، والدباغة، ويُستخدم مادةً حافظةً ومضادة للجراثيم في أعلاف الماشية. وكذلك يُتوقع أن يصبح حمض الفورميك مصدرًا لوقود الهيدروجين؛ إذ يمكن الحصول على حوالي 100% من الهيدروجين المخزن فيه لاستخدامه في خلايا الوقود.

ويُحضّر حمض الفورميك بطرائق عدّة أكثرها شيوعاً: التحلل المائي لميثانوات الميثيل، حيث يجري تحضيره صناعياً بتفاعل أول أكسيد الكربون مع الميثانول بوجود عامل مساعد مناسب وظروف مناسبة من الضغط ودرجة الحرارة مكوّنًا ميثانوات الميثيل التي تتحلّل في الماء لينتج حمض الميثانويك وكحول الميثانول، ويفصل الحمض، ثم يعاد استخدام الميثانول مرة أخرى لتكوين ميثانوات الميثيل، وهكذا.

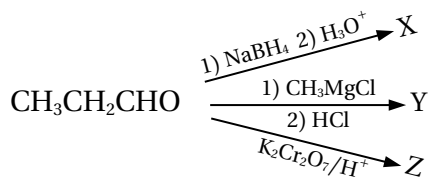
أما في الوقت الحاضر؛ فهناك دراسات متعددة تركز على الكتلة الحيوية Biomass، بوصفها مصدرًا للحصول على حمض الفورميك؛ نظرًا لوفرتها وتدني تكلفتها. يطلق مصطلح الكتلة الحيوية على المخلفات العضوية للمحاصيل المختلفة، مثل: قش القمح، ومخلفات الأخشاب، ونشارة الخشب، ومخلفات الدواجن.



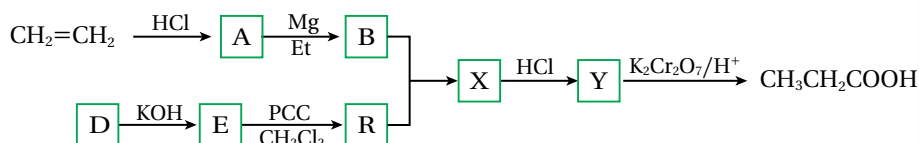
تجري أكسدة الكتلة الحيوية تحت ظروف مختلفة كما في الشكل، فتتحلل وتتحول إلى حمض الفورميك؛ بوجود فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، والأكسجين O_2 ، بوصفهما عاملين مؤكسدين.

مراجعة الوحدة

- أوضح المقصود بـ: أ. التصبن. ب. الإضافة الإلكتروفيلية.
- أكتب معادلات كيميائية توضح كلاً من الحالات الآتية:
 - إضافة الهيدروجين إلى 1- هكسين $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}_2$ بوجود العامل المساعد Ni.
 - إضافة الكلور Cl_2 إلى 2- بيوتين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$.
 - إضافة الماء إلى 1- بنتين $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$ بوجود حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركز.
 - إضافة كمية وافرة من كلوريد الهيدروجين إلى 1- بيوتين $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CH}$.
 - إضافة الهيدروجين إلى البيوتانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$ بوجود العامل المساعد Ni.
 - إضافة إيثيل بروميد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgBr}$ إلى بروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ ، ثم التفاعل مع حمض HBr .
 - تسخين 2- بنتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ مع حمض H_2SO_4 المركز.
 - تسخين 2- برومو -2- ميثيل بيوتان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{Br})(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$ مع محلول مركز من هيدروكسيد الصوديوم NaOH .
 - تفاعل حمض البيوتانويك $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ مع LiAlH_4/Et ، ثم إضافة محلول مخفف من H_2SO_4 .
- تم أكسدة مركبين كحوليين أحدهما أولي والآخر ثانوي؛ باستخدام $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ عاملاً مؤكسداً، كيف يمكن استخدام محلول تولينز لتحديد أي الكحولين هو الكحول الأولي؟
- إستر أعطي الرمز الافتراضي A صيغته الجزيئية $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$ ؛ تكوّن من تفاعل الحمض الكربوكسيلي B والكحول C، بوجود عامل مساعد مناسب. إذا كانت الصيغة البنائية للكحول C هي: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ، فأكتب معادلة كيميائية توضح تكوّن الأستر A، وأبين الصيغ البنائية لكل من: الإستر A، والحمض الكربوكسيلي B، والعامل المساعد المستخدم.
- يمكن للبروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ أن يتحول إلى ثلاثة مركبات عضوية مختلفة عن طريق التفاعلات الآتية:
 - أ. أكتب الصيغة البنائية لكل من X، Y، Z.
 - ب. أحدّد نوع التفاعل الذي يُكوّن المركب X.
 - ج. أكتب معادلة التفاعل بين Y و Z بوجود حمض H_2SO_4 .



- أستنتج: أدرس المخطط الآتي، وأستنتج صيغ المركبات العضوية المشار إليها بالرموز: A, B, D, E, R, X, Y.



7. أَسْتَنْج: مركب عضوي A يتكون من أربع ذرات كربون. عند تسخينه مع محلول NaOH، يتكون مركبان، هما: C و D، بعد ذلك يتفاعل المركب C مع حمض HCl لينتج المركب B الذي بدوره يتفاعل مع كربونات الصوديوم الهيدروجينية NaHCO_3 مُطْلَقًا غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وعند أكسدة المركب D باستخدام $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ؛ يتكوّن مركب عضوي R لا يستجيب لتفاعل تولنز، أما عند تسخين المركب D مع محلول حمض الفوسفوريك H_3PO_4 ينتج مركب عضوي Y قادر على إزالة لون محلول البروم. أَسْتَنْج الصيغ العضوية للمركبات A, B, C, D, R, Y

8. أَسْتَنْج: مركب عضوي A، يتكون من ثلاث ذرات كربون. عند تفاعله مع الصوديوم ينتج المركب B مع انطلاق غاز الهيدروجين H_2 . وعند أكسدة المركب A باستخدام $(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+)$ ؛ ينتج المركب العضوي 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 المركب العضوي D الذي يتفاعل مع المركب B لينتج المركب E. أَسْتَنْج الصيغ العضوية للمركبات A, B, C, D, E.

9. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 3-بنتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_2\text{CH}_3$ ، إذا توافرت في المختبر المواد الآتية: الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، 1-كلوروبروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ، الإيثر، $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، Mg، NaOH، HBr

10. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2-بيوتين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$ ، إذا توافر في المختبر: الإيثان CH_3CH_3 ، مصدر حرارة، الضوء، الإيثر، $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، Br_2 ، H_2SO_4 ، Mg، NaOH، HBr

11. أختارُ الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. مركب الألكوكسيد المستخدم في تكوين الإيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCHCH}_3$ هو:

أ. CH_3CHCH_3 . ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{ONa}$. ج. $\text{CH}_3\text{CH}(\text{ONa})\text{CH}_2\text{CH}_3$. د. CH_3ONa .

2. يُحضّر المركب إيثوكسيد الصوديوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}$ من تفاعل:

أ. CH_3COOH مع الصوديوم Na. ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع الصوديوم Na. ج. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH. د. CH_3CH_3 مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH.

3. عند تسخين المركب 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ مع حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 ينتج:

أ. CH_3COCH_3 . ب. $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$. ج. $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$. د. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$.

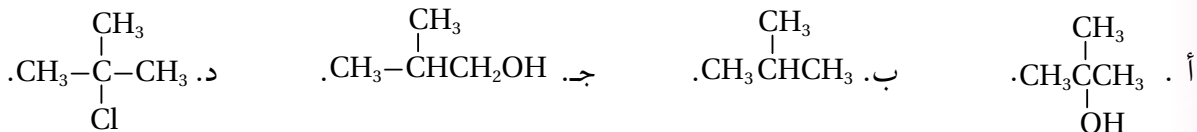
4. ينتج عن إضافة HBr إلى $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ المركب:

أ. $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$. ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$. ج. $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$. د. CH_3COCH_3 .

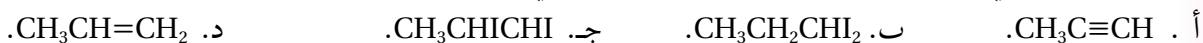
5. يُستخدَم محلول البروم للتمييز بين:

أ. الألكان والألكين. ج. الألديهيد والكيتون. ب. الألكان والكحول. د. الألكان والحمض الكربوكسيلي.

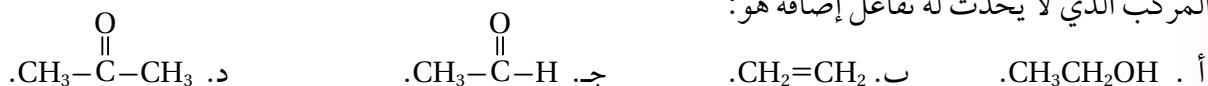
6. عند إضافة الماء H_2O إلى 2- ميثيل بروبين $CH_3C(CH_3)=CH_2$ في وسط حمضي ينتج:



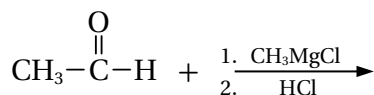
7. صيغة المركب A في التفاعل: $A + 2HI \rightarrow CH_3Cl_2CH_3$ ؛ هي:



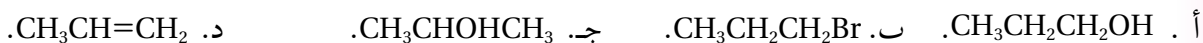
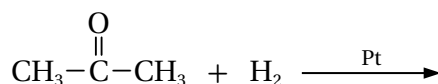
8. المركب الذي لا يحدث له تفاعل إضافة هو:



9. ناتج التفاعل الآتي هو:

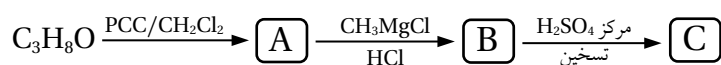


10. ناتج التفاعل الآتي هو:

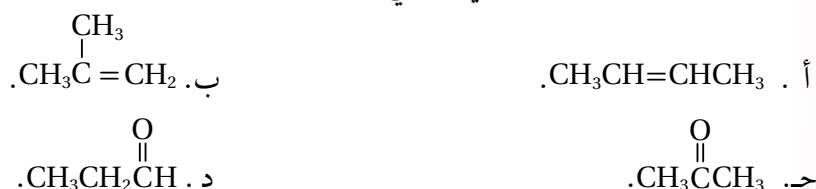


11. المخطط التالي يشير إلى سلسلة من التفاعلات العضوية تبدأ من مركب عضوي صيغته العامة C_3H_8O ، علماً بأن

المركب العضوي A يتفاعل مع محلول تولنز، فإن الصيغة البنائية للمركب C_3H_8O هي:



12. الصيغة البنائية للمركب العضوي C، في سلسلة التفاعلات العضوية السابقة هي:



13. يُحضّر الألديهيد 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 أولي باستخدام PCC/CH_2Cl_2 .
- د . إضافة H_2O إلى الألكين بوجود H_2SO_4 .

14. يُحضّر ثنائي إيثيل إيثر $CH_3CH_2OCH_2CH_3$ صناعياً بإحدى الطرق الآتية:

- أ . تسخين الإيثانول CH_3CH_2OH مع هاليد الألكيل الأولي.
- ب . تسخين هاليد الألكيل الأولي مع الكحول.
- جـ . تفكك الإستر في وسط قاعدي.
- د . تسخين الإيثانول 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 البروبانول CH_3COCH_3 بدءاً 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 صناعياً 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 يُختزل فقط باستخدام $LiAlH_4/Et$ ، ثم إضافة محلول مخفف من حمض الكبريتيك 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 (S) Mean Rate:** التغير الكلي لكمية المادة المتفاعلة أو الناتجة خلال الزمن المستغرق في ذلك.
- **السرعة الابتدائية Initial Rate:** سرعة التفاعل عند الزمن صفر؛ بدلالة التراكيز الابتدائية للمادة المتفاعلة.
- **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، ويبيّن أثر تغير تركيز مادة متفاعلة على سرعة التفاعل.
- **الرتبة الكلية للتفاعل Overall Reaction Order:** مجموع رتب المواد المتفاعلة في قانون سرعة التفاعل.
- **نظرية التصادم Collision Theory:** لحدوث تفاعل كيميائي يجب اصطدام جسيمات المواد المتفاعلة بعضها ببعض، وامتلاكها طاقة تصادم كافية لتكسير الروابط بينها، وأن يكون اتجاه تصادم هذه الجسيمات صحيحاً.
- **التصادم الفعال Effective Collision:** التصادم الذي يمتلك طاقة كافية ويكون اتجاهه صحيحاً فيؤدي إلى حدوث التفاعل وتكوين النواتج.
- **المعقد المنشط 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:** الحد الأدنى من الطاقة الحركية التي يجب أن تكتسبها الجسيمات المتصادمة لتكسير الروابط بين الذرات؛ كي تبدأ التفاعل وتكوّن روابط جديدة.
- **الكيمياء الكهربائية Electrochemistry:** أحد فروع الكيمياء، يهتم بدراسة التحوّلات بين الطاقة الكيميائية والكهربائية الناتجة عن تفاعلات التأكسد والاختزال والتطبيقات العملية المرتبطة بها.
- **التأكسد Oxidation:** فقدُ الإلكترونات أو زيادة عدد التأكسد.
- **الاختزال reduction:** كسبُ الإلكترونات أو نقصان عدد التأكسد.
- **تفاعل التأكسد والاختزال Redox Reaction:** تفاعل كيميائي تحدث فيه عمليّتا التأكسد والاختزال معاً.
- **عدد التأكسد Oxidation Number:** الشحنة الفعلية لأيون الذرة في المركبات الأيونية، أمّا في المركبات الجزيئية؛ فيُعرّف أنه الشحنة التي تكتسبها الذرة المكوّنة للرابطة في ما لو انتقلت إلكترونات الرابطة كلياً إلى الذرة التي لها أعلى سالبة كهربائية.

- **العامل المؤكسد Oxidising agent:** المادة التي تؤكسد مادة أخرى في التفاعل الكيميائي؛ إذ يكتسب إلكترونات من المادة التي يؤكسدها وتحدث له عملية اختزال.
- **العامل المختزل Reducing agent:** المادة التي تختزل مادة أخرى في التفاعل الكيميائي؛ إذ يفقد إلكترونات تكسبها المادة التي يختزلها وتحدث له عملية تأكسد.
- **التأكسد والاختزال الذاتي Autoxidation–Reduction Reaction:** سلوك المادة كعامل مؤكسد وعامل مختزل في التفاعل نفسه.
- **الخلايا الكهروكيميائية Electrochemical Cells:** أجهزة أو أدوات تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال منتجة للطاقة الكهربائية أو مستهلكة لها.
- **الخلايا الجلفانية Galvanic Cells:** أجهزة أو أدوات تجري فيها تفاعلات تأكسد واختزال تلقائية منتجة للطاقة الكهربائية.
- **نصف الخلية Half cell:** جزء من الخلية الجلفانية يحدث فيه نصف تفاعل تأكسد أو نصف تفاعل اختزال.
- **القطرة الملحية Salt bridge:** أنبوب زجاجي على شكل حرف U، يحتوي على محلول مشبع لأحد الأملاح يصل بين نصفي الخلية ويحافظ على تعادل شحناتها الكهربائية.
- **جهد الخلية المعياري Standard cell potential:** مقياس لقدرة الخلية على إنتاج تيار كهربائي، وهو القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بين قطبي الخلية بسبب فرق الجهد بينهما في الظروف المعيارية، ويُقاس بالفولت.
- **قطب الهيدروجين المعياري Standard Hydrogen electrode:** قطب مرجعي يُستخدم لقياس جهود الاختزال المعيارية لأقطاب الخلايا الجلفانية في الظروف المعيارية، وهي: ضغط الغاز 1atm، ودرجة حرارة 25 °C، وتركيز أيونات H^+ يساوي 1M.
- **جهد الاختزال المعياري Standard Reduction potential:** مقياس لميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث في الظروف المعيارية.
- **تلقائية التفاعل Spontaneity of Reaction:** حدوث التفاعل، وتكون النواتج دون الحاجة إلى طاقة كهربائية لإحداثه.
- **التحليل الكهربائي Electrolysis:** عملية تمرير تيار كهربائي في مصهور أو محلول مادة كهربية؛ فيسبب حدوث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي.
- **خلايا التحليل الكهربائي Electrolysis Cells:** خلية كهروكيميائية يحدث فيها تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي بفعل الطاقة الكهربائية.
- **تفاعل الإضافة Addition Reaction:** تفاعل بين جزيئين لتكوين جزيء واحد جديد. ويتضمن ذلك أن يحتوي أحد الجزيئين المتفاعلين الرابطة الثنائية أو الثلاثية.

- **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 محبّ 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 الإلكترونات الرابطة π من الرابطة الثنائية في الألكين.
- **قاعدة ماركوفاييف 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 الألدهايد أو الكيتون.
- **تفاعل الحذف Elemenation Reaction:** حذف جزيء هاليد الهيدروجين من هاليد الأكيل بالتسخين مع قاعدة قوية، وحذف جزيء الماء من الكحول؛ بالتسخين مع حمض الكبريتيك أو حمض الفسفوريك المركز؛ فينتج عن كلا الحالتين الألكين المقابل.
- **تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions:** تفاعل تحلّ فيه ذرة أو مجموعة ذرات محل ذرة أو مجموعة ذرات أخرى في المركب العضوي.
- **جذر حرّ 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 المركز 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.