



الكيمياء

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الثاني

كتاب الطالب

12

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

تيسير أحمد الصيحة

بلال فارس محمود

جميلة محمود عطيه

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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



06-5376262 / 237



06-5376266



P.O.Box: 2088 Amman 11941



@nccdjor



feedback@nccd.gov.jo



www.nccd.gov.jo

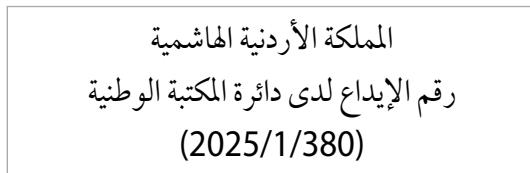
قررَت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2025/7)، تاريخ 15/9/2025 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2025/163)، تاريخ 15/10/2025 م، بدءاً من العام الدراسي 2025 / 2026 م.

© 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



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
الواصفات	/ 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

د. فداء فايز العضايلة

جميلة محمود عطية

تيسير أحمد الصبيحات

المراجعة التربوية

أ.د. عبدالسلام موسى العديلي

التصميم والإخراج

نایف محمد أمین مرادشة

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.

قائمة المحتويات

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

المقدمة

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

ويُعدُّ هذا الكتاب واحداً من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحل المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المُتبعة عالمياً، لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبية حاجات طلبنا والكوادر التعليمية.

وقد جاء هذا الكتاب مُحققاً لضامين الإطار العام للمناهج الأردنية والإطار الخاص لمبحث العلوم، ومعاييرها، ومؤشرات أدائها المُتمثلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الحادي والعشرين، وقدر على مواجهة التحديات، ومحظوظ في الوقت نفسه - بانتهائه الوطني. وتأسيساً على ذلك، فقد اعتمدت دورة التعلم الخامسة المنشقة من النظرية البنائية التي تمنح الطلبة الدور الأكبر في العملية التعليمية، وتُوفّر لهم فرصاً عديدةً للاستقصاء، وحل المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلاً عن اعتماد منحى STEAM في التعليم الذي يستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

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

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

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة

5

الكيمياء الحركية

Kinetic Chemistry



أتَأَمَّلُ الصورة

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

الفكرة العامة:

تفاوت التفاعلات الكيميائية في سرعات حدوثها، اعتماداً على مجموعة من العوامل التي تؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل أو إبطائه، 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؛ بتغيير 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؛ مرفوعةً لأسس محددة يجري التوصل إليها بالتجربة العملية.

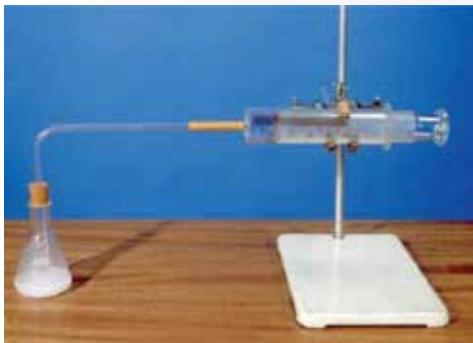
الدرس الثالث: نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.

الفكرة الرئيسية: تؤدي التصادمات الفعالة بين جسيمات المواد المتفاعلة إلى حدوث التفاعل الكيميائي. وتحدد سرعة التفاعل بعوامل عدّة تؤدي إلى زيادتها أو إبطائهما.

تجربة استهلاكه

مفهوم سرعة التفاعل الكيميائي

المواد والأدوات: دورق مخروطي حجمه 250 mL، مخارب مُدرج، حمض الهيدروكلوريك تركيزه 0.1 M، كربونات الكالسيوم CaCO_3 ، ميزان حساس، محقن غاز، أنبوب زجاجي، سداده 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 المخارب المُدرج 100 mL من حمض HCl تركيزه 0.1 M وأضعها في الدورق المخروطي.
- 3 أثبتت السدادة المتصلة بالأنبوب الزجاجي والمحقن (كما في الشكل) بسرعة، وأشغّل ساعة الإيقاف.
- 4 أراقب حركة مكبس المحقن، وأسجل حجم الغاز فيه كل 15 s، وأسجل ملاحظاتي.
- 5 أنظم 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 موزونة لتفاعل الكيميائي.
- 3- أستنتاج التغير في حجم غاز CO_2 خلال التفاعل الكيميائي مع الزمن.

مفهوم سرعة التفاعل Concept of Reaction Rate

يهم فرع الكيمياء الحركية بدراسة التغير في سرعة التفاعلات الكيميائية والعوامل المؤثرة فيها. وتوصف التفاعلات الكيميائية بأنها سريعة أو بطيئة؛ تبعاً للزمن المستغرق 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 احتفاء 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 المعرض للتفاعل؛ فبعض التفاعلات تحدث بسرعة كبيرة خلال مدة زمنية قصيرة، مثل: تفاعلات محليل 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 تكون الفحم الحجري والنفط. فكيف يعبر عن سرعة التفاعل؟ وكيف يمكن قياسها؟



الفكرة الرئيسية:

تقاس سرعة التفاعل الكيميائي من التجربة العملية بتغيير 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.

نتائجُ التعلم:

- أوضح مفهوم سرعة التفاعل الكيميائي وأعطي 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

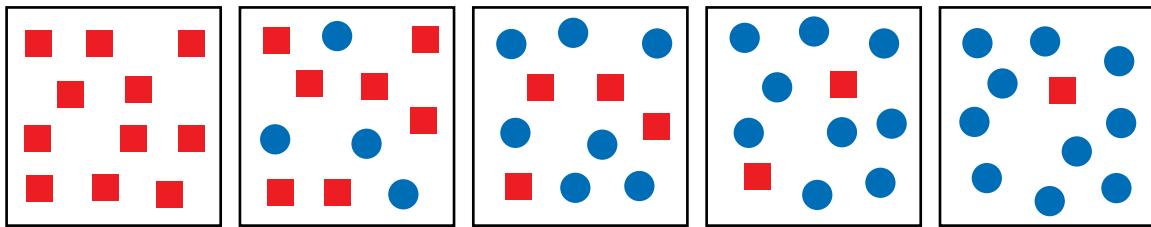
Rate of Chemical Reaction

Mean Rate السرعة المتوسطة

Initial Rate السرعة الابتدائية

Instantaneous Rate السرعة اللحظية

الشكل (1): احتراق الخشب.

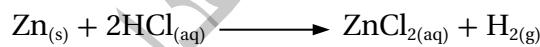


الشكل (2): تحول مادة متفاعلة إلى مادة ناتجة.

التفاعل الكيميائي

: المادة المتفاعلة
: المادة الناتجة

تغير 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، ويعبر عن كمية المادة المتفاعلة أو الناتجة بدلالة التغيير في الكتلة أو الحجم أو التركيز المولاري؛ وذلك لمعرفة سرعة التفاعل. فمثلاً: عندما يتفاعل فلزّ الخارصين مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl وفق المعادلة الموزونة الآتية:



فإنه يمكن حساب سرعة التفاعل الكيميائي -مثلاً- بدلالة التغيير في كتلة الخارصين المستهلكة، أو بدلالة التغيير في حجم غاز الهيدروجين الناتج. ولكن غالباً ما يجري حساب سرعة التفاعل بدلالة التغيير في التركيز المولاري لمادة متفاعلة أو مادة ناتجة.

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

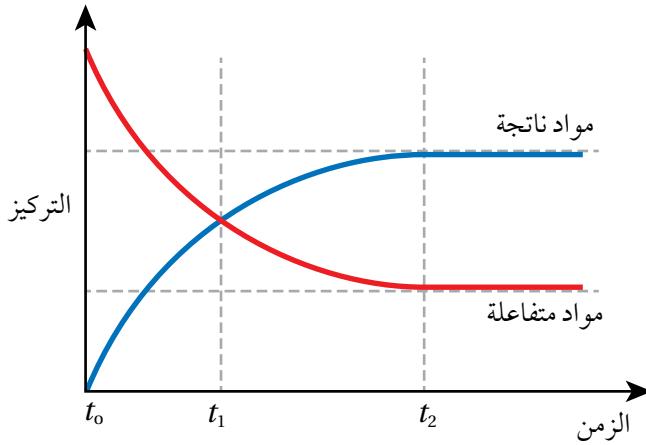
$$\text{سرعة التفاعل الكيميائي} = \frac{\text{التغيير في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة}}{\text{التغيير في الزمن}}$$

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

حيث يشير الرمز (Δ) إلى التغيير.

حساب سرعة التفاعل Calculating the Reaction Rate

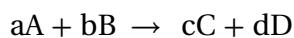
تحسب سرعة التفاعل الكيميائي من التجربة العملية بدلالة نقصان تركيز إحدى المواد المتفاعلة، أو زيادة تركيز إحدى المواد الناتجة خلال مدة زمنية محددة.



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

وللتوسيع ذلك؛ أنظر الشكل (3)، الذي يوضح نقصان تركيز مادة متفاعلة وزياة 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: يُعبر عن سرعة استهلاك **A** كما يأتي:

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

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

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

أي أنّ:

$[A]_2$ 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. ويعبر عن وحدة سرعة التفاعل بـ: (M/s) ، أو $(\text{M} \cdot \text{s}^{-1})$. كذلك يمكن حساب سرعة تكوين (إنتاج) مادة ناتجة مثل **C** أو **D**، فمثلاً: يُعبر 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 ليزريّة متطرّفة تتبع «تصوّير» حركة الذرات داخل الجزيئات أثناء التفاعلات، وذلك على مقياس زمني بالغ القصر، هو الفيتوثانية (10^{-15} من الثانية).

تعتمد هذه التقنية على استخدام نبضات ليزريّة القصر تسمح للمجرب بتبيّن مسار التفاعل خطوة بخطوة، ورصد التغييرات التي تطرأ على الجزيء خلال أجزاء متناهية الصغر من الثانية. وهو ما كشف عن تفاصيل دقيقة حول كيفية تكسّر الروابط الكيميائية وتكونِ روابط جديدة. وقد مكّنت هذه التقنية العلماء من رؤية التفاعلات الكيميائية وكأنها فيلم يُعرض ببطء شديد. وقد كان لأبحاث زويل تأثير كبير على مجالات متعددة، 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 $\Delta[C]$ موجبةً لأن تركيز المادة الناتجة يزداد بمرور الزمن، فيكون تركيزها $[C]_2$ أكبر من تركيزها $[C]_1$.

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

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

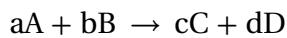
فمثلاً: يتضح من المعادلة $3C \rightarrow A$ أن تكوين 3 mol من المادة C يتطلب استهلاك 1 mol من المادة A، لذا؛ تكون سرعة تكوين المادة C ثلاثة أضعاف سرعة استهلاك المادة A، أو سرعة استهلاك المادة A تساوي ثلث سرعة تكوين المادة C، ويعبر عن هذه العلاقة كما يأتي:

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

أي أن:

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

اعتماداً على المعادلة الموزونة الآتية:



يمكن التعبير عن العلاقة بين سرعة استهلاك المواد المتفاعلة وسرعة تكوين المواد الناتجة بدلالة التغيير في التركيز في مدة زمنية محددة 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 ١

أبّر عن العلاقة بين سرعة استهلاك المواد المتفاعلة وسرعة تكوين المواد الناتجة بدلالة تغيير تركيز كل منها في مدة زمنية

محددة؛ وفق المعادلة الموزونة الآتية:



الحلّ:

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

المثال 2

يتفاعل غاز ثانٍ أكسيد النيتروجين NO_2 مع غاز الفلور F_2 لتكوين غاز فلوريد التريل 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. أعبر عن العلاقة بين سرعة تكوين NO_2F وسرعة استهلاك F_2 .

الحل:

$$R = -\frac{\Delta[\text{F}_2]}{\Delta t} \quad \text{أكتب سرعة استهلاك } \text{F}_2$$

$$R = \frac{\Delta[\text{NO}_2\text{F}]}{\Delta t} \quad \text{أكتب سرعة تكوين } \text{NO}_2\text{F}$$

$$-\frac{\Delta[\text{F}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NO}_2\text{F}]}{\Delta t} \quad \text{أكتب العلاقة بين سرعة تكوين } \text{NO}_2\text{F \text{و} سرعة استهلاك } \text{F}_2$$

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:

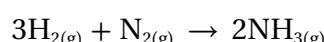
أكتب العلاقة بين سرعة تكوين الفسفور P_4 وسرعة تكوين H_2

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

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

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

أتحقق: يتفاعل غاز الهيدروجين H_2 مع غاز النيتروجين N_2 وفق ظروف معينة لإنتاج الأمونيا NH_3 ، ويُعبر 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 يُبيّن التغيير في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة خلال مدة زمنية معينة. فمثلاً: يتفاعل المغنيسيوم Mg مع حمض الهيدروكلوريك HCl، ويُنتج عن التفاعل غاز الهيدروجين H_2 وكلوريد المغنيسيوم $MgCl_2$ ، كما هو موضح في معادلة التفاعل الآتية:



تكون سرعة التفاعل أكبر ما يمكن لحظة بدايته، ثم تقلّ كلما استهلكت المواد المتفاعلة أكثر فأكثر، وبمرور الزمن تزداد كمية غاز الهيدروجين الناتج، ويمكن حساب السرعة المتوسطة (Mean Rate) (S)، وهي التغيير الكلّي لكمية المادة المتفاعلة أو الناتجة خلال الزمن المستغرق في ذلك. فمثلاً: في تفاعل المغنيسيوم Mg مع حمض الهيدروكلوريك HCl، أجد ناتج قسمة التغيير الكلّي في حجم غاز الهيدروجين H_2 الناتج على الزمن المستغرق في ذلك. وبين الشكل (4) أن الحجم النهائي للغاز الناتج يثبت ويُساوي 120 cm^3 بعد مضي 50 s من الزمن، مشيراً إلى انتهاء التفاعل، وبذلك أحسب السرعة المتوسطة (S) لتكون غاز H_2 كما يأتي:

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

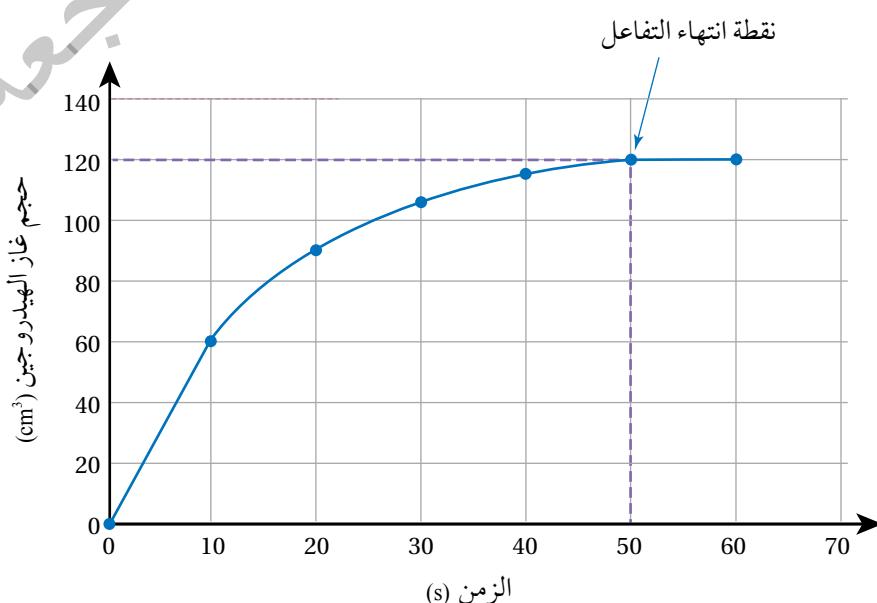
$$S = \frac{120 - 0}{50 - 0} = 2.4\text{ cm}^3/\text{s}$$

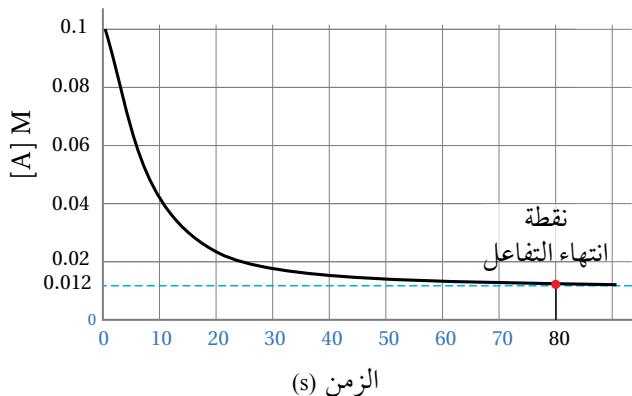
أتحقق: أوضح المقصود بالسرعة المتوسطة للتفاعل.

التغيير في حجم الغاز الناتج ΔV

التغيير في الزمن Δt

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





يُمثل الشكل الآتي منحنى سرعة التفاعل لغير ترکیز مادة

متفاعل A مقابل الزمن:

أحسب السرعة المتوسطة S لتفاعل A.

الحل:

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

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

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

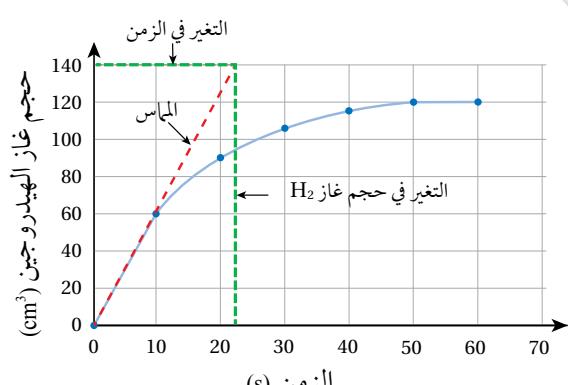
سرعة التفاعل الابتدائية Initial Rate

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 تركيز 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 Y التغير في حجم الغاز الناتج، وتمثل X التغير في الزمن. وبالرجوع إلى المنحنى في الشكل (5) يمكن حساب السرعة الابتدائية لتكون غاز H_2 كما يأتي:

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



الشكل (5): إيجاد سرعة التفاعل الابتدائية.

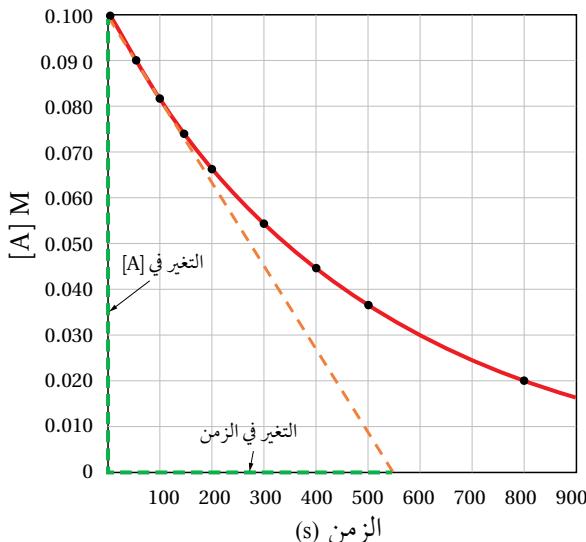
المثال 5

أحسب السرعة الابتدائية لاستهلاك A.

الحل:

الاحظ أن المنحنى متناقص بسبب تناقص [A] مع الزمن فيكون ميل المماس سالب لذلك تضاف إشارة (-) عند إيجاده. 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

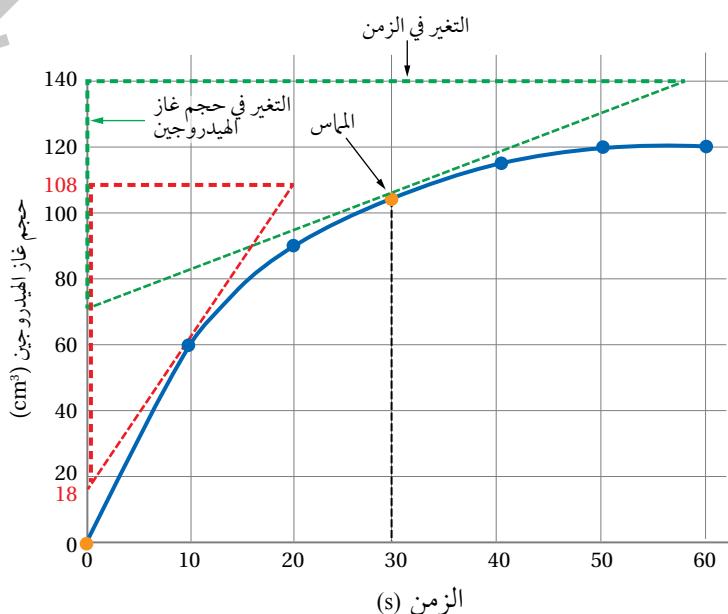
أما سرعة التفاعل عند أي لحظة زمنية معينة فتسمى **السرعة اللحظية Instantaneous Rate** مادة متفاعلة أو ناتجة مقابل الزمن، ثم رسم مماس للمنحنى عند النقطة المقابلة للزمن عند تلك اللحظة، وحساب الميل عندها، حيث يمثل السرعة اللحظية. فمثلاً: لحساب سرعة تكون غاز H_2 عند زمن 30 s ، أرسم مماساً للمنحنى عند النقطة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

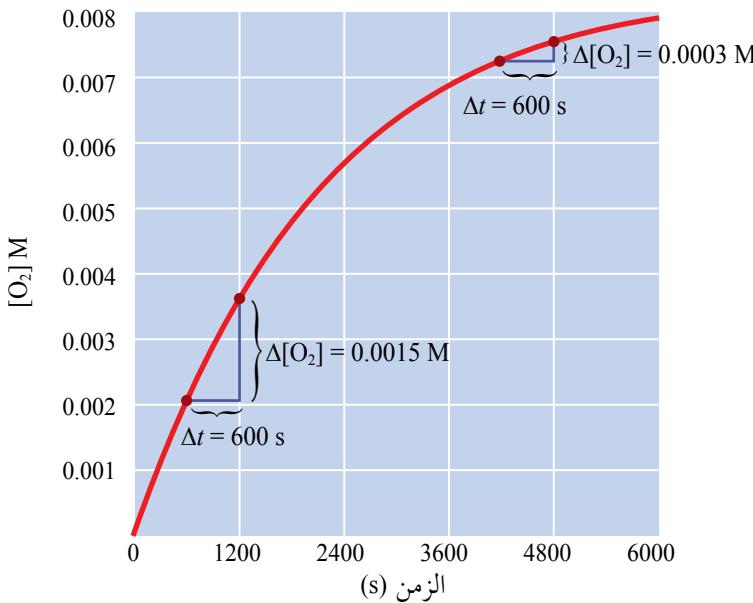
$$G = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{140 - 70}{58} = 1.207 \text{ cm}^3/\text{s}$$

أتحقق بالرجوع إلى الشكل (6)،
أحسب السرعة اللحظية لتكون
غاز H_2 عند زمن 30 s .

الشكل (6): إيجاد سرعة التفاعل اللحظية.

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

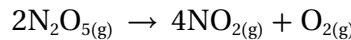




الشكل (7): حساب سرعة التفاعل خلال مدة زمنية محددة.

سرعة التفاعل خلال فترات زمنية محددة Rate of Reaction within Time

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



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
$[O_2] \times 10^{-3} M$	0	2.1	3.6	4.8	5.7	6.3	6.8	7.2	7.5	7.7

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

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

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

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



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

أتحقق: أحسب سرعة إنتاج غاز الأكسجين خلال المدة الزمنية $s (3000 - 4800)$

المثال 6

يبين 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.

الحلّ:

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

2. أطّبّق 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: $\text{CO}_{(g)} + \text{NO}_{(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} + \text{NO}_{(g)}$

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

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

الحلّ:

أكتب قانون سرعة التفاعل للمادة المتفاعلة:

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

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

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

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



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

الزمن	0	10	20
$[\text{N}_2\text{O}_4] \text{ M}$	0.10	0.02	0.01
$[\text{NO}_2] \text{ M}$	0.00	0.16	0.18

1. أحسب سرعة استهلاك N_2O_4 في المدة الزمنية 20 - 10 s.

2. أحسب سرعة تكون NO_2 في المدة الزمنية 20 - 10 s.

المعطيات: الفرع رقم (1).

$$[\text{N}_2\text{O}_4]_1 = 0.02 \text{ M}$$

$$[\text{N}_2\text{O}_4]_2 = 0.01 \text{ M}$$

$$\Delta t = 10 \text{ s}$$

المطلوب: أحسب سرعة استهلاك N_2O_4

الحلّ:

$$\begin{aligned} R &= -\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_4]}{\Delta t} = -\frac{([\text{N}_2\text{O}_4]_2 - [\text{N}_2\text{O}_4]_1)}{(t_2 - t_1)} \\ &= -\frac{(0.01 - 0.02)}{20 - 10} \\ &= 0.001 \text{ M/s} \end{aligned}$$

المعطيات: الفرع رقم (2).

$$[\text{NO}_2]_1 = 0.16 \text{ M}$$

$$[\text{NO}_2]_2 = 0.18 \text{ M}$$

$$\Delta t = 10 \text{ s}$$

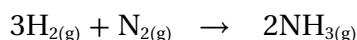
المطلوب: أحسب سرعة تكون NO_2

الحلّ:

$$\begin{aligned} R &= \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = \frac{(0.18 - 0.16)}{20 - 10} \\ &= 0.002 \text{ M/s} \end{aligned}$$

أكرّر الخطوات كما في الفرع رقم (1).

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



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

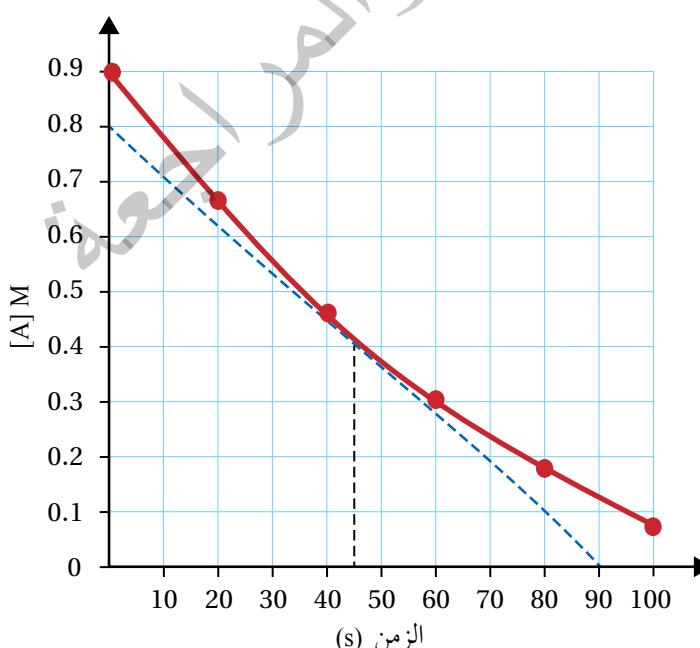
مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسية: أوضح كيفية حساب سرعة التفاعل المتوسطة والسرعة الابتدائية من الرسم البياني.
- أوضح المقصود بكل من: سرعة التفاعل الكيميائي، السرعة اللحظية للتفاعل.
- يُبيّن الجدول أدناه بيانات التغيير في تركيز كل من المادة A والمادة B مع الزمن، عند درجة حرارة معينة:

[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

أجب عن الأسئلة الآتية:

- أكتب معادلة التفاعل.
- أحسب سرعة تكون المادة الناتجة في الفترة الزمنية s (15–20).
- أحسب باستخدام الرسم البياني السرعة اللحظية عند الزمن s 45.



5. اختار 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. يتضاعف غاز N_2O_4 بالحرارة مكوناً غاز NO_2 وفق المعادلة الكيميائية: $2NO_{2(g)} \rightarrow N_2O_{4(g)}$ إذا علمت أنّ:

- 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

بدالة التغير في التركيز خلال مدة زمنية محددة، هي:

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

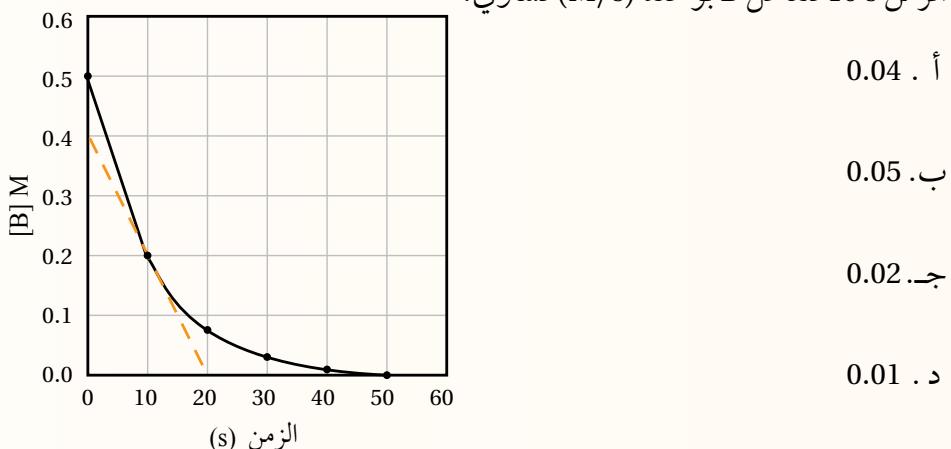
$$\text{د. } -\frac{1}{5} \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{6} \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} \quad \text{ج. } -\frac{1}{6} \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = \frac{1}{4} \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$$

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 منحني سرعة التفاعل للتغير في تركيز مادة متفاعلة B مع الزمن. إن السرعة اللحظية عند الزمن 10 s لتفاعل B بوحدة (M/s) تساوي:



أثر التراكيز في سرعة التفاعل

The Effect of Concentrations on Reaction Rate

درست سابقاً كيفية حساب سرعة التفاعل الكيميائي؛ بمعرفة التغيير 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 تغيير تركيزها في سرعة التفاعل من معادلة التفاعل الموزونة؛ إنما من التجارب العملية. أنظر الشكل (8) الذي يُبيّن تفاعلاً كيميائياً بين بيرمنغهامت 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 تركيز المواد المتفاعلة مرفوعة لقوى معينة عند درجة حرارة ثابتة، كما يأتي:

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

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

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

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



الفكرة الرئيسية:

يصف قانون سرعة التفاعل الكيميائي العلاقة بين سرعة التفاعل وتركيز 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:

Reaction Order رتبة التفاعل

الرتبة الكلية للتفاعل

Overall Reaction Order

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

رتبة التفاعل Reaction Order

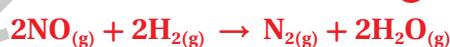
يصف قانون سرعة التفاعل العلاقة بين سرعة التفاعل R وتركيز المواد المتفاعلة عند درجة حرارة ثابتة.

ويُعبر عن قانون سرعة التفاعل بـ $R = k[A]^x[B]^y$ حيث k هي ثابت سرعة التفاعل، x و y هي رتبة التفاعل لـ A و B على الترتيب.

يُطلق على الرمز (x) رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة A ، أما الرمز (y) فهو رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة B . وتعُرف **رتبة التفاعل Reaction Order** للمادة المتفاعلة بأنها الأسس المعرفة تركيزها إلى قانون سرعة التفاعل، وتبيّن أثر تغيير تركيز المادة المتفاعلة في سرعة التفاعل. وتحدد الرتبة من التجربة العملية لا من معادلة التفاعل الموزونة، وقد تكون قيمة الرتبة صفرًا، 1 ، 2 ، ...، فعندما تكون قيمة الرتبة x أو y صفرًا، 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 H_2 ؛ وفق معادلة التفاعل الآتية:



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

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

- ما رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة NO ؟
- ما رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة H_2 ؟
- ما الرتبة الكلية للتفاعل؟

الحل:

اللاحظ من قانون سرعة التفاعل أن:

- الأسس المعرفة تركيز المادة المتفاعلة NO إليه يساوي 2 ؛ أي أن رتبة المادة NO تساوي 2
- الأسس المعرفة تركيز المادة المتفاعلة H_2 إليه يساوي 1 ؛ أي أن رتبة المادة H_2 تساوي 1
- الرتبة الكلية تساوي مجموع رتبتي المادتين المتفاعلتين، وهي: $2+1 = 3$

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



إذا كان قانون السرعة لهذا التفاعل $R = k [N_2O_5]^1$ ، 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):

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

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

المطلوب: أحسب سرعة التفاعل.

الحل:

$$\text{قانون سرعة التفاعل: } R = k [N_2O_5]^1$$

أuwض 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؟

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.

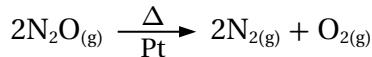
طريقة الرسم البياني Graphical Method

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

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

الرتبة الصفرية

عندما يكون تركيز مادة متفاعلة مرفوعاً للأس صفر، فإن قيمته تساوي (1)؛ وهذا يعني أن تغيير 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). الاحظ أن تركيز المادة المتفاعلة يتناقص بمقدار ثابت بمرور الزمن؛ ومن ثم تكون العلاقة بين التركيز والزمن علاقة خطّ مستقيم متناقص ميله مقدار ثابت.

وي بيان 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:

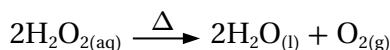
$$R = k$$

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

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

الرتبة الأولى

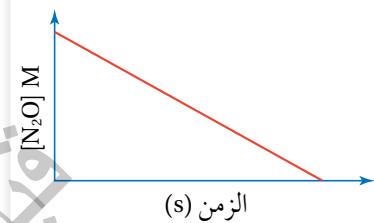
عندما يكون تركيز مادة متفاعلة مرفوعاً للأس (1)، فإن سرعة التفاعل تتناسب طردياً مع تركيز المادة المتفاعلة، مما يعني أن تغيير تركيز المادة يؤدي إلى التغيير نفسه في سرعة التفاعل، فمثلاً: نقصان تركيز المادة المتفاعلة إلى النصف يؤدي إلى نقصان سرعة التفاعل إلى النصف، وكذلك مضاعفة تركيزها يؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل بالمقدار نفسه، ومثال ذلك تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 وفق المعادلة الآتية:



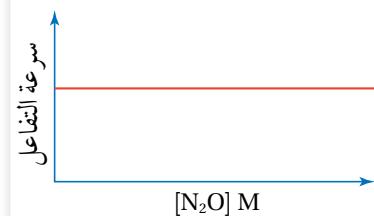
حيث وُجد عملياً أن مضاعفة تركيز H_2O_2 تؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل؛ لذلك يعد هذا التفاعل من الرتبة الأولى بالنسبة للمادة المتفاعلة فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، ويُعبر عن سرعته بالقانون:

$$R = k[H_2O_2]^1$$

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

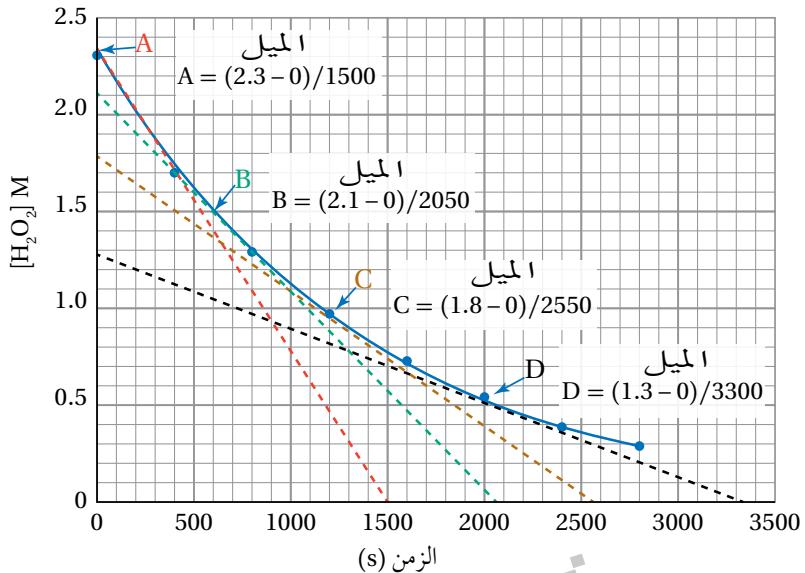


الشكل (9/a): تركيز المادة المتفاعلة مقابل الزمن.



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

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



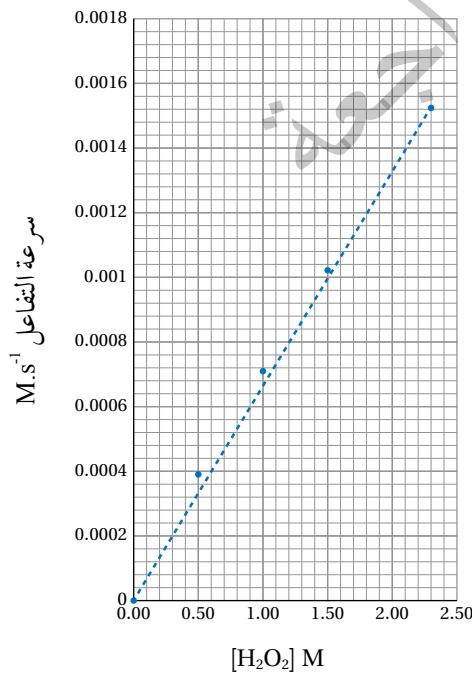
الجدول (1): قيم سرعة تفاعل H_2O_2 عند تراكيز محددة منه.

$(R) \times 10^{-3} \text{ M.s}^{-1}$	$[\text{H}_2\text{O}_2] \text{ M}$
0	0
0.394	0.5
0.706	1.0
1.024	1.5
1.533	2.3

ويتمكن التتحقق أن التفاعل من الرتبة الأولى يتبع تغير تراكيز H_2O_2 بمرور الزمن. حيث يُبيّن الشكل (10) ميل المماس عند تراكيز محددة من H_2O_2 في زمن محدد ودرجة حرارة ثابتة. وبعد شكل المنحنى هذا مؤشراً عاماً لتفاعلات الرتبة الأولى كافية. يتضح من الشكل أن الخطوط المنقطة A.B.C.D تمثل المماس عند تراكيز محددة، وبحساب ميل المماس يمكن حساب سرعة هذا التفاعل عند تلك التراكيز من العلاقة الآتية:

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

ويُبيّن الجدول (1) المجاور قيم سرعة تفاعل H_2O_2 المحسوبة عند تراكيز محددة منه.



الشكل (11): سرعة تفاعل H_2O_2 مقابل تراكيزه.

وبذلك يمكن رسم شكل بياني يوضح سرعة التفاعل مقابل الترکیز، كما هو مبيّن في الشكل (11)، إذ يظهر الشكل علاقة خط مستقيم متزايد، وهذا النمط ينطبق على هذا التفاعل وعلى تفاعلات الرتبة الأولى كافية؛ أي أنه إذا كانت العلاقة خطّاً مستقيماً متزايداً بين ترکیز 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 بتغيير تركيز المواد المتفاعلة، إذ تفاص سرعة التفاعل الابتدائية في اللحظة التي تخلط فيها المواد المتفاعلة ذات التراكيز المعلومة. فمثلاً: في التفاعل العام:



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

التجربة	[A]M	[B]M	السرعة الابتدائية $M \cdot s^{-1}$
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 لل المادة A، أقارن بين تركيز المادة A وسرعة التفاعل في التجارب (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 التجارب (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) ترداد أربع مرات عنها في التجربة رقم (1)؛ أي أن نسبة الزيادة في سرعة التفاعل تساوي مربع نسبة الزيادة في تركيز المادة وبذلك فإن التفاعل ثانوي الرتبة للمادة B؛ أي أن قيمة y تساوي 2. وبهذا أتوصل إلى قانون السرعة لهذا التفاعل:

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

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

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

رتبة التفاعل	سرعة التفاعل R	مقدار تضاعف تركيز التراكيز
0	لم تغير	2
0	لم تغير	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 ثلاثة تجارب بتركيزات مختلفة عند درجة حرارة ثابتة؛ وقيس السرعة الابتدائية لكل تجربة، وُسجلت النتائج، فكانت كما يظهر في الجدول الآتي:

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

4. أستنتج قانون السرعة لهذا التفاعل.

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

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

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

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

$$2 = 2^y$$

ومنها:

HCl وهي رتبة المادة

$$y = 1$$

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:

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

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

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

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 التجاربتين

(1) و(2) عند ثبات تركيز HCl ، حيث أقسم سرعة التفاعل R_2 على سرعة التفاعل R_1 ، كما يأتي:

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

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

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

$$2 = 2^x$$

ومنها: NO_2 وهي رتبة المادة

3. أجد قيمة الرتبة y للمادة المتفاعلة HCl ، بمقارنة تركيز HCl مع سرعة التفاعل في التجاربتين

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

يتفاعل غاز أول أكسيد النيتروجين NO مع غاز الأكسجين O_2 مكوناً غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 ، وفق المعادلة الآتية:



وبقياس سرعة التفاعل عند تراكيز ابتدائية مختلفة من NO و O_2 ودرجة حرارة معينة، سُجلت النتائج كما يظهر في الجدول الآتي:

رقم التجربة	$[\text{NO}] \text{ M}$	$[\text{O}_2] \text{ M}$	السرعة الابتدائية M.s^{-1}
1	1×10^{-1}	2×10^{-1}	7×10^{-2}
2	2×10^{-1}	2×10^{-1}	2.8×10^{-1}
3	1×10^{-1}	4×10^{-1}	1.4×10^{-1}

3. أستنتج قانون سرعة التفاعل.
4. أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل k وأحدد وحدته.

1. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة NO .
2. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة O_2 .

الحل:

وأيضاً تتضاعف السرعة مرتين كما يأتي:

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

وبهذا، فإن رتبة التفاعل للمادة O_2 تساوي 1

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

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

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

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

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

1. لتحديد رتبة التفاعل للمادة NO ، أقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجربتين (1) و(2)، عند ثبات تركيز الأكسجين O_2 ، فلاحظ أن تركيز NO تتضاعف 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. أستعمل الطريقة نفسها لتحديد قيمة رتبة المادة O_2 ، فأقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجربتين (3) و(1) عند ثبات تركيز NO ، فلاحظ أن تركيز O_2 تتضاعف مرتين كما يأتي:

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

المثال 13

في معادلة التفاعل الافتراضي: $\text{نواتج} \rightarrow \text{A} + \text{B}$ سُجلت البيانات الخاصة بالسرعة الابتدائية عند درجة حرارة محددة 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}

2. أجد الرتبة y للمادة المتفاعلة B من التجربتين (1)، (3) عند ثبات تركيز المادة A.

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

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

3. أستنتج قانون سرعة التفاعل:

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

4. أحسب ثابت سرعة التفاعل، وأستنتج وحدته:

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

1. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة A.

2. أستنتاج رتبة المادة المتفاعلة B.

3. أستنتاج قانون السرعة لهذا التفاعل.

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

الحل:

1. أجد الرتبة x للمادة المتفاعلة A من التجربتين (1)

و(2) عند ثبات تركيز B.

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

أعُرض قيم السرعة والتركيز.

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

$$2 = 2^x \rightarrow x = 1$$

المثال 14

في التفاعل الآتي: $2\text{ClO}_{2(\text{aq})} + 2\text{OH}^{-(\text{aq})} \rightarrow \text{ClO}_{2(\text{aq})}^{-} + \text{ClO}_{3(\text{aq})}^{-} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$

وُجد أنه عند مضاعفة تركيز ClO_2 الابتدائي ثلاثة 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. أستنتاج 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 تركيز المواد المتفاعلة الأخرى، أستنتاج أن:

رتبة التفاعل بالنسبة إلى المادة $\text{ClO}_2 = 2$

رتبة التفاعل بالنسبة إلى المادة $\text{OH}^- = 1$

لأن مضاعفة تركيز ClO_2 (3 مرات) مع ثبات تركيز OH^- أددت إلى مضاعفة سرعة التفاعل بمقدار $2^3 = 8$ مرات.

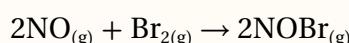
في حين أن مضاعفة تركيز OH^- مرتين مع ثبات تركيز ClO_2 أددت إلى مضاعفة سرعة التفاعل بالمقدار نفسه.

ب. قانون سرعة التفاعل: $R = k[\text{ClO}_2]^2 [\text{OH}^-]^1$

✓ أتحقق: 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. أستنتاج رتبة كل من A و B.

مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسية: 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:

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

- أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة NO .
- أستنتاج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة Br_2 .
- أستنتاج قانون السرعة لهذا التفاعل.
- أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل، وأحدد وحدته.
- أحسب سرعة التفاعل عندما ترکیز NO يساوي ترکیز Br_2 يساوي 0.01 M .

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

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

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

- أستنتاج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة T .
- أستنتاج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة E .
- أستنتاج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة D .
- أستنتاج قانون سرعة هذا التفاعل.
- أحسب ترکیز المادة D في التجربة الأخيرة.

5. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:



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

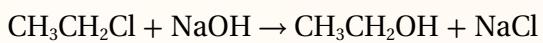
- سرعة التفاعل تزداد مرتين عندما يزداد $[\text{H}_2]$ مرتين.

بناء على ذلك فإن قانون سرعة التفاعل، هو:

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

2. في التفاعل الآتي:

الرقم	$[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}]M$	$[\text{NaOH}]M$	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}



قيس السرعة الابتدائية للتفاعل لثلاث تجارب

عند درجة حرارة متساوية، وتركيز ابتدائية مختلفة،

وسُجّلت النتائج كما في الجدول المجاور. إن

قيمة ثابت سرعة التفاعل تساوي:

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

3. في التفاعل الافتراضي الآتي: $2\text{Z} \rightarrow 2\text{X} + \text{Y}$ ، إذا قيس $[\text{Z}]$ خلال

التجربة ورسم $[\text{Z}]$ مع الزمن فكان كما يوضح المنحنى، فإن

وحدة ثابت سرعة التفاعل، هي:

$$\text{ب.} \quad \text{s}^{-1} \quad \text{أ.} \quad \text{M.s}^{-1}$$

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

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:

$$\text{د. 9} \quad \text{ج. 8} \quad \text{ب. 3} \quad \text{أ. 2}$$

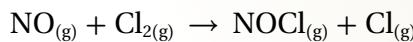
5. في التفاعل الافتراضي: $\text{نواتج} \rightarrow \text{A}$ إذا كانت سرعة التفاعل عند درجة حرارة معينة تساوي $2.7 \times 10^{-3} \text{ M.s}^{-1}$

وقيمة ثابت السرعة لهذا التفاعل k تساوي $0.03 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ، فإن تركيز المادة A بوحدة (M) يساوي:

$$\text{د.} \quad 9 \times 10^{-1} \quad \text{ج.} \quad 3 \times 10^{-2} \quad \text{ب.} \quad 3 \times 10^{-1} \quad \text{أ.} \quad 9 \times 10^{-2}$$

نظريّة التصادم Collision Theory

وضع نظريّة التصادم العالمان: ماكس تراوتنر، ووليام لويس؛ لتفسير حدوث التفاعلات الكيميائية وتفاوت سرعاتها، وقدّمت النظريّة اقتراحات حول كيفية تغيير سرعة التفاعل الكيميائي. وتفترض نظريّة 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 تشرط النظريّة أن يكون اتجاه تصادم هذه الجسيمات صحيحاً، فمثلاً: تفاعل جزيئات أول أكسيد النيتروجين NO مع جزيئات الكلور Cl_2 ؛ وفق المعادلة الآتية:



يوضح الشكل (12) طريقتين لتصادم الجسيمات بعضها البعض، 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 و يؤدي إلى حدوث التفاعل و تكوين النواتج **التصادم الفعال** **Effective Collision**، ويطلب هذا أن يكون تصادم الجسيمات المتفاعلة في الاتجاه الصحيح (الاتجاه المناسب)،

الفكرة الرئيسية:

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

نتائج التعلم:

- أوضح المقصود بكل من: نظريّة التصادم، التصادم الفعال، المعقد المنشط، طاقة التنشيط، العامل المساعد.

- أفسّر العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي وفق نظريّة التصادم.

- أستنتج العلاقة بين طاقة التنشيط والتغيير في المحتوى الحراري، باستخدام منحنى الطاقة - سير التفاعل.

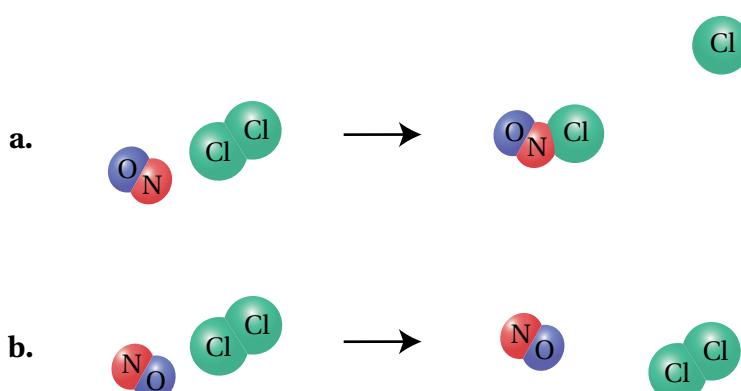
المفاهيم والمصطلحات:

Collision Theory نظريّة التصادم

Effective Collision التصادم الفعال

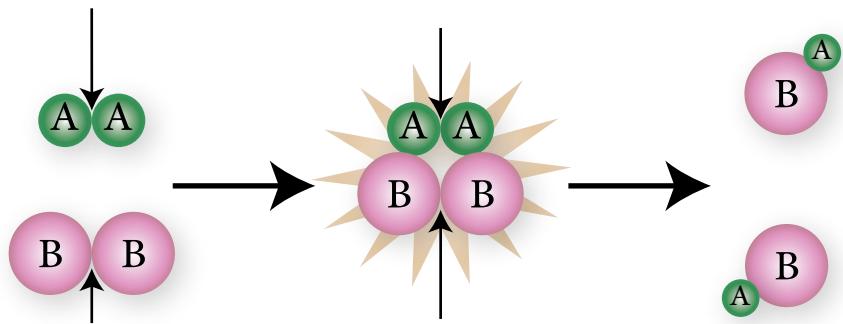
Activated Complex المعقد المنشط

Activation Energy طاقة التنشيط

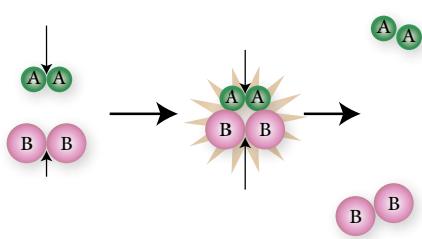


الشكل (12): تصادم جسيمات Cl_2 مع جسيمات NO .

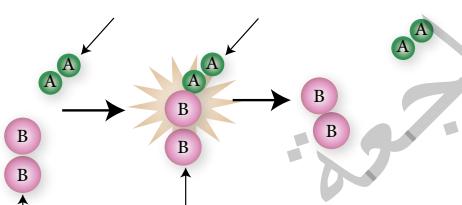
الشكل (13): اتجاه تصادم صحيح وطاقة كافية.



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



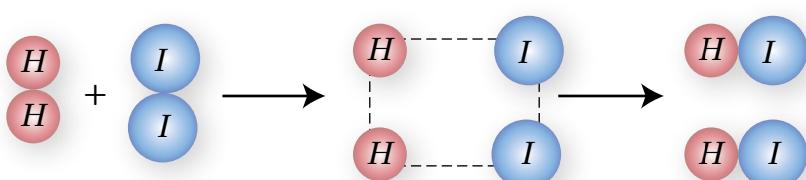
الشكل (15): اتجاه تصادم غير صحيح وطاقة كافية أو غير كافية.



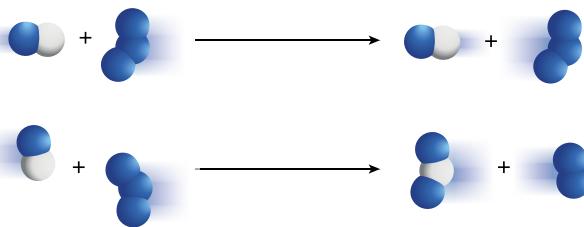
وأن تمتلك الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل. وفي هذه الظروف تتكسر الروابط بين جسيمات المواد المتفاعلة، وت تكون روابط جديدة في المواد الناتجة. فمثلاً: في المعادلة العامة: $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$; يجب أن تتصادم جسيمات A_2 مع جسيمات B_2 في الاتجاه الصحيح كي يحدث التفاعل، وأن توافر الطاقة الكافية، أنظر الشكل (13) الذي يُبيّن تكون الناتج $2AB$ ؛ عندما تتصادم ذرتا A من الجزيء A_2 مع ذرتا 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 تكون الناتج، 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، ت تكون حالة تسمى **المعقد المنشط** **Activated Complex**؛ وهي حالة انتقالية غير مستقرة من تجمع الذرات يبدأ فيها تكسير الروابط وتكون 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



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

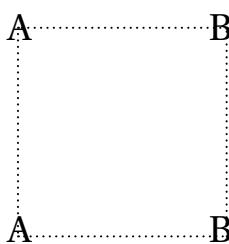


الحل:

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

المثال 16

أرسم المعقَّد المنشَّط المتكَوَّن من التفاعل العام الآتي:

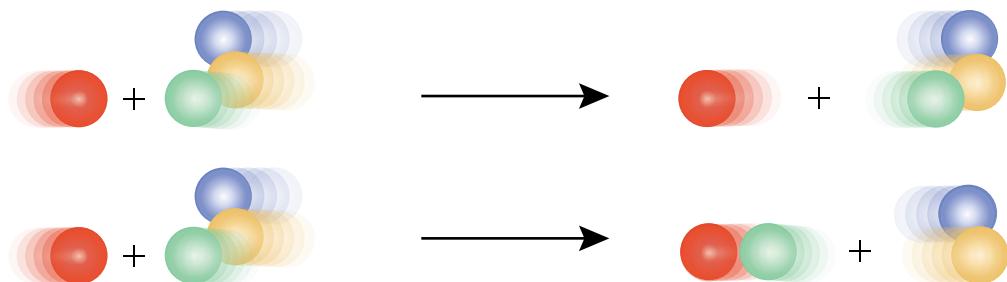


الحل:

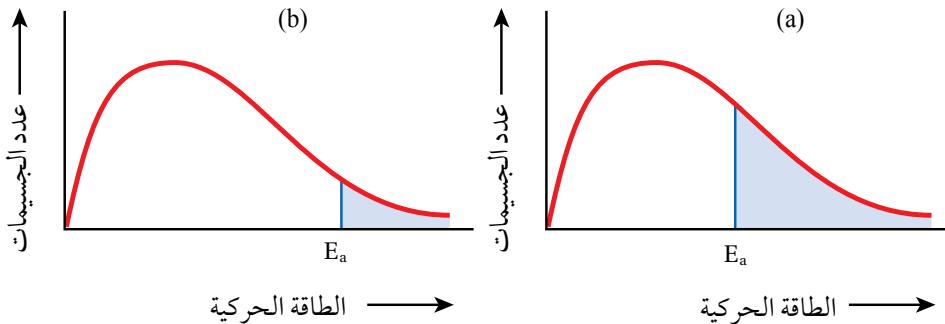
يحدث التصادم بين ذرتي A وذرتي B في الجسيمات AB، ويُتَوَقَّع أن تنكسر كل رابطة A-B، وتتكَوَّن الرابطة بين A-A و B-B؛ فيكون المعقَّد المنشَّط كما يأتي:

أتحقق:

- ما الشرطان اللازم توافرهما حتى يكون التصادم فعالًا؟
- بالاعتماد على شرطِي التصادم الفعال؛ استنتج من الشكل الافتراضي الآتي أي الحالتين تمثل تصادمًا فعالًا، وأيهما تمثل تصادمًا غير فعال، وأفسِّر إجابتي.



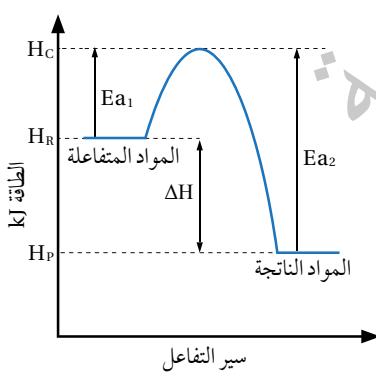
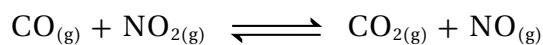
الشكل (17): العلاقة بين طاقة التنشيط وعدد الجسيمات التي تمتلكها والتي تمثلها المنطقة المظللة.



طاقة التنشيط (Ea) Activation Energy (Ea)

تشترط نظرية التصادم امتلاك الجسيمات المتفاعلة طاقة كافية لحدوث التفاعل، وُيُطلق على هذه الطاقة **طاقة التنشيط** (Activation Energy) (Ea)، وهي الحد الأدنى من الطاقة الحركية التي يجب أن تكتسبها الجسيمات المتصادمة كي تبدأ التفاعل وتكون المعقد المنشط. وعندما تكون طاقة التنشيط اللازمـة لحدوث التفاعل منخفضـة؛ فهـذا يعني أن هناك عدـداً كـبيرـاً من الجـسيـمات يمكن أن تمتلك هذه الطـاقة وتـكون المعـقد المـنشـط عند تـصادـمـها في الاتـجـاه الصـحـيـحـ، يتـضـحـ من الشـكـل (17/a, b) أن طـاقـة التـنشـيط في الشـكـل (a) أـقـلـ منـها في الشـكـل (b) وبـالـتـالـي فإنـ عـدـدـ الجـسيـماتـ التيـ تـمـتـلـكـ هـذـهـ طـاقـةـ أـكـبـرـ فـتـكـوـنـ سـرـعـةـ التـفـاعـلـ فيـ الشـكـلـ (a)ـ أـكـبـرـ،ـ وـيـزـدـادـ اـحـتـمـالـ تـكـوـنـ الـنـوـاتـ،ـ أـمـاـ فيـ الشـكـلـ (b)ـ فـأـلـاحـظـ أـنـ طـاقـةـ التـنشـيطـ الـلـازـمـةـ لـهـذـهـ التـفـاعـلـ عـالـيـةـ؛ـ وـهـذـاـ يـعـنـيـ أـنـ عـدـدـ قـلـيلـاـ مـنـ الجـسيـماتـ يـمـكـنـ أـنـ يـمـتـلـكـ طـاقـةـ كـافـيـةـ لـتـكـوـنـ المعـقدـ المـنشـطـ؛ـ فـتـكـوـنـ سـرـعـةـ التـفـاعـلـ أـبـطـاـ.

يوضح الشـكـل (18) منـحـنـيـ تـغـيـرـ الطـاقـةـ أـثـنـاءـ سـيرـ التـفـاعـلـ أولـ أـكـسـيدـ الـكـرـبـونـ COـ معـ ثـانـيـ أـكـسـيدـ الـنـيـتروـجـينـ NOـ₂ـ،ـ لإـنـتـاجـ ثـانـيـ أـكـسـيدـ الـكـرـبـونـ CO₂ـ وـأـولـ أـكـسـيدـ الـنـيـتروـجـينـ NOـ،ـ وـفـقـ المـعـادـلـةـ الـآـتـيـةـ:



الشكل (18): منـحـنـيـ تـغـيـرـ الطـاقـةـ أـثـنـاءـ سـيرـ تـفـاعـلـ طـارـدـ لـلـطاـقـةـ الـحـارـيـ.

ويـبـيـنـ الشـكـلـ (18)ـ أـنـ المـوـادـ المـتـفـاعـلـةـ تـمـتـلـكـ كـمـيـةـ مـنـ الطـاقـةـ تـسـمـيـ طـاقـةـ المـوـادـ المـتـفـاعـلـةـ أوـ المـحـتـوـيـ الـحـارـيـ لـلـمـوـادـ المـتـفـاعـلـةـ،ـ وـيـرـمـزـ إـلـيـهـاـ بـالـرـمـزـ H_Rـ،ـ وـأـنـ المـوـادـ النـاتـجـةـ تـمـتـلـكـ كـمـيـةـ مـنـ الطـاقـةـ تـسـمـيـ طـاقـةـ المـوـادـ النـاتـجـةـ أوـ المـحـتـوـيـ الـحـارـيـ لـلـمـوـادـ النـاتـجـةـ،ـ وـيـرـمـزـ إـلـيـهـاـ بـالـرـمـزـ H_Pـ،ـ وـأـلـاحـظـ أـنـ طـاقـةـ المـوـادـ النـاتـجـةـ H_Pـ أـقـلـ مـنـ طـاقـةـ المـوـادـ المـتـفـاعـلـةـ H_Rـ،ـ مـاـ يـعـنـيـ أـنـ التـفـاعـلـ يـصـاحـبـهـ فـقـدـانـ

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

التغيير 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 Ea_1 ، وفي هذه الحالة تصادم جزيئات CO و NO_2 ، بالاتجاه الصحيح، ومع وجود كمية كافية من الطاقة يبدأ تكسير الروابط وتكون روابط جديدة، ومن ثم يتكون المعقد المنشط، ثم ت تكون المواد الناتجة.

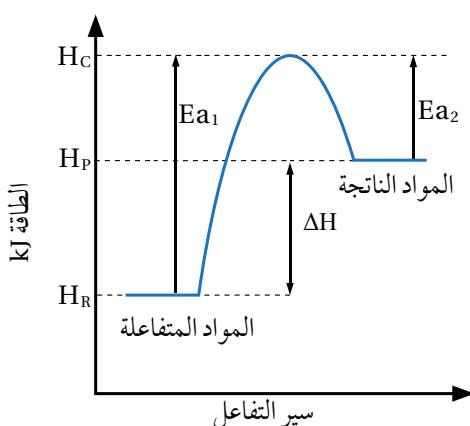
يسمي فرق الطاقة بين طاقة المواد الناتجة وطاقة المعقد المنشط H_c : طاقة تنشيط التفاعل العكسي Ea_2 ، وهي أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي. وأيضاً يمكن التعبير عن التغيير في المحتوى الحراري بدالة الفرق بين طاقة تنشيط التفاعل الأمامي Ea_1 ، وطاقة تنشيط التفاعل العكسي Ea_2 ، حيث:

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

$$\Delta H = Ea_1 - Ea_2$$

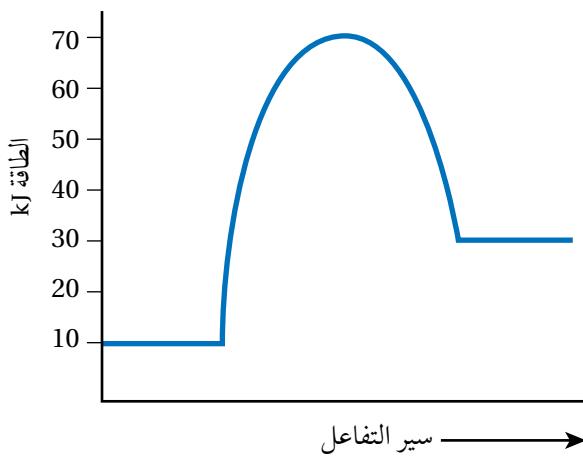
ويوضح الشكل (19) منحنى تغير الطاقة أثناء سير تفاعل ماص للطاقة الحرارية، وفيه تكون طاقة المواد الناتجة أكبر من طاقة المواد المتفاعلة، وطاقة التنشيط للتفاعل الأمامي أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل العكسي.

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 الماّص للطاقة المجاورة؛

ثم أجد قيمة كلّ مما يأتي (بوحدة kJ):

1. طاقة المواد المتفاعلة.
2. طاقة المواد الناتجة.
3. طاقة المعقد المنشّط.
4. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.
5. طاقة تنشيط التفاعل العكسي.
6. التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل ΔH .

الحلّ:

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

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

$$70 \text{ kJ} .3$$

4. لحساب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي، أحسب الفرق بين طاقة المعقد المنشّط وطاقة المواد المتفاعلة:

$$\text{طاقة تنشيط التفاعل الأمامي} = \text{طاقة المعقد المنشّط} - \text{طاقة المواد المتفاعلة}$$

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

5. لحساب طاقة تنشيط التفاعل العكسي، أحسب الفرق بين طاقة المعقد المنشّط وطاقة المواد الناتجة:

$$\text{طاقة تنشيط التفاعل العكسي} = \text{طاقة المعقد المنشّط} - \text{طاقة المواد الناتجة}$$

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

6. لحساب التغيير 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 التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل $+45 \text{ kJ}$ ، 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 ماض للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

تحليل السؤال: (المعطيات)

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

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

$$Ea_2 = 55 \text{ kJ}$$

المطلوب:

الحل:

1. أحسب طاقة المواد الناتجة من الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة والتغيير 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:

$$Ea_2 = H_C - H_p$$

$$55 = H_C - 70$$

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

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

$$Ea_1 = H_C - H_R = 125 - 25 = 100 \text{ kJ}$$

4. ألاحظ أن إشارة التغيير في المحتوى الحراري موجبة، وهذا يعني أن التفاعل ماض للطاقة الحرارية.

أتحقق: في تفاعل ما، كانت قيمة التغيير 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 إبطائه، فما هذه العوامل؟ وما أثرها في سرعة التفاعل؟

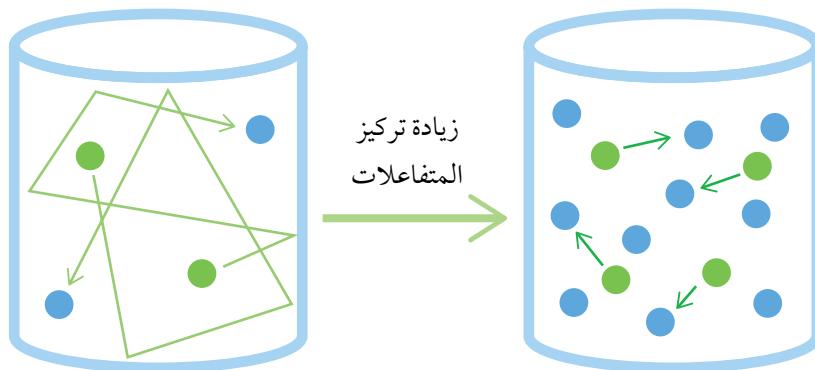
طبيعة المواد المتفاعلة The Nature of Reactants

تفاعل 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 مسحوق نترات الفضة، وسرعة ظهور اللون الأصفر الناتج عن ترسيب يوديد الفضة AgI أكبر؛ لأن عدد التصادمات بين الأيونات حركة الحركة في محلول 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 يبيّن زيادة عدد تصادمات الجسيمات المتفاعلة بزيادة تركيزها.

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



مساحة سطح المواد المتفاعلة Surface Area of Reactant

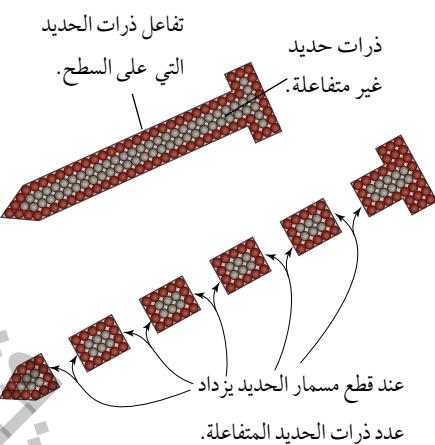
تؤدي زيادة مساحة سطح المواد الصلبة المُعرَّضة للتفاعل إلى زيادة عدد التصادمات الفعالة؛ فتزداد سرعة التفاعل.

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

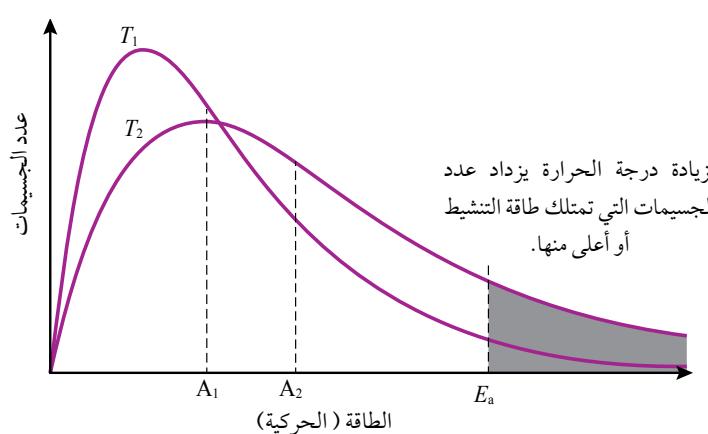
فمثلاً: تحرق نشارة الخشب بسرعة أكبر من احتراق قطعة الخشب ذات الكتلة نفسها، كما أن تفاعل برادة الحديد مع حمض الهيدروكلوريك أسرع من تفاعل قطعة الحديد التي لها الكتلة نفسها.

درجة الحرارة Temperature

تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى رفع الطاقة الحركية لجسيمات المواد المتفاعلة، ومن ثم يزداد عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة تساوي طاقة التنشيط أو أعلى منها؛ فيزداد عدد التصادمات الفعالة فتزداد سرعة التفاعل. ويمكن توضيح ذلك من الشكل (22) الذي يُبيّن توزيع الطاقة الحركية على الجسيمات عند درجتي 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 ، ويلاحظ 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 البعض، ويزداد بذلك عدد التصادمات الفعالة؛ مما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل.



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

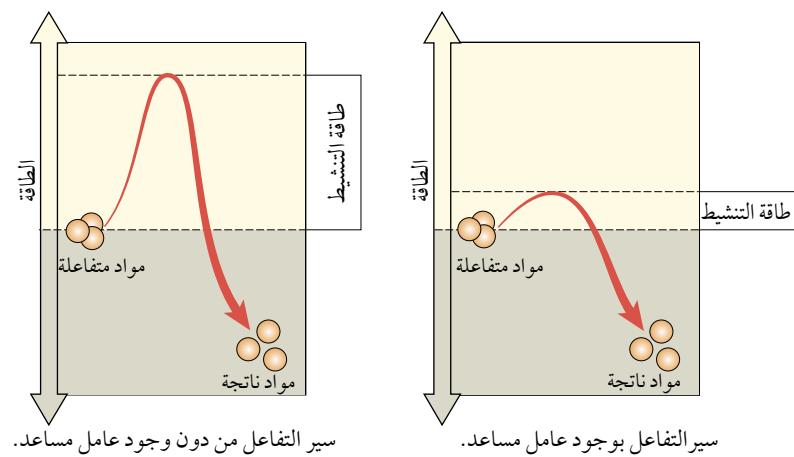
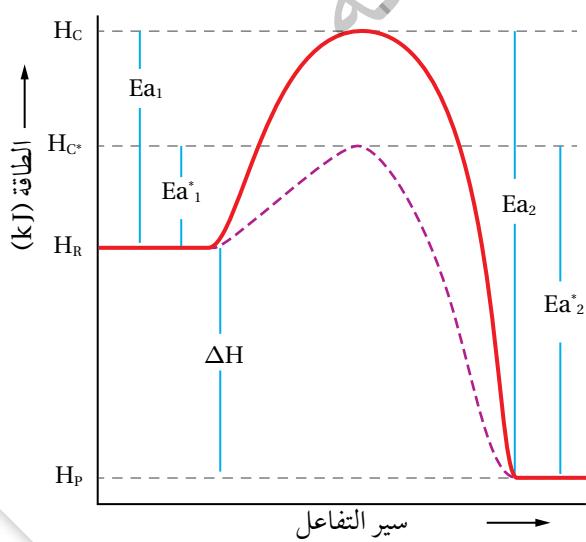


الشكل (22): توزيع الطاقة الحركية على الجسيمات عند درجتي حرارة T_1 و T_2 .

الربط بالهندسة

تفاعل مكونات الخلطة الإسميتية (الخرسانة) وتتصلب بسرعة صيفاً؛ بسبب ارتفاع درجة الحرارة، في حين تتصلب ببطء في فصل الشتاء، بسبب انخفاضها، وكلاهما يؤثر في المواصفات القياسية المطلوبة لها، وللتقليل من هذا الأثر يعمل المهندس المختص على إضافة مواد كيميائية بنساب 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): منحنى 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 يمثل الخط المتصل مسار التفاعل من دون وجود عامل مساعد، في حين يمثل الخط المتقطع مسار التفاعل بوجود عامل مساعد، وألاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل بوجود العامل المساعد Ea_1 ، أقل منها للتفاعل من دون وجود العامل المساعد Ea_1^* ، وأن طاقة المواد المتفاعلة والناتجة 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.

Ea_1 طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد.

Ea_1^* طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد.

Ea_2 طاقة تنشيط التفاعل العكسي من دون عامل مساعد.

Ea_2^* طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.

ΔH التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل.

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

يبين 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 المعقد 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

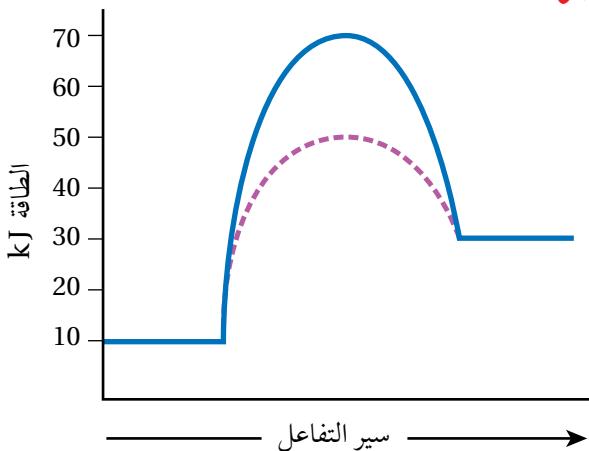
7. طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد Ea_2^*

8. التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل ΔH

الحل:

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

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



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

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

4. طاقة المعقد المنشط بوجود العامل المساعد = 50 kJ

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

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

8. أحسب التغيير 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 التغيير 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 Ea_2 .

2- طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد Ea_1 .

3- طاقة المعقد المنشط للتفاعل من دون عامل مساعد H_C .

4- طاقة المواد الناتجة H_p .

الحل:

$$\Delta H = Ea_1 - Ea_2$$

-1

$$-40 = 110 - Ea_2$$

$$Ea_2 = 150 \text{ kJ}$$

-2

$$H_C^* = Ea_1^* - H_R$$

$$80 - Ea_1^* + 70$$

$$Ea_1^* = 10 \text{ kJ}$$

-3

$$H_C = Ea_1 + H_R$$

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

-4

$$\Delta H = H_p - H_R$$

$$-40 = H_p - 70$$

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

✓ **أتحقق:** 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. التغيير في المحتوى الحراري.

4. هل التفاعل ماض للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

التجربة ١

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

المواد والأدوات:

محلول أحادي حمض HCl تركيزه 0.1M ، محلول آخر 1M ، حبتان لهما الحجم نفسه من فلزّ الخارصين Zn ، محلول نشا، محلول اليود I_2 ، ثاني أكسيد المغنيز MnO_2 ، محلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، حمام مائي ساخن (درجة 30°C)، حمام مائي بارد درجة (1°C) ، مخبر مدرج، 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:

- أقيس** 15 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl ، تركيزه 1M باستخدام المخبر المدرج، وأضعها في الكأس الزجاجية. وأكرر العملية مع محلول HCl تركيزه 0.1M في كأس زجاجية أخرى.
- أضع حبة من فلزّ الخارصين في كلّ من الكأسين الزجاجيتين في الوقت نفسه، وأسجل ملاحظاتي.
- أقيس**: أحضر كأسين زجاجيتين، وأضع في كلّ منها 10 mL من محلول النشا.
- أضع إحدى الكأسين في الحمام المائي الساخن، والكأس الآخر في الحمام المائي البارد، وأتركهما مدة 5 min .
- أضيف إلى كلّ من الكأسين 5 mL من محلول اليود I_2 ، وأحرك بحذر، وأسجل ملاحظاتي.
- أقيس** 20 mL من محلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، وأضعها في كأس زجاجية، وأراقب محلول بضع ثوان، ثم أضيف إلى محلول في الكأس ملعقة صغيرة من ثاني أكسيد المغنيز MnO_2 . أسجل ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج

- أصف أثر تغيير تركيز حمض HCl في سرعة تصاعد غاز الهيدروجين.
- أقارن**: بين سرعة تغيير اللون في محلول النشا في الكأسين البارد والساخن بعد إضافة محلول اليود.
- أصف التغيير الحاصل بعد إضافة ثاني أكسيد المغنيز MnO_2 إلى محلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 .
- أكتب معادلة تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، بوجود العامل المساعد.

مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسية: أوضح كيف تفسر نظرية التصادم حدوث التفاعل الكيميائي.
- أوضح المقصود بكل من: المعقّد المنشّط، طاقة التنشيط للتفاعل.
- أفسّر أثر كل مما يأتي في سرعة التفاعل الكيميائي:
 - تركيز المواد المتفاعلة.
 - درجة الحرارة.
 - مساحة سطح المواد المتفاعلة.
- أستنتج من البيانات الواردة في الجدول الآتي:

البيانات	طاقة المواد الناتجة (kJ)	التحوّل الحراري	طاقة المعقّد المنشّط بوجود عامل مساعد	طاقة التنشيط للتفاعل العكسي من دون عامل مساعد
50	+20	70	110	

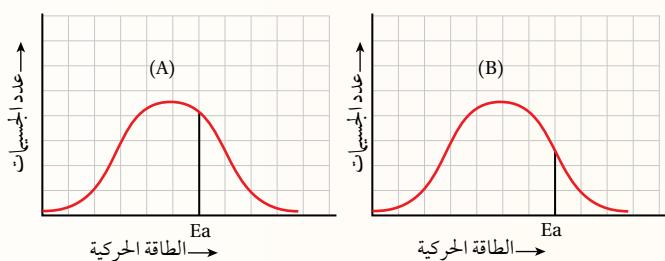
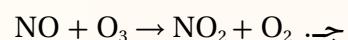
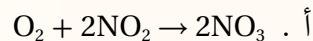
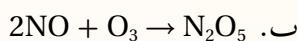
- قيمة طاقة المواد المتفاعلة.
- قيمة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.
- قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي من دون عامل مساعد.
- قيمة طاقة المعقّد المنشّط للتفاعل من دون عامل مساعد.
- هل التفاعل ماضٌ لطاقة الحرارية أم طارد لها؟
- طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد.
- تأثير العامل المساعد في كل من: طاقة المواد المتفاعلة، طاقة تنشيط التفاعل العكسي، طاقة المعقّد المنشّط، التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل، زمن حدوث التفاعل.
- في التفاعل الافتراضي: $A + B \rightleftharpoons C + D$ ، إذا كانت طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي 55 kJ وطاقة المواد الناتجة 15 kJ ، فأجد قيمة كل مما يأتي بوحدة (kJ):
 - طاقة التنشيط للتفاعل العكسي.
 - طاقة المعقّد المنشّط.

7. اختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

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



إن المعادلة الكيميائية التي تمثل هذا التفاعل، هي:



2. يبيّن الشكل المجاور طاقة التنشيط وعدد الجسيمات التي تمتلكها لتفاعلها افتراضيين لهما الرمزان الافتراضيان (A ، B). 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 لتفاعل A أكبر من طاقة التنشيط لتفاعل B.

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

3. في تفاعل لقطعة من الصوديوم Na وقطعة من الألمنيوم Al لهما الكتلة نفسها مع حمض الهيدروكلوريك HCl المُخفَّف، 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. تؤدي إضافة العامل المساعد لتفاعل الكيميائي إلى انخفاض:

أ. قيمة التغيير في المحتوى الحراري ΔH .

ب. طاقة وضع المواد المتفاعلة.

ج. طاقة التنشيط لتفاعل.

5. في التفاعل الافتراضي الآتي: $\text{Y} \xrightarrow{50 \text{ kJ}} \text{X} + \text{Z}$ ، 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

تقليل تلف الأطعمة

تزداد سرعة التفاعل بزيادة درجة الحرارة؛ فعند إعداد الطعام تزيد درجة الحرارة لإنضاجه. ولكن ترك الأطعمة في درجة حرارة الغرفة مدةً طويلة يؤدي إلى تلفها؛ بسبب حدوث تفاعلات كيميائية، فالتفاعلات الكيميائية التي تسبب تلف الأطعمة تكون أسرع كثيراً 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 والتجميف، أيضاً تُستخدم مواد تسمى المُثبّطات 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 ولا سيما 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 مركبات كيميائية لها رموز وأرقام، مثل المركبات E – 220، الذي يدخل ثاني أكسيد الكبريت SO_2 في تركيبها الأساسي وتُستخدم في حفظ الفواكه.



مراجعة الوحدة

1. أوضح 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.

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

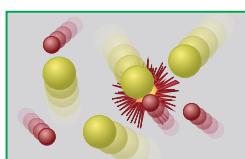
ب. أحسب سرعة التفاعل خلال الفترة الزمنية (2 - 0).

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

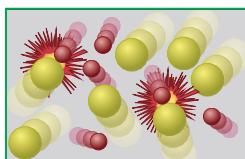
التركيز (M)	الزمن S
6	0
4	2
2	5
?	9

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

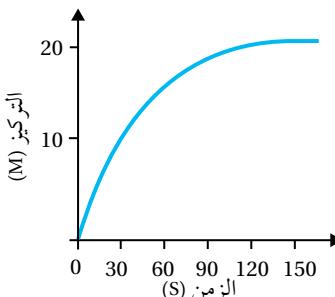
أحسب سرعة تكوين C، علمًا أن سرعة استهلاك B تساوي 0.12 M.s^{-1}



(أ)



(ب)



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

أ. أحدد الزمن اللازم لإتمام التفاعل.

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

ج. أستنتج هل المادة متفاعلة أم ناتجة.

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

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



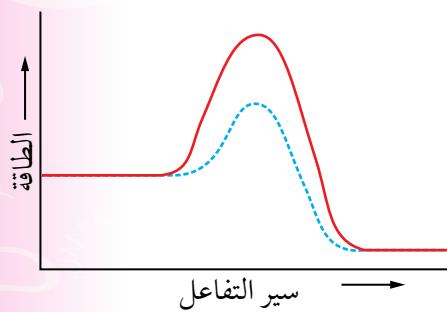
الشكل (أ)



الشكل (ب)

8. أتوقع من الشكلين الآتيين (أ) و(ب) الشرط الذي أدى إلى حدوث التفاعل الكيميائي، ثم أفسّر إجابتي.

مراجعة الوحدة



9. يُمثّل الشكل الآتي سير تفاعل بوجود عامل مساعد، ومن دون عامل مساعد، أحدهما على الشكل كلاً من:
- طاقة المعقد المنشط بوجود عامل مساعد، طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد، طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود مساعد، التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل، الانخفاض في طاقة المعقد المنشط نتيجة إضافة عامل مساعد.

10. بين الجدول المجاور بيانات لتفاعل افتراضي: $XY \rightarrow XY$ ، عند درجة حرارة معينة، إذا علمت أن 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، فأُجب عن الأسئلة الآتية:

- أ. أكتب قانون سرعة التفاعل.
ب. أجد قيمة (k) ووحدته.

ج. أحسب قيمة السرعة الابتدائية W في التجربة 3.

11. بين الجدول المجاور بيانات لتفاعل افتراضي: نواتج $\rightarrow A + B + C$ عند درجة حرارة معينة:

التجربة	[A] M	[B] M	[C] M	السرعة الابتدائية لتفاعل 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. اختار رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

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

د. 3

ج. 2

ب. 1

أ. صفرًا.

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

- ب. يقلل من طاقة المعقد المنشط.
د. يزيد من طاقة النواتج.

3. عند زيادة مساحة سطح المادة المتفاعلة المُعرَّض لتفاعل عند الظروف نفسها، فإن العبارة الصحيحة:

- أ. تقل سرعة التفاعل. ب) يزداد التركيز. ج. تزداد عدد التصادمات الفعالة. د. تقل درجة الحرارة.

4. إذا كانت طاقة التنشيط لتفاعل الأمامي 70 kJ وكان التغيير في المحتوى الحراري $50 \text{ kJ} -$ ؛ فإن طاقة التنشيط

لتفاعل العكسي تساوي بوحدة kJ :

أ. 20

ب. 50

د. 120

ج. 70

5. تؤدي زيادة درجة حرارة التفاعل إلى:

- ب. تقليل سرعة التفاعل.
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 ثلاثة مرات مع ثبات تركيز A ضاعفت سرعة التفاعل تسعة مرات. إن قانون سرعة هذا التفاعل:

$$R = k [A]^2 [B]^1 \quad \text{أ. } R = k [B]^2 \quad \text{ب. } R = k [A]^1 [B]^1 \quad \text{ج. } R = k [A]^2 \quad \text{د. } R = k [A]^1 [B]^2$$

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:

$$\text{أ. } +20 \quad \text{ب. } -20 \quad \text{ج. } +120 \quad \text{د. } -120$$

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

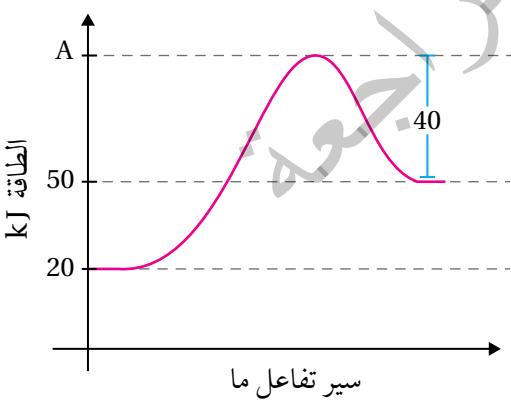
* في تجربة ما، تم الحصول على البيانات الآتية عند درجة حرارة مُعينة لتفاعل مادتين A و B وسُجلت في الجدول المجاور. أتمال الجدول ثم أجي布 عن الفقرتين (9، 10) الآتى:

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

$$\text{أ. } 0.4 \quad \text{ب. } 0.04 \quad \text{ج. } 0.004 \quad \text{د. } 0.0004$$

10. أستنتج: أي التراكيز الآتية يعد صحيحاً للمادتين A، و B في التجربة رقم (3)؟
أ. $0.07 = [B]$ ، $0.03 = [A]$. ب. $0.01 = [B]$ ، $0.08 = [A]$. ج. $0.02 = [B]$ ، $0.04 = [A]$. د. $0.08 = [B]$ ، $0.09 = [A]$.

13. يُبيّن الشكل المجاور تغير الطاقة خلال سير التفاعل. أدرس الشكل، ثم أجي布 عمّا يأتي:



ما قيمة كلّ مما يأتي:
أ. طاقة المعقد المنشّط.
ب. التغير في المحتوى الحراري.
ج. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.
د. إذا أضيف عامل مساعد كتلته 3 g، وانخفضت طاقة المعقد المنشّط بمقدار 10 kJ، فما قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بعد إضافة العامل المساعد؟
هـ. ما كتلة العامل المساعد بعد انتهاء التفاعل؟

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

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

الكيمياء الكهربائية

Electrochemistry

قبل الالتحاق بالجامعة

أتَأْمَلُ الصورة

هل تسأّلت يوماً عن القوّة الهائلة الكامنة خلف انطلاق صاروخ إلى الفضاء؟ تنتج هذه القوّة 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؛ مما يؤدي إلى دفع الصاروخ وانطلاقه من منصة الإطلاق، بفضل تفاعلات التأكسد والاختزال. فما المقصود بتفاعلات التأكسد والاختزال؟ وما التطبيقات العملية المرتبطة بها؟

الفكرة العامة:

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

الدرس الأول: التأكسد والاختزال

الفكرة الرئيسية: تفاعلاً التأكسد والاختزال متلازمان؛ إذ تُحدَّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت عن طريق التغيير في أعداد التأكسد، ويمكن موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل.

الدرس الثاني: الخلايا الجلفانية

الفكرة الرئيسية: تتحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في الخلية الجلفانية عن طريق تفاعل تأكسد واحتزال تلقائي الحدوث، ويعتمد فرق الجهد الناتج على جهود الاختزال المعيارية للأقطاب المكونة لها.

الدرس الثالث: خلايا التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسية: تُستخدم الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل تأكسد واحتزال غير تلقائي في خلايا التحليل الكهربائي.

تجربة استهلاكية

تفاعل بعض الفلزات مع حمض الهيدروكلوريك HCl

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

إرشادات السلامة:

- اتباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- التعامل مع الحمض بحذر.

التحليل والاستنتاج:

- أحد الفلزات التي تفاعلت مع حمض الهيدروكلوريك HCl .
- أثبت الفلزات حسب نشاطها في تفاعلها مع الحمض.
- أكتب معادلات كيميائية موزونة للفلزات التي تفاعلت مع الحمض.
- أحد التغيير الذي طرأ على شحنة كل فلز في التفاعلات السابقة. ما نوع التفاعل؟

خطوات العمل:

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

2 أقيس. أضع باستخدام المخبر المدرج 10 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl في كل أنبوب.

3 لاحظ. أنظف شريط المغنيسيوم جيداً باستخدام ورق الصنفرة، ثم أضعه في أنبوب الاختبار رقم (1) وأرجه بلطف. هل حدث تفاعل؟ ما الدليل على حدوثه؟ أسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.

4 أجرِب. أكرر الخطوات السابقة باستخدام حبيبات الخارصين وحبيبات الألمنيوم وسلك النحاس. هل حدث تفاعل؟ هل تختلف الفلزات في نشاطها في التفاعل مع الحمض؟ أسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.

5 أنظم البيانات. أسجل ملاحظاتي حول تفاعل الفلزات المستخدمة مع حمض HCl في الجدول الآتي:

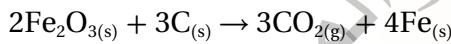
جدول البيانات:

النشاط	تصاعد غاز H_2	حدوث تفاعل	الفلز
أنشط، أقل نشاطاً، لم يتفاعل	نعم، لا	نعم، لا	Mg

مفهوم التأكسد والاختزال

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

وتعُد 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 لتسخيرها بحرق الوقود عن طريق تفاعلات تأكسد واحتزال أيضاً، ويتبادر صدأ الحديد عن تفاعلات تأكسد واحتزال تحدث عند تعرض الحديد للهواء الجوي الرطب. فما المقصود بالتأكسد والاختزال؟ وكيف تُحدَّد 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 يوضح التفاعل الآتي:



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



الفكرة الرئيسية:

تفاعل التأكسد والاختزال متلازمان؛ إذ تُحدَّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت عن طريق التغيير في أعداد التأكسد، ويمكن موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل.

نتائج التعلم:

- أوضح مفاهيم التأكسد والاختزال، وعدد التأكسد، والعامل المؤكسد، والعامل المخترز، والتأكسد والاختزال الذاتي.
- أُحدِّد عدد التأكسد لذرات العناصر في المواد المختلفة.
- أوازن معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل.

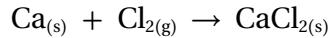
المفاهيم والمصطلحات:

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

الشكل (1): الحديد الناتج عن عملية الاختزال.

ومع مرور الوقت، تطور مفهوم التأكسد والاختزال ليشمل تفاعلاتٍ أخرى لا تتضمن التفاعل مع الأكسجين، فُعرف التأكسد **Oxidation** بأنه فقد المادة للإلكترونات خلال التفاعل الكيميائي، أمّا الاختزال **Reduction** فهو كسب المادة للإلكترونات خلال التفاعل الكيميائي. وَتُعدُّ عمليتاً التأكسد والاختزال متلازمتين؛ تحدث إدراهماً مع حدوث الأخرى، ويسمى التفاعل الذي تحدث فيه عمليتاً التأكسد والاختزال معًا **تفاعلً تأكسد واحتزال Redox Reaction**.

فمثلاً: يتفاعل الكالسيوم مع غاز الكلور حسب المعادلة:



يلاحظ أنَّ كلاً من الكالسيوم والكلور في المواد المتفاعلة مُتعادلاً الشحنة، وأنَّ مركَب كلوريد الكالسيوم الناتج CaCl_2 مركَب أيوني تكون من اتحاد أيون الكالسيوم الموجب Ca^{+2} وأيوني الكلوريد السالب Cl^{-2} ، حيث تكون أيون الكالسيوم نتيجة تأكسد ذرة الكالسيوم بفقد إلكترونين واحتزال ذرتين الكلور في جزيء الكلور Cl_2 ، بحيث تكسب كل ذرة منه إلكترونًا واحدًا. ولتوسيع ذلك؛ يمكن كتابة معادلة التفاعل السابقة على شكل نصفي تفاعل، حيث يوضح نصف التفاعل Half Reaction فقد إلكترونات خلال عملية التأكسد، أو اكتسابها خلال عملية الاختزال كما يأتي:



الاحظ أنَّ عدد الإلكترونات المفقودة خلال عملية التأكسد يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة خلال عملية الاختزال.

المثال ١

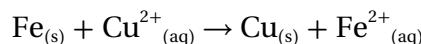
يتفاعل الحديد Fe مع محلول كبريتات النحاس $\text{CuSO}_4 \text{ II}$ حسب المعادلة:



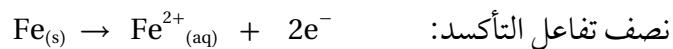
أُحدِّدُ الذرة أو الأيون الذي تأكسد أو اخْتُرُل في التفاعل، وأكتبُ أنصافَ تفاعلات التأكسد والاختزال.

الحل:

أكتبُ معادلة أيونية تمثِّلُ التفاعل:



الاحظ أنَّ ذرة الحديد المتعادلة تأكسدت بفقد إلكترونين متتحولَة لأيون الحديد الموجب Fe^{2+} حسب المعادلة:



وأمّا أيون النحاس Cu^{2+} فقد اخْتُرُل بحسب إلكترونين متَحَوِّلَاً لذرة النحاس المتعادلة، كما في المعادلة الآتية:

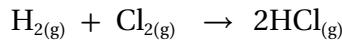


عدد التأكسد Oxidation Number

لا تقتصر تفاعلات التأكسد والاختزال على تكوين مركبات أيونية فقط؛ بل تتضمن أيضاً تكوين مركبات جزيئية ترتبط ذراتُ عناصرها بروابط تساهمية؛ إذ لا تحدث فيها عملية فقدٌ وكسبٌ للإلكترونات بشكلٍ كليٍ.

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

حسب المعادلة:



الرابطة بين ذرّتي الهيدروجين رابطةٌ تساهميةٌ غير قطبيةٌ، وكذلك الرابطة بين ذرّتي الكلور، أمّا بالنسبة إلى كلوريد الهيدروجين فإنَّ الرابطة بين ذرّتي الكلور والهيدروجين رابطةٌ تساهميةٌ قطبيةٌ، ولأنَّ السالبية الكهربائية للكلور أعلى من الهيدروجين يكون زوجُ الإلكترونات الرابطة بين الذرّتين مُزاًحاً باتجاه ذرّة الكلور دون أن يحدث له انتقالٌ كليٌّ، فتظهر على ذرّة الهيدروجين شحنة جزئية موجبة، ويظهر على ذرّة الكلور شحنة جزئية سالبة، كما يوضّح الشكل (2).

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

يعرفُ **عدد التأكسد Oxidation Number** بأنه الشحنة الفعلية لأيون الذرة في المركّبات الأيونية، أمّا في المركّبات الجزيئية (التساهمية) فيعرّفُ بأنه الشحنة التي يفترض أن تكتسبها الذرة المكونة للرابطة التساهمية مع ذرّة أخرى في ما لو انتقلت الإلكترونات الرابطة كلياً إلى الذرّة التي لها أعلى سالبية كهربائية. وبناءً عليه؛ يكون عدد تأكسد الهيدروجين (+1) في جزيء HCl ، وعدد تأكسد الكلور (-1).

قواعد أساسية لحساب أعداد التأكسد

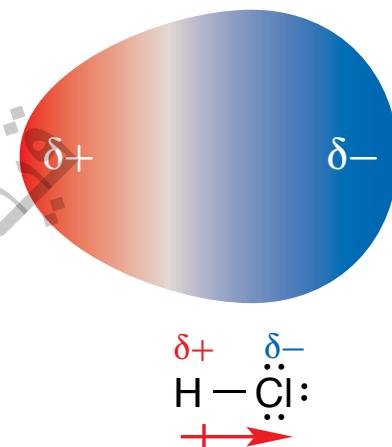
Basic Rules to Assign Oxidation Numbers

لمعرفة أعداد التأكسد لذرات العناصر المختلفة والتغييرات التي تحصل لها في تفاعلات التأكسد والاختزال؛ وُضعت مجموعة من القواعد لحسابها، كما في

الجدول (1) الآتي:

الجدول (1): قواعد حساب أعداد التأكسد.

الرقم	قواعد أساسية لحساب أعداد التأكسد		
عدد التأكسد	مثال		
0	C		
0	N_2	عدد تأكسد ذرّة العنصر الحُرّ يساوي صفرًا، سواءً وُجدَ على شكل ذراتٍ أو جزيئات.	1
0	S_8		
+2	Cu^{2+}	عدد تأكسد الأيون أحادي الذرّة يساوي شحنته هذا الأيون.	2
-2	S^{2-}		



الشكل (2): الرابطة التساهمية القطبية في جزيء HCl .

+1 +2 +3	Li ₂ O في Li CaO في Ca AlF ₃ في Al	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	HF في H NaH في H BaH ₂ في H	عدد تأكسد الهيدروجين في معظم مركباته (+1)، ما عدا عندما يرتبط مع الفلزات مكوناً هيدريد الفلز؛ فيكون حينئذ (-1).	4
-2 -1 +2	H ₂ O في O K ₂ O ₂ في O OF ₂ في O	عدد تأكسد الأكسجين في معظم مركباته (-2)، ما عدا فوق الأكسيد، فيكون حينئذ (-1)، وعندما يرتبط مع الفلور يكون موجباً.	5
-1 -1 +1 +3	NaF في F Kl في I ClF في Cl HBrO ₂ في Br	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 سالبيته الكهربائية أعلى فيكون عدد تأكسده موجباً، وترتيبها حسب السالبية الكهربائية: Cl > Br > I	6
مجموع أعداد التأكسد لجميع ذرات أو أيونات العناصر المكونة للمركب المتعادل يساوي صفرًا.			7
مجموع أعداد التأكسد لجميع ذرات العناصر المكونة لأيون متعدد الذرات يساوي شحنة هذا الأيون.			8

المثال 2

أُحدّد عدد التأكسد لذرة عنصر الكبريت في المركبات 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، ثم أُحدّد بناءً على القواعد الواردة في الجدول أعداد تأكسد ذرات العناصر المعلومة، ثم أطبق القاعدة رقم 7، أو القاعدة رقم 8 إذا كانت الصيغة تمثل أيوناً.

أ) SO_2^{-2}

عدد ذرات الأكسجين في المركب 2، وعدد تأكسد كل ذرة أكسجين يساوي 2 - (حسب القاعدة 5)، وعدد ذرات الكبريت في المركب 1، والمطلوب حساب عدد تأكسد الكبريت فيه، (حسب القاعدة 7). ومن ثم، مجموع أعداد تأكسد لجميع العناصر الداخلية في تكوين المركب جماعتها يساوي صفرًا؛ أي أن: (عدد تأكسد الأكسجين × عدد ذرات الأكسجين) + (عدد تأكسد الكبريت × عدد ذرات الكبريت) = صفرًا

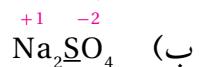
$(\text{oxidation No of O} \times \text{No of atoms of O}) + (\text{oxidation No of S} \times \text{No of atoms of S}) = 0$

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

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

$$\text{N}_{\text{oxid S}} = +4$$

أي أنَّ عدد تأكسد الكبريت = +4



الاحظ أنَّ الصيغة تمثل مرَّكباً متعادلاً، وعليه، أطبق القاعدة 7:

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

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

$$\text{N}_{\text{oxid S}} = +6$$



يلاحظ أنَّ المادة هي أيون شحنته 1-. وعليه، أطبق القاعدة 8:

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

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

$$\text{N}_{\text{oxid S}} = -2$$

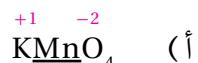
يلاحظ أنَّ عنصر الكبريت في مرَّكباته السابقة أعداد تأكسد (+4، +6، -2) بالترتيب؛ فيعني ذلك أنه قد يكون لذرات العنصر الواحد أكثر من عدد تأكسد في مرَّكباته أو أيوناته المختلفة.

المثال 3

أُحدِّد عدد التأكسد للذرة العنصر الذي تحته خطٌ في المرَّكبات أو الأيونات الآتية:



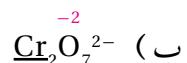
الحل:



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

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

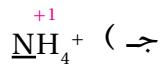
$$\text{N}_{\text{oxid Mn}} = +7$$



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

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

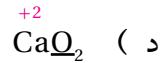
$$\text{N}_{\text{oxid Cr}} = +6$$



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

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

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

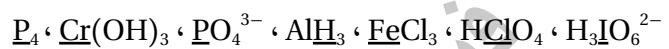


$$(N_{\text{oxid Ca}} \times N_{\text{Ca atoms}}) + (N_{\text{oxid O}} \times N_{\text{O atoms}}) = 0$$

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

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

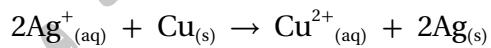
أتحقق: أحدد عدد التأكسد لذرة العنصر الذي تحته خط في كل من المركبات أو الأيونات الآتية:



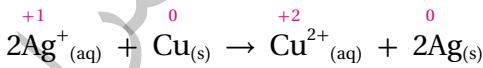
التغير في أعداد التأكسد Changes of Oxidation Numbers

يُستفاد من حساب أعداد التأكسد في معرفة ذرات أو أيونات العناصر التي تأكسدت أو اخترلت في تفاعلات التأكسد والاختزال.

فمثلاً: يتفاعل النحاس مع محلول نترات الفضة مكوناً محلولاً نترات النحاس، وترسب الفضة وفق المعادلة الأيونية الآتية:



لمعرفة الذرات أو الأيونات التي تأكسدت أو اخترلت تحسب أعداد التأكسد ويلاحظ التغيير فيها.



الاحظ 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 يدل النقص في عدد التأكسد على حدوث عملية اختزال، وتدل الزيادة في عدد التأكسد على حدوث عملية تأكسد؛ أي أنّ أيونات الفضة Ag^+ في التفاعل قد اخترلت، أمّا ذرات النحاس Cu فقد تأكسدت، ويمكن توضيح ذلك باستخدام أنصاف تفاعلات التأكسد والاختزال كالتالي:

نصف تفاعل التأكسد/زيادة في عدد التأكسد: $\text{Cu}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^-$

نصف تفاعل الاختزال/نقصان في عدد التأكسد: $2\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Ag}_{(\text{s})}$

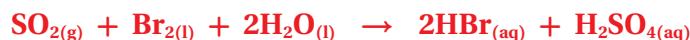
أي أنّ تغييراً في أعداد التأكسد يحدث في تفاعلات التأكسد والاختزال؛ فزيادة أعداد التأكسد تحدث لذرات أو أيونات العناصر التي تتأكسد، أمّا نقصان أعداد التأكسد فيحدث لذرات أو أيونات العناصر التي تختزل، والمثال (4) يوضح ذلك.



أصمّم - باستخدام

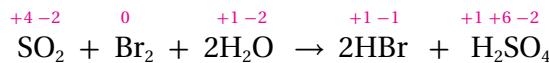
برنامِج السكراتش (Scratch) عرضاً يوضح مفهوم تفاعل التأكسد والاختزال، وعلاقته بالتغيير في أعداد التأكسد، وأمثلة عليه، ثم أشارةً زملائي/ زميلاتي في الصف.

أُحدِّدُ الذرّات التي تأكسّدت والذرّات التي اختُزلت في التفاعل الآتي:



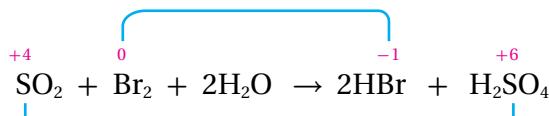
الحل:

1- أُحدِّدُ أعدادَ التأكِيد لجُمِيعِ الذَّرَّاتِ فِي الْمَوَادِ الْمُتَفَاعِلَةِ وَالنَّاتِجَةِ:



2- أُحدِّدُ التغييرَ في أعدادِ التأكيد:

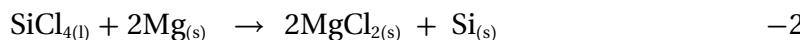
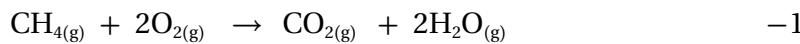
نقصان عدد تأكسد Br من 0 إلى 1 - / اختزال



زيادة عدد تأكسد S من +4 إلى +6 / تأكسد

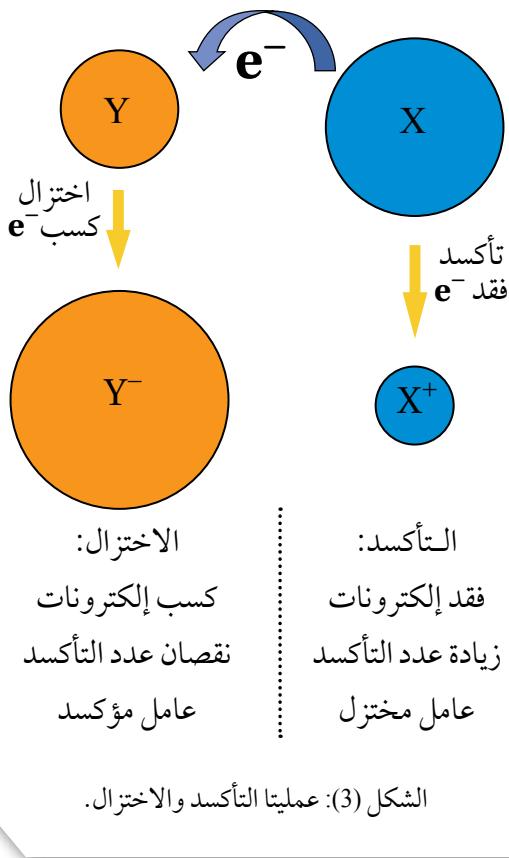
الاحظ أن عدد تأكسد ذرة الكبريت S قد تغير من $+4 \leftarrow +6$; أي أنه زاد بمقدار 2، ومن ثم فإنَّ الكبريت تأكسد، وكذلك عدد تأكسد ذرة البروم Br تغير من (صفر $\leftarrow -1$); أي أنه قلَّ بمقدار 1 لكلَّ ذرة بروم، ومن ثم فإنَّ البروم اخترِّل، كما لاحظ عدم تغير أعداد تأكسد كُلٌّ من ذرات الهيدروجين والأكسجين أي أنه لم يحدث لهما تأكسد أو اخترال في التفاعل، فالذرة التي تأكسدت هي الكبريت في SO_2 والذرتان اللتان اخترِّلتا هما ذرتا البروم في Br_2 .

أتحقق: أحدد الذرات التي تأكسدت والذرات التي احتزلت اعتماداً على التغيير في أعداد التأكسد في التفاعلات الآتية:



العوامل المؤكسدة والعامل المُختزلة

Oxidizing Agents and Reducing Agents



يعرف **العامل المؤكسد** **Oxidizing Agent** أنه المادة التي تؤكسد مادةً أخرى في التفاعل الكيميائي؛ فيكتسب إلكترونات من المادة التي يؤكسدها، وتحدث له عملية اختزال. ومن الأمثلة على العوامل المؤكسدة: F_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KMnO_4 .

ويعرف **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 .

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

المثال 5

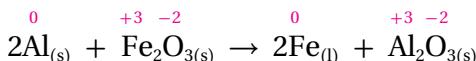
يُعد تفاعل الشير مait أحد تفاعلات التأكسد والاختزال المهمة، حيث يتفاعل الألمنيوم مع أكسيد الحديد III لتكوين أكسيد الألمنيوم، والحديد، وكمية كبيرة من الطاقة كافية لصهر الحديد الناتج؛ حسب المعادلة الآتية:



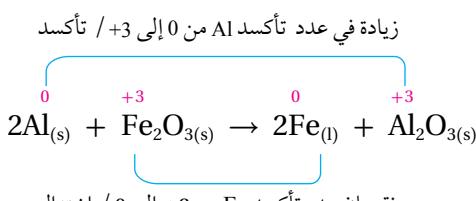
أحد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل.

الحل:

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



2- أحدد التغيير في أعداد التأكسد:



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

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

3- أَحَدُّ العامل المؤكسد والعامل المُختزل:

لأنَّ ذرات الألمنيوم Al تأكسدت واحتزَّلت أيونات الحديد (Fe^{3+}) في Fe_2O_3 ؛ فهو عامل مختزل، أمّا أيونات الحديد (Fe^{3+}) فأكسدت ذرات الألمنيوم وحدثت لها عملية اختزال؛ لذلك يُعدُّ أكسيد الحديد (III) (Fe_2O_3) عاملًا مؤكسدًا. يلاحظ أنه على الرغم من أنَّ أيونات الحديد (Fe^{3+}) فقط هي التي اختزلت في التفاعل؛ فإنَّ المركَّب Fe_2O_3 كاملاً يُعدُّ عاملًا مؤكسدًا، وهو ما ينطبق على تفاعلات التأكسد والاختزال كافة؛ حيث يُعدُّ المركَّب الذي تتأكسد إحدى ذرَّاته عاملًا مُختزلًا، والمركَّب الذي تُختزل إحدى ذرَّاته عاملًا مؤكسدًا.

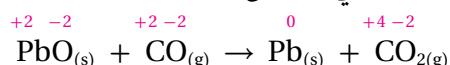
المثال 6

أَحَدُّ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل الآتي:



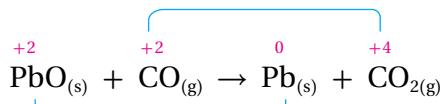
الحل:

أَحَدُّ أعداد التأكسد لجميع الذرَّات في التفاعل:



أَحَدُّ التغيير في أعداد التأكسد:

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

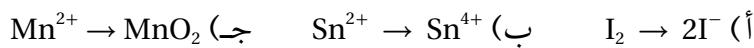


نقصان عدد تأكسد Pb من +2 إلى 0 / اختزال

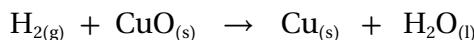
لاحظ نقصان عدد تأكسد أيون الرصاص من +2 في PbO ← صفر في Pb ؛ أي أنه اختزل، وزيادة عدد تأكسد ذرة الكربون من +2 في CO ← +4 في CO_2 ؛ أي أنها تأكسدت، أمّا عدد تأكسد الأكسجين فلم يتغير، ومن ثم فإنَّ CO عامل مُختزل؛ لأنَّه اختزل الرصاص في PbO ، و PbO عامل مؤكسد؛ لأنَّه أكسد الكربون في CO .

أَتَحَقَّقَ:

1- هل يحتاج حدوث التحولات الآتية إلى عامل مؤكسد أم عامل مُختزل؟
أَفْسُرُ إجابتي.



2- أَحَدُّ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل الآتي:



الربط مع الحياة

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



فستعيد القطع الفضية لمعانها وبريقها.

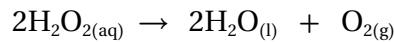


التأكسد والاختزال الذاتي Autoxidation-Reduction Reaction

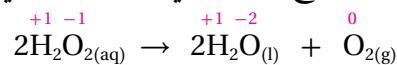
تضمّن تفاعلات التأكسد والاختزال وجود عامل مؤكسد وعامل مُختزل، ولكن وُجد في بعض التفاعلات أنَّ المادة نفسها تسلك عاملًا مؤكسداً وعاملًا مُختزالاً في التفاعل نفسه،

ويسمى **تفاعل تأكسد واختزال ذاتي Reaction Autoxidation–Reduction**

فمثلاً: يتحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 حسب المعادلة:



أُحدِّد أعداد التأكسد لجميع الذرات في التفاعل كالتالي:



لاحظ عدم تغيير عدد تأكسد الهيدروجين؛ أمّا الأكسجين فقد اخترل وقلَّ عدد تأكسده من (-1 في H_2O_2 إلى -2 في H_2O)، فيكون H_2O_2 عاملًا مؤكسداً، كما تأكسد الأكسجين وزاد عدد تأكسده من (-1 في H_2O_2 إلى 0 في O_2)، فيكون H_2O_2 عاملًا مُختزالاً؛ ولأنَّ التأكسد والاختزال حدثاً للعنصر نفسه وهو الأكسجين في H_2O_2 ؛ فالتفاعل يمثُّل تأكسداً وختزالاً ذاتياً.

المثال 7

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



أُبَيِّن، لماذا يُعدُّ التفاعل أعلاه مثلاً على تفاعلات التأكسد والاختزال الذاتي.

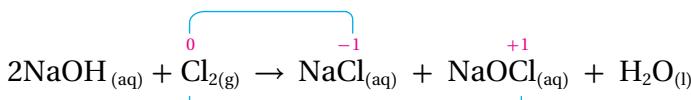
الحل: أحسب أعداد التأكسد للذرات والأيونات جميعها في التفاعل كما يأتي:



ألاحظ أنَّ أعداد التأكسد لجميع العناصر في المعادلة لم تتغيَّر باستثناء عدد التأكسد للكلور.

أُحدِّد التغيير في أعداد التأكسد:

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

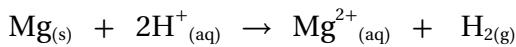


زاد عدد تأكسد الكلور من (صفر $\leftarrow +1$) / تأكسد

ألاحظ حدوث تأكسد لذرة الكلور وزيادة عدد تأكسدها (من صفر في Cl_2 إلى +1 في ClO^-)، وبذلك فإنَّ Cl_2 سلك عامل مُختزل، وكذلك حدث اختزال لذرة الكلور الثانية وقلَّ عدد تأكسدها (من صفر في Cl_2 إلى -1 في Cl^-)، وبذلك فإنَّ Cl_2 سلك عامل مؤكسد؛ أي أنَّ التأكسد والاختزال حدثاً للعنصر نفسه في التفاعل. وعليه؛ فإنَّ التفاعل يمثُّل تفاعلاً تأكسد وختزال ذاتياً.

موازنة معادلات التأكسد والاختزال

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



يلاحظ أنَّ عدد ذرَّات 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). ولمَّا كانت موازنة معادلات التأكسد والاختزال جميعها بطريقة المحاولة والخطأ غير ممكنة؛ فقد طوَّرَ 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، ثمَّ موازنة كل نصف تفاعل منفرداً من حيث أعداد الذرَّات والشحنات، ثمَّ مساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة لنصفي التفاعل، يليها جمع نصفي التفاعل للحصول على المعادلة الموزونة، والمثال الآتي يوضح ذلك:

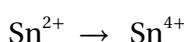
المثال 8

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 إلى +4)



نصف تفاعل اختزال (قلَّ عدد تأكسد Fe من +3 إلى +2)



أوازن الذرَّات في كل نصف تفاعل:



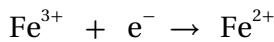
الاحظ أنَّ عدد الذرَّات متساوٍ في طرفي المعادلة لكل نصف تفاعل.

أوازن الشحنات:

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

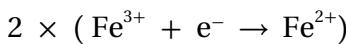


أمّا في نصف تفاعل الاختزال؛ فلا بدّ من إضافة إلكترون واحد إلى طرف المواد المتفاعلة كي يصبح مجموع الشحنات على طرفي المعادلة متساوياً:

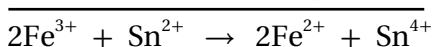
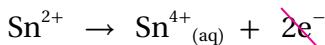


أُساوي عدد الإلكترونات المكتسبة والمفقودة:

الاحظ 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 نصف تفاعل الاختزال $\times 2$



أجمع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:

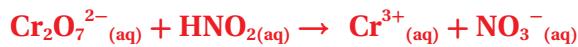


ويمكن التتحقق من صحة الموازنة بمقارنة أعداد الذرّات على طرفي المعادلة والتأكد من تساويها، والتأكد أنّ المجموع الجبّري للشّحنات على طرفي المعادلة متساوٍ، مع الانتباه إلى عدم ظهور الإلكترونات في المعادلة النهائية.

تحدث معظم تفاعلات التأكسد والاختزال في المحاليل المائية في أوساط حمضية أو قاعدية؛ لذلك فإنّ خطوات موازنة معادلاتها تحتاج إلى خطوات إضافية بحسب طبيعة الوسط، وهذا ما سيُوضح في الأمثلة اللاحقة.

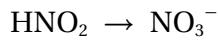
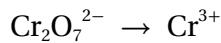
موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل في وسط حمضي عند حدوث تفاعل التأكسد والاختزال في وسط حمضي؛ فإنّ الماء وأيونات الهيدروجين يكونان جزءاً من التفاعل؛ لذلك يُستخدمان في موازنة معادلات تفاعلات التأكسد والاختزال، ولمعرفة كيفية إجراء ذلك؛ أدرس المثال الآتي:

أوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط الحمضي:

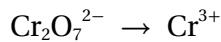


خطوات الحل:

1- أقسام معادلة التفاعل إلى نصفي تفاعل، وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والنتاجة:



2- اختار أحد نصفي التفاعل وأوازنه باتباع الخطوات الآتية:



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



ضرب (2) في طرف نصف التفاعل:

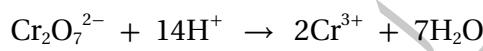
ب. أوازن ذرات الأكسجين بإضافة عدد من جزيئات الماء H_2O إلى طرف المعادلة الذي يحتوي على عدد أقل من ذرات الأكسجين بمقدار النقص فيها.

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

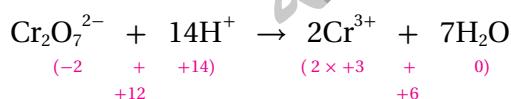


ج. أوازن ذرات الهيدروجين بإضافة عدد من أيونات الهيدروجين H^+ إلى طرف المعادلة الذي يحتوي على عدد أقل من ذرات الهيدروجين بمقدار النقص فيها.

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



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



لاحظ أن المجموع الجبri للشحنات على الطرف الأيسر للمعادلة يساوي (+12)، أمّا على طرفها الأيمن فيساوي (+6)؛ لذلك يضاف 6e^- إلى الطرف الأيسر، فيصبح المجموع الجبri للشحنات على طرفيها متساوياً (6+):

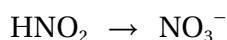


$$(12 - 6) = +6$$

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



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



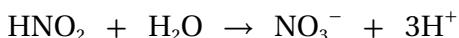
أ. أوزان الذرات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أنَّ عدد ذرات النيتروجين متساوٍ على طرفي المعادلة:



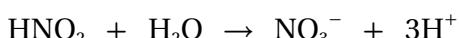
ب. أوزان ذرات الأكسجين؛ بإضافة H_2O إلى الطرف الأيسر من المعادلة:



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



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



صفر
صفر
صفر

صفر
صفر
صفر

- 1 + 3 = +2
+2



صفر
صفر
صفر

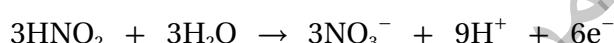
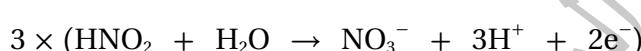
الاحظ أنَّ الإلكترونات أضيفت إلى جهة المواد الناتجة؛ أي أنها مفقودة، لذا؛ فإنَّ المعادلة تمثل نصف تفاعل تأكسد.

وبذلك أصبح نصف التفاعل متوازنين كل على حدة:



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

لذلك، سُيُضرب نصف تفاعل التأكسد بالرقم (3) ليصبح عدد الإلكترونات المفقودة (6e^-) متساوياً لعدد

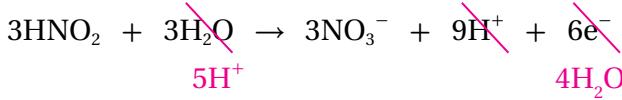


الإلكترونات المكتسبة:

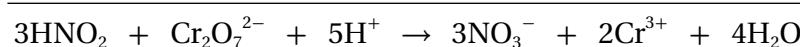
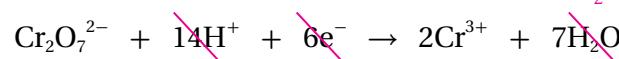
نصف تفاعل التأكسد:

نصف تفاعل الاختزال:

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



5H^+
 $4\text{H}_2\text{O}$

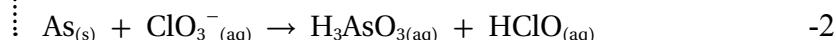
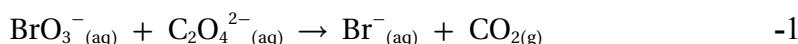


نصف تفاعل التأكسد:

نصف تفاعل الاختزال:

المعادلة الكلية:

أتحقق. أوزان المعادلتين الآتيتين بطريقة نصف التفاعل في الوسط الحمضي،
وأُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في كلٍّ منهما:

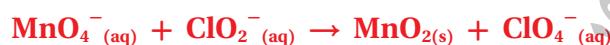


المثال 10

موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل في وسط قاعدي

توازن معادلات التأكسد والاختزال في وسط قاعدي بالخطوات نفسها المتّبعة في موازنتها في الوسط الحمضي، ثمّ يضاف عددٌ من أيونات الهيدروكسيد OH^- مساوٍ لعدد أيونات الهيدروجين H^+ في المعادلة الموزونة في الوسط الحمضي إلى طرف المعادلة؛ حيث تتعادل أيونات الهيدروجين H^+ مع أيونات الهيدروكسيد OH^- مكوّنةً عدّا من جزيئات الماء H_2O ، ثمّ تختَصُّ جزيئات الماء في طرف المعادلة أو تُجمع إذا كانت في الطرف نفسه، بحيث تظهر في أحد أطراف التفاعل الكلّي الموزونة؛ وبذلك نحصل على معادلة موزونة في الوسط القاعدي.

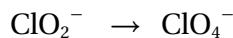
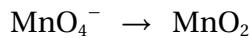
أُوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي:



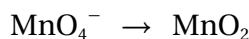
خطوات الحل:

تُطبق خطوات موازنة المعادلة في الوسط الحمضي نفسها أولاً:

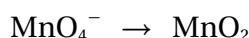
1- أقسامُ معادلة التفاعل إلى نصفي تفاعل، وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والنتاجة:



2- اختارُ أحد نصفي التفاعل، وأُوازنه باتباع الخطوات الآتية:

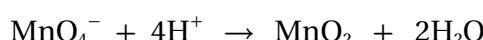


أ. موازنة الذرات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أنّ عدد ذرات المangan Mn متساوٍ على طرف المعادلة:



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

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

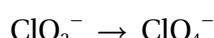


د. أُوازن الشحنات؛ بإضافة (3e^-) إلى طرف المعادلة الأيسر، فيصبح المجموع الجبّري للشحنات على طرفيها متساوياً:

نصف تفاعل اختزال: $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

أُطبّق الخطوات الواردة في الخطوة (2) نفسها في موازنة نصف التفاعل الآخر: $\text{ClO}_2^- \rightarrow \text{ClO}_4^-$

أ. أُوازن الذرات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أنّ عدد ذرات الكلور Cl متساوٍ على طرف المعادلة:



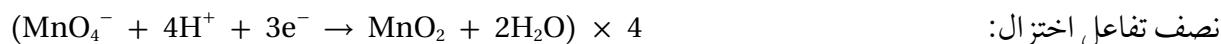
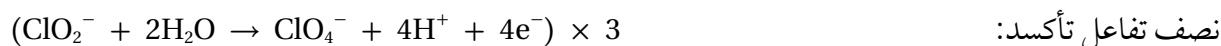
ب. أُوازن ذرات الأكسجين؛ بإضافة $2\text{H}_2\text{O}$ إلى طرف المعادلة الأيسر:

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

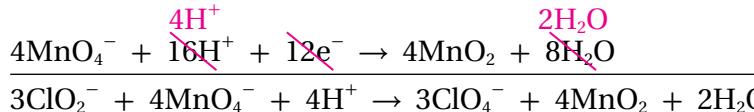
د. أوزان الشحنات؛ بإضافة $(4e^-)$ إلى طرف المعادلة الأيمن، فيصبح المجموع الجبri للشحنات على طرفيها متساوياً:



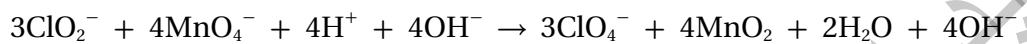
3- أساوي عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة؛ بضرب نصف تفاعل التأكسد $\times 3$ ، ونصف تفاعل الاختزال $\times 4$.



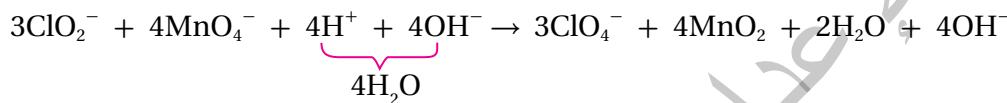
4- للحصول على معادلة التفاعل الكلّي الموزونة في وسط حمضي، أجمع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



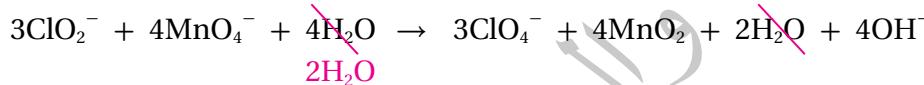
5- أضيف إلى طرفي المعادلة عدداً من أيونات OH^- مساوياً لعدد أيونات H^+ :



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



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

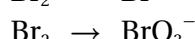
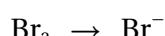


المثال 11

أوزان 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 Br_2 ; لذلك أستخدمها في كل من نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال.



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

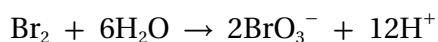
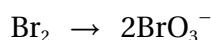
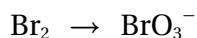
أ. أوزان ذرات البروم بضرب أيون البروميد $\text{Br}^- \times 2$ ، فيصبح نصف التفاعل موزوناً من حيث الذرات.

ب. أوزان الشحنات بإضافة $(2e^-)$ إلى طرف المعادلة الأيسر:



نصف تفاعل الاختزال:

أُطْبِقُ الخطواتِ نفسِها المتبعة في موازنة الذرّات والشحنات في موازنة نصف التفاعل الآخر:

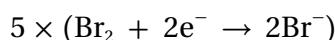


أ. موازنة الذرّات، عدا الأكسجين والهيدروجين:

ب. موازنة ذرّات الأكسجين والهيدروجين:

ج. موازنة الشحنات:

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



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



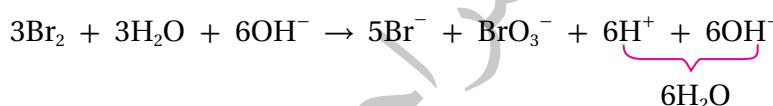
الاحظ أنَّ المعادلة الموزونة ليست في أبسط صورة؛ لذلك أقسمُها على 2 وأكتبُها بأبسط صورة.



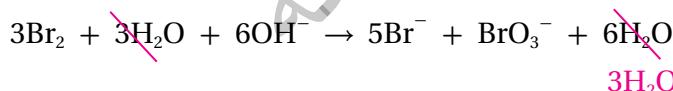
5- أضيفُ 6OH^- إلى طرفي المعادلة:



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

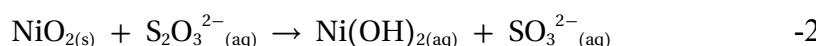
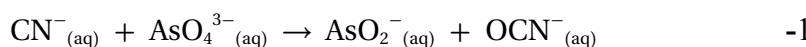


7- اختصر جزيئات الماء، بحيث تظهر في أحد طرفي معادلة التفاعل الكلّي الموزونة في وسط قاعدي.



المعادلة الكلّية:

✓ **أتحقق.** أوازن المعادلتين الآتتين بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي، وأحدّدُ العامل المؤكسد والعامل المُخترل في كُلِّ منهما:

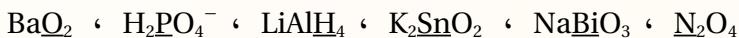


مراجعةُ الدرس

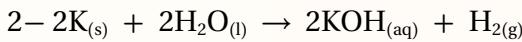
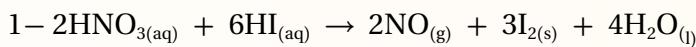
1. الفكرة الرئيسية: تفاعلاً التأكسد والاختزال متلازمان، يحدثان دائمًا معًا، أفسر ذلك.

2. أوضح المقصود بكل من: أ. عدد التأكسد. ب. التأكسد والاختزال الذاتي.

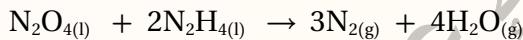
3. أحسب عدد تأكسد العنصر الذي تحته خط في كل مما يأتي:



4. أطبق: أحدد الذرات التي تأكسدت والتي اختزلت في التفاعلات الآتية:



5. أطبق: أدرس المعادلة الموزونة التي تمثل تفاعل N_2H_4 مع N_2O_4 لتكوين غاز N_2 وبخار الماء، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:

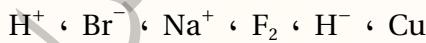


أ. أحدد التغيير في أعداد تأكسد ذرات النيتروجين في التفاعل.

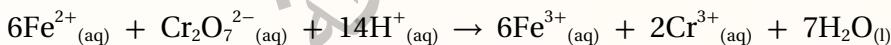
ب. هل تمثل المعادلة تفاعل تأكسد واحتزال ذاتي؟

ج. أحدد العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل.

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



7. أحدد العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل الآتي:



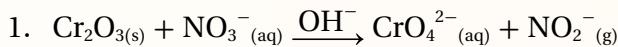
8. أطبق. أوازن أنصاف التفاعلات الآتية بطريقة نصف التفاعل، وأحدد ما إذا كانت المادة تمثل عاملاً مؤكسداً

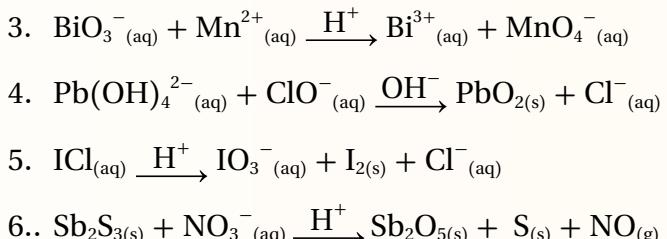
أم عاملاً مُختزلاً: (الوسط الحمضي)

1 - $\text{HSO}_3^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ (الوسط القاعدي)

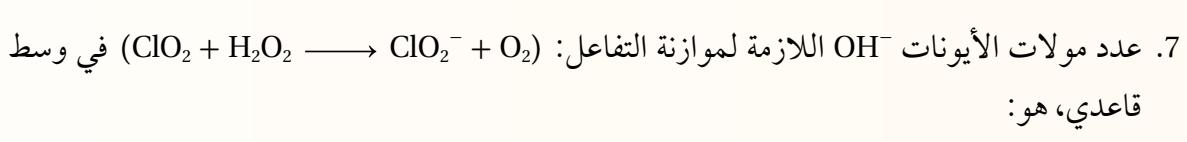
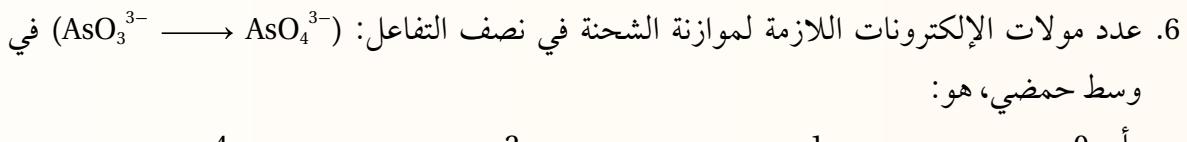
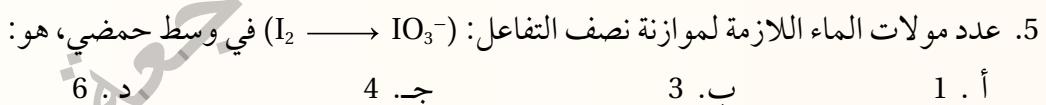
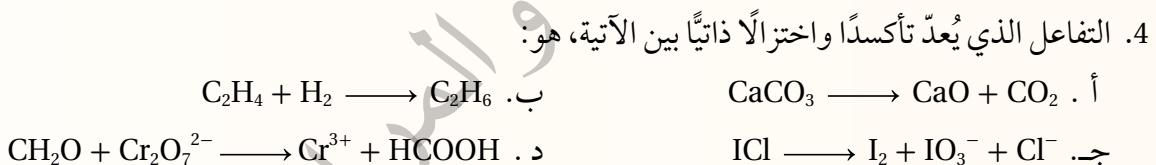
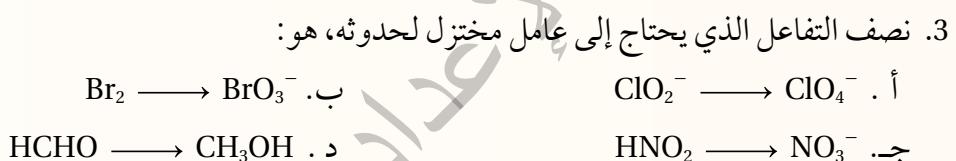
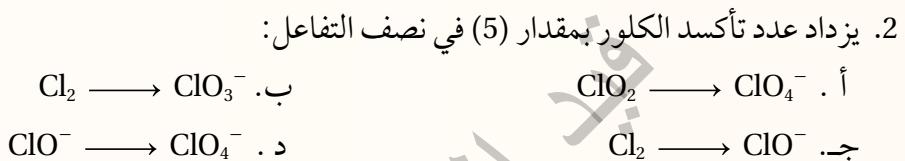
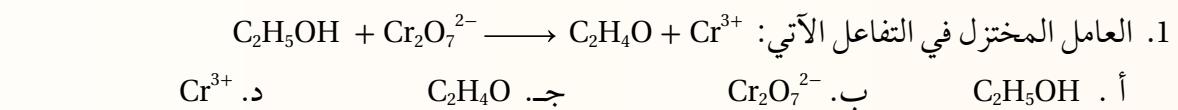
9. أطبق: أوازن معادلات التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل، وأحدد العامل المؤكسد والعامل

المُختزل في كل منها:





10. اختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

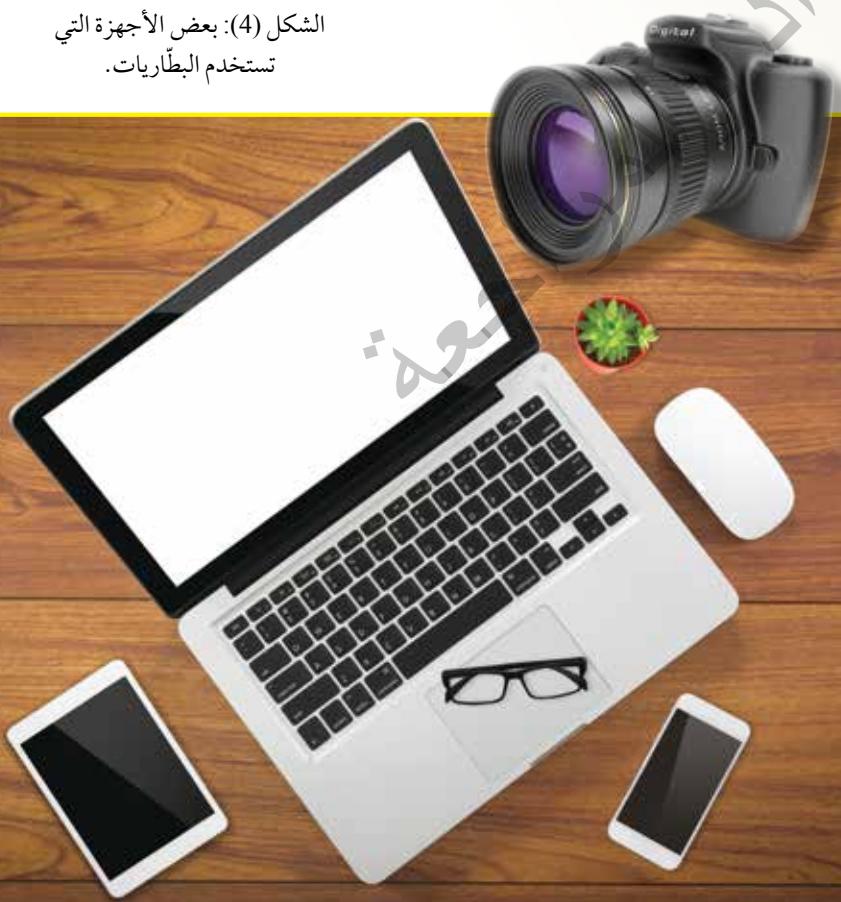


الخلايا الكهروكيميائية Electrochemical Cells

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

تُستخدم **الخلايا الجلفانية** في مجالات واسعة في الحياة؛ فالبطاريات بأنواعها، مثل **البطارية القابلة للشحن** المستخدمة في الهاتف والحواسيب المحمولة، أنظر الشكل (4)، وخلايا الوقود هي **خلايا جلفانية Galvanic Cells** تحدث فيها تفاعلات تأكسد واحتزال 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 والاحتزال فيها؟

الشكل (4): بعض الأجهزة التي تستخدم البطاريات.



الفكرة الرئيسية:

تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في الخلية الجلفانية عن طريق تفاعل تأكسد واحتزال تلقائي الحدوث، ويعتمد فرق الجهد الناتج على جهود الاحتزال المعيارية للأقطاب المكونة لها.

نتائج التعلم:

- أحّدد أجزاء الخلية الجلفانية وبدأ عملها.
- أقيس عملياً القوة الدافعة الكهربائية لعدة خلايا جلفانية.
- أحسب جهد الخلية الجلفانية.
- أوظف جهود الاحتزال المعيارية في تحديد تلقائية تفاعلات التأكسد والاحتزال، وقوة العوامل المؤكسدة والمحترلة.
- أتعرّف بعض التطبيقات العملية للخلايا الجلفانية.

المفاهيم والمصطلحات:

الخلايا الكهروكيميائية
Electrochemical Cells

الخلايا الجلفانية Galvanic Cells

نصف الخلية Half Cell

القنطرة الملحيّة Salt Bridge

جهد الخلية المعياري Standard Cell Potential

قطب الهيدروجين المعياري Standard Hydrogen Electrode

جهد الاحتزال المعياري Standard Reduction Potential

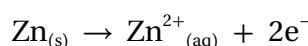
تلقائية التفاعل Spontaneity of Reaction



كيمياء الخلايا الجلافية Chemistry of Galvanic Cells

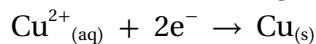
تتكون الخلية الجلافية من وعاءين؛ يسمى كلُّ منهما **نصف خلية Half Cell**، ويحتوي كل وعاء على صفيحة فلزية مغموسة في محلول يحتوي على أيونات الفلز؛ فنصف خلية الخارصين تتكون من صفيحة خارصين Zn مغموسة في محلول يحتوي على أيونات الخارصين Zn^{2+} مثل محلول كبريتات الخارصين، ويعبر عنها بالرمز $\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}$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

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



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

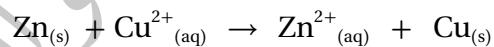
Cu ترسب على قطب النحاس، حسب المعادلة:



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

يسمي القطب الذي يحدث عنده تفاعل التأكسد المصعد Anode؛ وهو قطبُ الخارصين Zn، وشحنته سالبة؛ لأنّه مصدر الإلكترونات بسبب تأكسد ذرّاته، فتقلُّ كتلته، أمّا القطب الذي يحدث عنده تفاعل الاختزال فيسمى المهبط Cathode؛ وهو قطب النحاس Cu، وشحنته موجبة؛ إذ تتحرّك الإلكترونات نحوه، وتزداد كتلته نتيجة اختزال أيونات النحاس وترسبها عليه. أمّا المعادلة الكلية في الخلية الجلفانية؛ فهي مجموع نصفي تفاعل التأكسد

والاختزال:



وقد عَبَرَ الكيميائيون عن الخلية الجلفانية بطريقة مختصرة وسهلة لوصفها:

القنطرة الملحيّة



نصف خلية الاختزال نصف خلية التأكسد

يبدأ بكتابه مكونات نصف خلية التأكسد من اليسار، فتكتب المادة التي يحدث لها تأكسدًّا أو لاً، ثم ناتج عملية التأكسد، ويفصل بينهما خط (|) كالتالي: $\text{Zn}_{(\text{s})}|\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ ، ثم يرسم خطان متوازيان || يرمازان إلى القنطرة الملحيّة، ثم تُكتب مكونات نصف خلية الاختزال، فتكتب المادة التي يحدث لها اختزال، ثم ناتج عملية الاختزال، ويفصل بينهما خط (|) كالتالي: $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}|\text{Cu}_{(\text{s})}$.

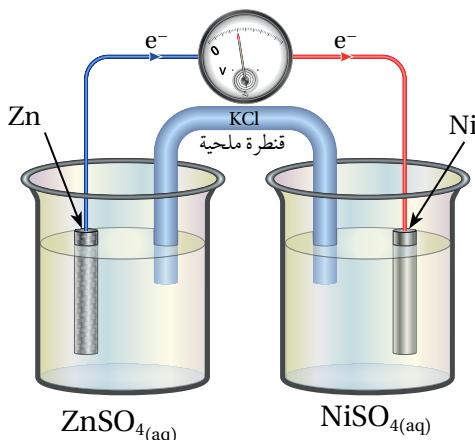
في الخلايا الجلفانية، قد تكون المواد المتفاعلة أيونات ذاتية في محلول أو مواد غير موصلة أو غازية أو سائلة. في هذه الحالة، لا يمكن استخدام هذه الأيونات أو المواد مباشرةً بوصفها أقطاباً كهربائية؛ لأنّها ليست مواد صلبة موصلة للكهرباء. لحل هذه المشكلة، يُستخدم قطب خامل (غير متفاعل) لتوفير سطح موصل يسمح بحدوث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



أصمم - باستخدام

برنامِج مناسب لصناعة الأفلام - فيلماً قصيراً يُوضّح مكونات الخلية الجلفانية، وبدأ عملها، وتحولات الطاقة فيها، ثم أشارَه زملائي / زميلاتي في الصفّ.

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- أُحدِّد كلاً من المصعد والميهبط في الخلية.

2- أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال.

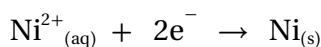
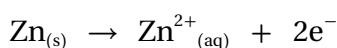
3- أُحدِّد اتجاه حركة الأيونات الموجبة والسلبية من القنطرة الملحية.

4- ما التغيير في كتلة كل من قطب النيكل والخارصين؟

خطوات الحل:

1- يلاحظ من الشكل حركة الإلكترونات من قطب الخارصين باتجاه قطب النيكل؛ أي أنَّ الخارصين Zn يمثل المصعد، والنيكل Ni يمثل الميهبط.

2- أكتب نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال:



نصف تفاعل التأكسد:

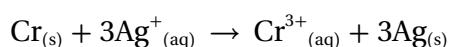
نصف تفاعل الاختزال:

3- تحرَّك الأيونات السالبة Cl^- من القنطرة الملحية باتجاه نصف خلية الخارصين $Zn^{2+}|Zn$ ، وتتحرَّك الأيونات الموجبة K^+ من القنطرة الملحية إلى نصف خلية النيكل $Ni^{2+}|Ni$.

4- تقلُّ كتلة قطب الخارصين نتيجة تأكسد ذرَّاته وتحوُّلها إلى أيونات Zn^{2+} تنتقل إلى محلول، وتزداد كتلة قطب النيكل نتيجة اختزال أيوناته Ni^{2+} وترسبها على القطب.

✓ **أتحقق:**

في الخلية الجلفانية التي يحدث فيها التفاعل الآتي:



1- أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال.

2- أُحدِّد كلاً من المصعد والميهبط واتجاه حركة الإلكترونات في الدارة الخارجية.

3- أُحدِّد 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 القوّة الدافعة الكهربائية المُتولدة بين قطبي الخلية بسبب فرق الجهد بين القطبين، حيث يزداد بزيادة ميل كلٌ من نصفِي تفاعل التأكسد والاختزال للحدث، 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 قوّة دافعة كهربائية تدفع الإلكترونات إلى الحركة من قطب الخارصين Zn (المُصعد) إلى قطب النحاس Cu (المهبط)، حيث أيونات النحاس Cu^{2+} أكثر ميلاً للاختزال. يُعَرَّف عن ميل نصف تفاعل الاختزال للحدث بجهد الاختزال، ويُرمز إليه بالرمز ($E_{\text{reduction}}$)، ويُعَرَّف عن ميل نصف تفاعل التأكسد للحدث بجهد التأكسد، ويُرمز إليه بالرمز ($E_{\text{oxidation}}$).

يمتلك نصف الخلية الذي يحدث فيه تفاعل الاختزال جهد 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

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

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

جهد الخلية المعياري:

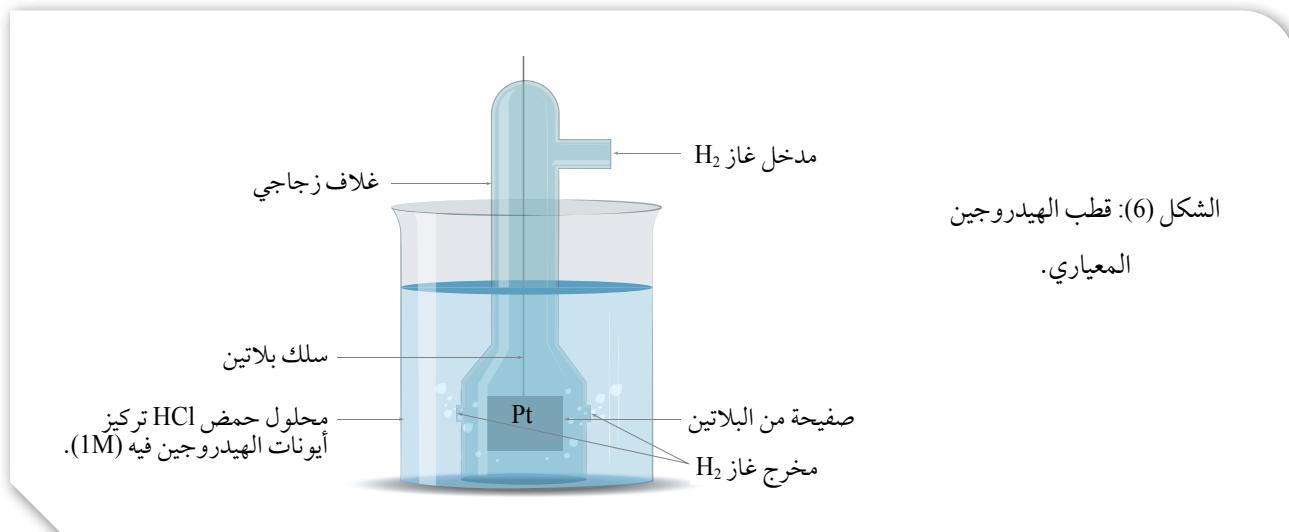
$$E_{\text{cell}}^{\circ} = E_{\text{reduction(cathode)}}^{\circ} - E_{\text{reduction(anode)}}^{\circ}$$

ويمكن التعبير عنها باختصار كالتالي:

وقد وُجد أنَّ جهد خلية (Zn - Cu) المعياري يساوي 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 نصفِي خلية لتكونين 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؛ لأنَّ نشاطه الكيميائي متوسط بين العناصر، وقد اصطلح العلماء على أنَّ جهد الاختزال المعياري له يساوي (0.00 V) .



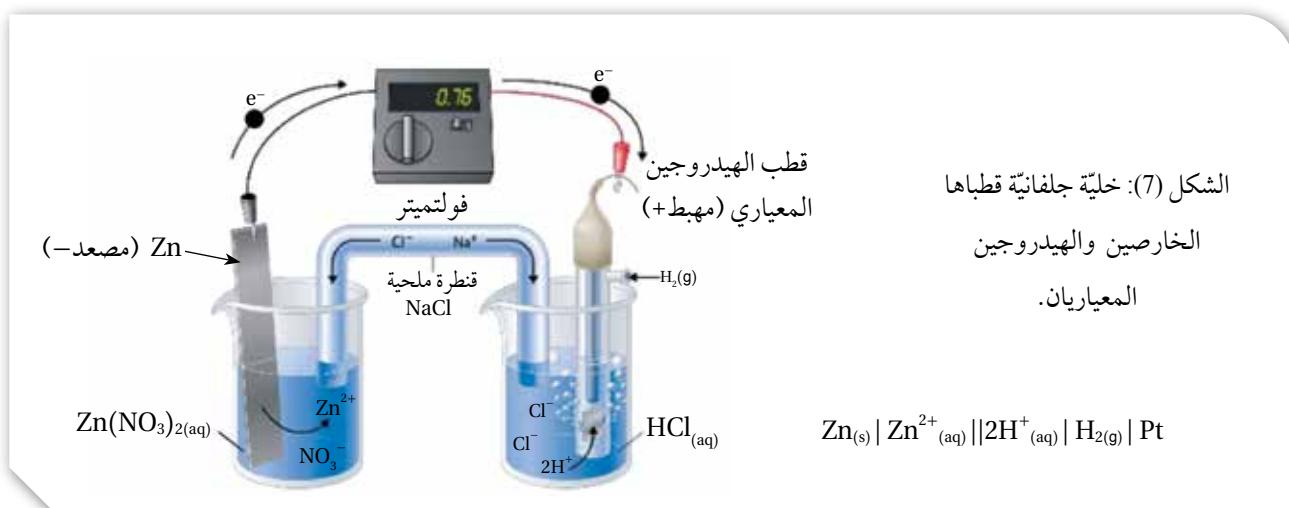
يتكون قطب الهيدروجين المعياري من وعاء يحتوي على صفيحة من البلاتين توفر سطحًا لحدوث التفاعل، وتكون مغمورة في محلول حمض الهيدروكلوريك HCl ؛ تركيز أيونات الهيدروجين H^+ فيه 1M ، ويُضخّ غاز الهيدروجين إلى محلول عند ضغط للغاز يساوي 1 ضغط جوي (1 atm) ودرجة حرارة 25°C ، انظر الشكل (6).

يمكن تمثيل التفاعل الذي يحدث في نصف الخلية 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 الخلية ما باستخدام قطب الهيدروجين المعياري؟

لتوضيح ذلك؛ تكون خلية جلافية من نصف الخلية الهيدروجين المعيارية ونصف الخلية الخارصين مثلاً في الظروف المعيارية، كما في الشكل (7)؛ إذ يلاحظ



الشكل (7): خلية جلافية قطبها
الخارصين والهيدروجين المعياري.

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

نصف تفاعل التأكسد: $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$
بينما قطب الهيدروجين يمثل المِهبط وحدثت عملية اختزال لأيوناته، حسب المعادلة:

نصف تفاعل الاختزال: $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{(g)} \quad E^\circ_{H_2} = 0.00 \text{ V}$

المعادلة الكلية: $Zn_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{(g)} \quad E^\circ_{cell} = 0.76 \text{ V}$

لحساب جهد الاختزال المعياري للخارصين؛ تُستخدم العلاقة:

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

$0.76 \text{ V} = 0.00 - E^\circ_{anode}$ بالتعويض:

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

أي أنَّ جهد الاختزال المعياري لقطب الخارصين = (-0.76 V).

القيمة السالبة لجهد الاختزال المعياري لقطب الخارصين تعني أنَّ أيونات الخارصين أقلَّ ميلًا للاختزال من أيونات الهيدروجين؛ لذلك اختزلت أيونات الهيدروجين وتأكسدت ذرَّات الخارصين في التفاعل الذي حدث في الخلية الجلفانية.

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

بأنَّه مقياس لميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث في الظروف المعيارية. وكذلك؛ فإنَّ ذرَّات الخارصين أقلَّ ميلًا للتأكسد من جزيئات الهيدروجين؛ لذلك فإنَّ جهد التأكسد المعياري للخارصين يساوي (0.76 V)؛ أي أنَّ جهد التأكسد المعياري للقطب يساوي جهد اختزاله المعياري ويعاكِسُه في الإشارة.

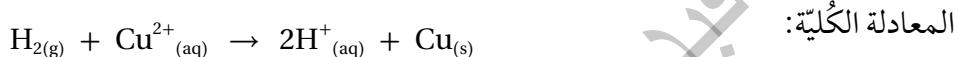
جهد التأكسد المعياري = - جهد الاختزال المعياري

$$- E^\circ_{reduction} = E^\circ_{oxidation}$$

في الخلية الجل伐نیة الممثلة بالرمز الآتي:
 $\text{Pt} | \text{H}_{2(\text{g})} | 2\text{H}^{+}_{(\text{aq})} \parallel \text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} | \text{Cu}_{(\text{s})}$
إذا علمت أن جهد الخلية المعياري $E_{\text{cell}}^{\circ} = 0.34 \text{ V}$ فأحسب جهد الاختزال المعياري للنحاس.

خطوات الحل:

1- بالاعتماد على مخطط الخلية الجل伐نیة؛ أحدد نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال؛ حيث يمثل قطب الهيدروجين المعياري نصف خلیة التأكسد، أمّا قطب النحاس المعياري فيمثل نصف خلیة الاختزال.



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



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

أتحقق:

لدي خلیة جل伐نیة مكونة من نصف خلیة الهيدروجين $\text{Pt} | \text{H}_2 | 2\text{H}^{+}$ ونصف خلیة الكادميوم $\text{Cd}^{2+} | \text{Cd}$ المعياريين؛ أحسب جهد الاختزال المعياري للكادميوم إذا علمت أن جهد الخلية المعياري يساوي 0.4 V ونقصت كثافة قطب الكادميوم بعد تشغيل الخلیة مدة من الزمن.

جدول جهود الاختزال المعياري Standard Reduction Potentials

استخدیم قطب الهيدروجين المعياري في بناء خلایا جل伐نیة متعددة، وعن طريق قیاس جهودها المعياريّة؛ حسّبّت جهود الاختزال المعياريّة للأقطاب المختلفة التي استخدّمت فيها، واتفق الكيميائيون على كتابة أنصاف التفاعلات على شكل أنصاف تفاعل اختزال في الاتجاه الأمامي، وترتيبها وفقاً لتزايد جهود الاختزال المعياريّة في جدول سُميّ جدول جهود الاختزال المعياريّة، أنظر الجدول (2).

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

نصف تفاعل الاختزال				E° (V)
$\text{Li}^+_{(\text{aq})}$	+	e^-	\rightleftharpoons	$\text{Li}_{(\text{s})}$ -3.05
$\text{K}^+_{(\text{aq})}$	+	e^-	\rightleftharpoons	$\text{K}_{(\text{s})}$ -2.92
$\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Ca}_{(\text{s})}$ -2.76
$\text{Na}^+_{(\text{aq})}$	+	e^-	\rightleftharpoons	$\text{Na}_{(\text{s})}$ -2.71
$\text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Mg}_{(\text{s})}$ -2.37
$\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$	+	$3e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Al}_{(\text{s})}$ -1.66
$\text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Mn}_{(\text{s})}$ -1.18
$2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons 2\text{OH}^- + \text{H}_{2(\text{g})}$	-0.83
$\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Zn}_{(\text{s})}$ -0.76
$\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})}$	+	$3e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Cr}_{(\text{s})}$ -0.73
$\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Fe}_{(\text{s})}$ -0.44
$\text{Cd}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Cd}_{(\text{s})}$ -0.40
$\text{Co}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Co}_{(\text{s})}$ -0.28
$\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Ni}_{(\text{s})}$ -0.23
$\text{Sn}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Sn}_{(\text{s})}$ -0.14
$\text{Pb}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Pb}_{(\text{s})}$ -0.13
$\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$	+	$3e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Fe}_{(\text{s})}$ -0.04
$2\text{H}^+_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons \text{H}_{2(\text{g})}$	0.00
$\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Cu}_{(\text{s})}$ 0.34
$\text{I}_{2(\text{s})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$2\text{I}^-_{(\text{aq})}$ 0.54
$\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$	+	e^-	\rightleftharpoons	$\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ 0.77
$\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$	+	e^-	\rightleftharpoons	$\text{Ag}_{(\text{s})}$ 0.80
$\text{Hg}^{2+}_{(\text{aq})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Hg}_{(\text{l})}$ 0.85
$\text{Br}_{2(\text{l})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$2\text{Br}^-_{(\text{aq})}$ 1.07
$\text{O}_{2(\text{g})}$	+ 4H ⁺	$4e^-$	\rightleftharpoons	$2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ 1.23
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$	+ 14H ⁺	$6e^-$	$\rightleftharpoons 7\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 2\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})}$	1.33
$\text{Cl}_{2(\text{g})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$2\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ 1.36
$\text{Au}^{3+}_{(\text{aq})}$	+	$3e^-$	\rightleftharpoons	$\text{Au}_{(\text{s})}$ 1.50
$\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})}$	+ 8H ⁺	$5e^-$	$\rightleftharpoons 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$	1.51
$\text{F}_{2(\text{g})}$	+	$2e^-$	\rightleftharpoons	$2\text{F}^-_{(\text{aq})}$ 2.87

* القيم الواردة في الجدول ليست للحفظ.

أُلاحظ أنَّ نصف تفاعلات الاختزال في الجدول منعكسة، وأنَّ الموادَّ على يسار المعادلة تمثِّل عوامل مؤكسدة تحدث لها عملية اختزال، في حين تمثِّل الموادَّ على يمين المعادلة عوامل مُختزلة تحدث لها عملية تأكسد، كما أنَّ جهود الاختزال تزداد من أعلى إلى أسفل في الجدول. يُستفاد من جدول جهود الاختزال المعيارية في حساب جهد الخلية المعياري، والتبنُّو بتلقائية تفاعلات التأكسد والاختزال، إضافة إلى مقارنة قوَّة العوامل المؤكسدة والمُختزلة.

حساب جهد الخلية المعياري

بمعرفة جهود الاختزال المعيارية للأقطاب المكونة للخلية الجلفانية، يمكن حساب جهد الخلية المعياري حسب المعادلة الآتية: $E_{cell}^{\circ} = E_{(cathode)}^{\circ} - E_{(anode)}^{\circ}$ والأمثلة الآتية توضح ذلك.

المثال 14

أحسب جهد الخلية المعياري للخلية الجلفانية التي يحدث فيها التفاعل الآتي:



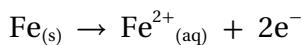
تحليل السؤال:

المعطيات: المعادلة الكلية للتفاعل.

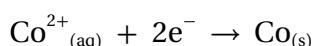
المطلوب: حساب جهد الخلية المعياري E_{cell}° .

خطوات الحل:

1- أُحدّد نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال اعتماداً على معادلة التفاعل الكلية:



نصف تفاعل التأكسد:



نصف تفاعل الاختزال:

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



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

3- أحسب جهد الخلية المعياري E_{cell}° .

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

المثال 15

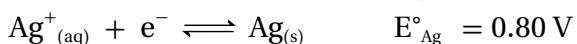
خلية جلفانية مكونة من نصف خلية الفضة $Ag^{+}|Ag$ ونصف خلية المغنيسيوم $Mg^{2+}|Mg$ في الظروف المعيارية. بالرجوع إلى جهود الاختزال المعيارية لـ كلٌّ منها في الجدول (2)؛ أكتب المعادلة الكلية الموزونة للتفاعل، وأحسب جهد الخلية المعياري. تحليل السؤال:

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

المطلوب: حساب جهد الخلية المعياري E_{cell}° .

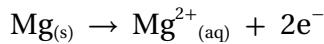
خطوات الحل:

1- أكتب نصفي تفاعل الاختزال لـ كلٌّ من قطبي الفضة والمغنيسيوم:

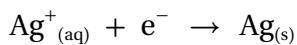


2- أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال الحادثين في الخلية الجلفانية.

لاحظ 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 الوهبط في الخلية الجلفانية، حيث تُختزل أيوناته؛ في حين يمثل قطب المغنيسيوم Mg المتصعد فيها، حيث تتأكسد ذراته، كما في المعادلات الآتية:

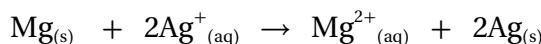


نصف تفاعل التأكسد:



نصف تفاعل الاختزال:

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}

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

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

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

المثال 16

في الخلية الجلفانية المُمثَّلة بالرمز الآتي:



أحسب جهد الخلية المعياري E°_{cell} .

تحليل السؤال:

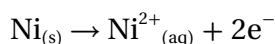
المعطيات: رمز الخلية الجلفانية.

المطلوب: حساب جهد الخلية المعياري.

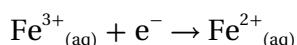
خطوات الحل:

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

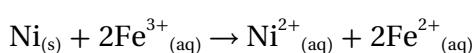
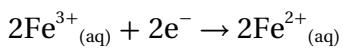
نصف تفاعل التأكسد:



نصف تفاعل الاختزال:



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



2. أكتب معادلة التفاعل الكلّي:

3. أُنّقل من الجدول (2) نصف تفاعل الاختزال، وجهود الاختزال المعياريّة لنصف التفاعل السابقيّين:



4. أحسب جهد الخلّية المعياري E°_{cell} .

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

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

✓ **أتحقق:** خلّية جلّفانّيّة مكوّنة من نصف خلّية الكروّم $\text{Cr}^{3+}|\text{Cr}$ ، ونصف خلّية النحاس $\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$ المعياريّين. بالرجوع إلى جهود الاختزال المعياريّة لـ كلّ منهما في الجدول (2)؛ أحسب جهد الخلّية المعياري.

التجربة

مقارنة جهود بعض الخلّايا الجلّفانّية

المواد والأدوات:

محاليل حجم كـلّ منها (100 mL) بتركيز (1 M) من كـلّ من المركبات الآتـية: كـبرـياتـ الـخارـصـين ZnSO_4 ، نـترـاتـ الرـصـاصـ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ، نـترـاتـ الـآلـمنـيـومـ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$. و (200 mL) من محلول كـبرـياتـ النـحـاسـ CuSO_4 ، تركـيزـه (1 M)، صـفـيـحةـ منـ كـلـ منـ الـخارـصـينـ، الـنـحـاسـ، الـرـصـاصـ، الـآلـمنـيـومـ، وـرـقـ صـنـفـرـةـ، فـوـلـتـمـيـترـ، أـسـلاـكـ توـصـيلـ، أـنـبـوبـ عـلـىـ شـكـلـ حـرـفـ Uـ، مـحـلـولـ مشـبـعـ منـ كـلـورـيدـ الـبـوـتـاـسـيـومـ KCl ، قـطـنـ، كـؤـوسـ زـجـاجـيـةـ سـعـةـ 100 mL عـدـدـ (4)، مـاءـ مـقـطـرـ.

إرشادات السلامة:

- اتـبـاعـ إـرـشـادـاتـ السـلـامـةـ العـامـةـ فـيـ المـختـبـرـ.
- ارـتـدـاءـ معـطـفـ المـختـبـرـ وـنـظـارـاتـ الـواـقـيـةـ وـالـقـفـازـاتـ.
- التـعـاملـ معـ المـوـادـ الـكـيـمـيـائـيـةـ بـحـذرـ.

خطوات العمل:

1- **أقيـسـ:** أحـضـرـ كـأسـينـ زـجـاجـيـتـينـ، وأـضـعـ 50 mL من محلول كـبرـياتـ النـحـاسـ فـيـ الـكـأسـ الـأـوـلـيـ وـ 50 mL من محلول كـبرـياتـ الـخارـصـينـ فـيـ الـكـأسـ الـثـانـيـ.

2- **أُجَرِّب**: أُنْظِفُ صفيحتي النحاس والخارصين جيًّا باستخدام ورق الصنفراة، وأغسلهما بالماء المُقَطَّر، وأتُرْكُهُما تجفَّان.



3- **أُجَرِّب**: أُضَعُ صفيحة النحاس في الكأس الأولى وصفيحة الخارصين في الكأس الثانية، ثم أوصلُ أسلاك التوصيل من طرف الصفيحة ومنَ الطرف الآخر بالفولتميتر لكلا الصفيحيتين، وألَاحِظُ: هل تحرَّكَ مؤشِّرُ الفولتميتر؟

4- **أُجَرِّب**: أَمَّا الأنوب الذي على شكل حرف U تماماً بمحلول كلوريد البوتاسيوم المشبع، وأتَأَكَّدُ من عدم وجود فقاعات هواء فيه، ثم أُغْلِقُ طرفه بقليل من القطن.

5- **أَلَاحِظُ**: أَقْلِبُ الأنوبَ بحيث ي يصلُ بين الكأسين (نصف خلية النحاس ونصف خلية الخارصين)، وألَاحِظُ تحرُّكَ مؤشِّرُ الفولتميتر (إذا تحرَّكَ المؤشِّرُ بالاتِّجاهِ السالبِ أَعْكِسُ الأَسْلَاكَ الموصولةَ به)، وأَسَجِّلُ قراءته في الجدول، أرَاقِبُ الخلية عدَّةِ دقائق، وألَاحِظُ التَّغَيُّرَ في شَدَّةِ اللُّونِ الأَزْرَقِ لمحلولِ كبريتاتِ النحاس. علام يدلُّ ذلك؟

6- **أُجَرِّب**: أُكَرِّرُ الخطواتِ السابقةَ باستخدامِ أنصافِ الخلايا (نحاس - المنيوم)، (نحاس - رصاص)، ثم (رصاص - المنيوم)، وأحرِصُ على غمسِ كُلِّ صفيحةٍ في محلولٍ مركَّبٍ لها، وأُحْضِرُ القنطرةَ الملحِّيَّةَ من جدِيدٍ بعد غسلِ الأنوبِ وتجفيفِه.

7- **أُنْظِمُ الْبَيَانَات**. أَسَجِّلُ قِيمَ جهودِ الخلايا في الجدولِ الآتي:

جدول البيانات

الخلية	جهد الخلية المقاس	جهد الخلية المعياري V
نحاس - خارصين		1.1
نحاس - المنيوم		2.0

التحليل والاستنتاج:

1- **أُحَدِّدُ** المصعد والمِهْبِطُ في كُلِّ خلية جلِفانِيَّة.

2- أكتُبُ التَّفَاعُلَ الْكَلِّيَّ في كُلِّ خلية جلِفانِيَّة.

3- **أُقَارِنُ** بين جهودِ الخلايا الجلِفانِيَّةِ التي جرى قياسُها، وأفْسِرُ الاختلافَ بينها.

4- **أُتَوْقُعُ** ترتيبَ الْفِلِزَاتِ وفقَ تزايدِ جهودِ احتزازِها اعتماداً على قِيمِ جهودِ الخلايا المقيسة.

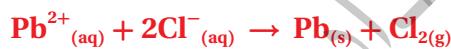
التنبؤ بتلقائية حدوث تفاعلات التأكسد والاختزال

تفاعل بعض الفلزات مع محلول حمض الهيدروكلوريك المُخفف 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؟

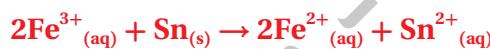
تُستخدم جهود الاختزال المعيارية للتنبؤ بتلقائية حدوث تفاعلات التأكسد والاختزال؛ **لتلقائية التفاعل** Spontaneity of Reaction هي حدوث التفاعل دون الحاجة إلى طاقة كهربائية لإجراء التفاعل، وعند حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل؛ فإذا كان موجباً يكون التفاعل تلقائياً، أمّا إذا كان سالباً فيكون التفاعل غير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

المثال 17

أتوقع، بالاستعانة بالجدول (2)، أي تفاعلات التأكسد والاختزال الممثلة بالمعادلات الآتية يحدث بشكل تلقائي، وأفسّر ذلك.

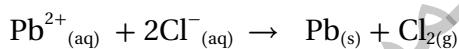


أ.



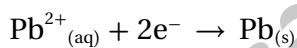
ب.

خطوات الحل:

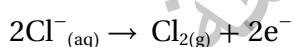


أ.

1- أكتب نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال:



نصف تفاعل الاختزال:



نصف تفاعل التأكسد:

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

جهد الاختزال المعياري للرصاص

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

جهد الاختزال المعياري للكلور

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

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

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

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

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

الاحظ 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، اختار أنصاف تفاعل الاختزال للقصدير وأيونات الحديد Fe^{3+} :



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

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

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

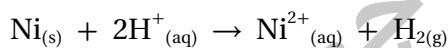
الاحظ أنَّ جهد الخلية المعياري للتفاعل موجب؛ ويعني ذلك أنَّ التفاعل تلقائيٌّ الحدوث.

المثال 18

أُنسر: يتفاعل فلز النikel Ni مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl ، وينطلق غاز الهيدروجين.

خطوات الحل:

1- أكتب معادلة أيونية تمثل تفاعل فلز النikel 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:

$$E^\circ_{\text{Ni}} = -0.23 \text{ V} \quad \text{جهد الاختزال المعياري للنيكل}$$

$$E^\circ_{\text{H}_2} = 0.00 \text{ V} \quad \text{ووجهد الاختزال المعياري للهيدروجين}$$

الاحظ أنَّ جهد الاختزال المعياري للهيدروجين أكبر من جهد الاختزال المعياري للنيكل؛ أي أنَّ أيونات الهيدروجين أكثر ميلاً للكسب الإلكترونيات من أيونات النikel؛ لذلك تُختزل أيونات الهيدروجين وتتأكسد

ذرّات النيكل، ويكون التفاعل تلقائياً وجهد الخلية موجباً، كما يتّضح عند حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل:

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

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

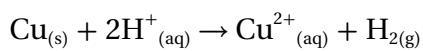
لذلك يتفاعل النيكل مع حمض الهيدروكلوريك ويتصاعد غاز الهيدروجين.

المثال 19

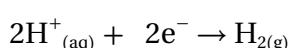
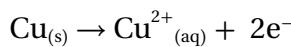
أُكسّر: لا يتفاعل فلز النحاس Cu مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl المُخفّف، ولا ينطلق غاز الهيدروجين.

خطوات الحل:

1- أفترض حدوث التفاعل، وأكتب معادلته:



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



نصف تفاعل التأكسد:

نصف تفاعل الاختزال:

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

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

جهد الاختزال المعياري للنحاس

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

جهد الاختزال المعياري للهيدروجين

الاحظ أنَّ جهد الاختزال المعياري للنحاس أكبر منه للهيدروجين؛ أي أنَّ أيونات النحاس أكثر ميلاً للاختزال من أيونات الهيدروجين؛ لذلك لا يتآكسد النحاس ولا تُختزل أيونات الهيدروجين.

ويمكن حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل المفترض، والتنبُّه بتلقائيّة حدوث التفاعل:

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

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

الاحظ أنَّ جهد الخلية المعياري للتفاعل المفترض سالب؛ أي أنَّ التفاعل غير تلقائيٌّ الحدوث.

ويمكن أيضًا استخدام جهود الاختزال المعيارية للتنبُّه بإمكانية تفاعل

الفلزات أو الالفلزات مع محليل الأملاح، كما في الأمثلة الآتية:

المثال 20

هل يمكن تحريك محلول نترات الفضة AgNO_3 بِملعقة من الكروم؟

المعطيات:

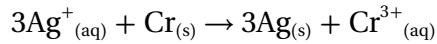
المحلول المستخدم AgNO_3 , المِلعاقة مصنوعة من الكروم.

المطلوب:

هل يحدث تفاعل بين نترات الفضة AgNO_3 والكروم؟

الحل:

لتحريك محلول ما بِملعقة معينة؛ يجب ألا يحدث تفاعل بينها وبين أيونات محلول عند تحريكه بها. ولمعرفة ذلك؛ يفترض حدوث تفاعل وكتابه معادله كالآتي:



الاحظ أنَّ التفاعل المتوقع هو تأكسد ذرات الكروم واحتزال أيونات الفضة؛ وللحكم على إمكانية حدوث التفاعل يُرجَع إلى جهود الاختزال المعيارية للفضة والكروم، وهي ($E^\circ_{\text{Cr}} = -0.73 \text{ V}$, $E^\circ_{\text{Ag}} = 0.8 \text{ V}$)؛ فالألاحظ أنَّ جهد اختزال الفضة المعياري أعلى من جهد اختزال الكروم المعياري؛ أي أنَّ أيونات الفضة أكثر ميلاً للاحتزال من أيونات الكروم؛ لذلك يتأكسد الكروم ويختزل أيونات الفضة؛ أي أنَّ التفاعل بينهما تلقائي.

ويمكنُ أيضًا حسابُ جهد الخلية المعياري للتفاعل كالآتي:

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

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

الاحظ أنَّ جهد الخلية المعياري للتفاعل تلقائي الحدوث، ومن ثمَّ لا يمكن تحريك محلول نترات الفضة بِملعقة من الكروم.

المثال 21

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

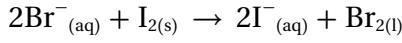
تحليل السؤال:

المعطيات: محلول المستخدم بروميد البوتاسيوم KBr , المادة المستخدمة اليود I_2 .

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

الحل

كتابة معادلة التفاعل المتوقع:



الاحظ أنَّ التفاعل المتوقع هو تأكسد أيونات البروميد Br^- واحتزال اليود I_2 . وللحكم على إمكانية حدوث التفاعل؛ يُرجَع 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 يلاحظ أنَّ جهد الاختزال المعياري للبروم أعلى من جهد الاختزال المعياري لليود، ثمَّ إنَّ البروم Br_2 أكثر ميلاً للاحتزال من

اليد I_2 ; لذلك لا تتأكسد أيونات البروميد Br^- ولا تختزل اليود I_2 ; أي أنَّ التفاعل بينهما غير تلقائي. ويمكن أيضاً حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل كالتالي:

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

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

لاحظ أنَّ جهد الخلية المعياري للتفاعل سالبٌ؛ أي أنَّ 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 أجيِّب عما يأتي:
- أتوقع: هل يمكن حفظُ محلول كبريتات الحديد $FeSO_4$ II في وعاء من الألمنيوم Al ? أُبَرِّرُ إجابتي.
 - أتوقع: هل يمكن حفظُ محلول نترات المغنيسيوم $Mg(NO_3)_2$ في وعاء من الفصدير Sn ? أُبَرِّرُ إجابتي.

مقارنة قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة

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

الربط مع الحياة

يحدث أحياناً انتفاح علب الأغذية؛ لعدة أسباب، منها: تفاعل الأغذية الحامضية مع الفلز المُكوَّن للعلبة المحفوظة فيها، ويَتَّجُّ عن ذلك غاز الهيدروجين؛ فيتسبِّب في انتفاح العلبة، وغالباً ما تكون هذه التفاعلات جزءاً من العوامل التي تُحدِّد مدة صلاحية هذه المنتجات.



المثال 22

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

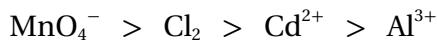
نصف تفاعل الاختزال	E° (V)
$Al^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Al$	-1.66
$Cd^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cd$	-0.40
$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	1.36
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	1.51

Cl_2 ، Cd^{2+} ، MnO_4^- ، Al^{3+}

الحل:

بالعودة إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ اختيار أنصاف التفاعلات للمواد السابقة، وأرتبها وفق ترتيبها

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



المثال 23

استعين بجدول جهود الاختزال المعيارية، ثم أجيّب عما يأتي:

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



2- هل يمكن لأيونات الكوبالت Co^{2+} أكسدة أيونات اليودide 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؛ اختار أنصاف التفاعلات للمواد السابقة، وارتّبها وفق تزايد جهود الاختزال المعيارية؛ فيكون أسفل يمين الجدول وهو Ag ، أضعف عامل مختزل؛ أي أقلّها ميلاً إلى التأكسد، ويكون أعلى يمين الجدول، وهو K ، أقوى عامل مختزل؛ أي أكثرها ميلاً إلى التأكسد، ويكون ترتيب بقية العوامل المختزلة تصاعدياً كالتالي:



2- أقارن جهود الاختزال المعيارية للكوبالت واليود؛ فلاحظ أنّ جهد الاختزال المعياري لليود أعلى منه للكوبالت؛ أي أنّ اليود أكثر ميلاً للاختزال من أيونات الكوبالت؛ لذلك لا تؤكسد أيونات الكوبالت Co^{2+} أيونات اليودide I^- .

المثال 24

ادرس جهود الاختزال المعيارية في الجدول، ثم أجيّب عن الأسئلة الآتية:

1- أحدّد أقوى عامل مؤكسد.

2- أحدّد 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.

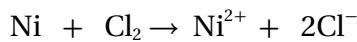
الحل:

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

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

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

3- أقارنُ جهدَ اختزال النikel (0.23 V) وجهدَ اختزال الكلور (1.36 V)، فَلَاحِظُ أنَّ جهدَ اختزال النikel المعياري أقلُّ من جهدَ اختزال الكلور المعياري؛ لذلك يتأكسد النikel ويختزل جزيئات الكلور. ويمكن كتابة معادلة التفاعل المتوقع وحساب جهد الخلية المعياري للتفاعل كالتالي:

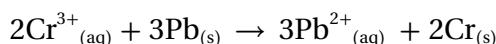


$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{cathode}(\text{Cl}_2)} - E^\circ_{\text{anode}(\text{Ni})}$$

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

بما أنَّ جهدَ الخلية المعياري موجبٌ؛ فالتفاعل تلقائي.

4- أقارنُ جهدَ اختزال الرصاص (0.13 V) وجهدَ اختزال الكروم (−0.73 V)؛ فَلَاحِظُ أنَّ جهدَ اختزال الرصاص المعياري أعلى من جهدَ اختزال الكلور المعياري؛ لذلك لا تستطيع أيونات الكروم Cr^{3+} أكسدة الرصاص. ويمكن كتابة معادلة التفاعل المتوقع وحساب جهدَ الخلية المعياري للتفاعل كالتالي:



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

بما أنَّ جهدَ الخلية المعياري سالبٌ؛ فالتفاعل غير تلقائي.

✓ أتحقَّقُ:

أدرسَ الجدول الآتي، حيث يتضمَّنُ جهودَ الاختزال المعياريَّة لبعضَ المواد، ثمَّ أجيِبُ عَمَّا يليه:

نصف تفاعل الاختزال	E° (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

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

1- أحَدُّدُ أقوى عامل مؤكسد وأقوى عامل مختزل.

2- أستنتجُ: أيُّ الفلزات تختزل أيونات $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ولا تختزل أيونات Sn^{2+} ؟

Applications of the Galvanic Cell

البطاريات

تُعدّ البطارياتُ من التطبيقات العملية المهمة للخلايا الجل凡ينية؛ إذ تحدث فيها تفاعلات تأكسد واحتزال تلقائية تتحول فيها الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، وتحتختلف البطاريات في ما بينها في مكوّناتها، ومن ثم تختلف تفاعلات التأكسد والاحتزال التي تولّد الطاقة الكهربائية فيها.

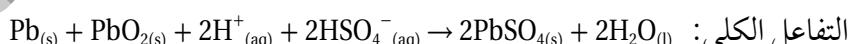
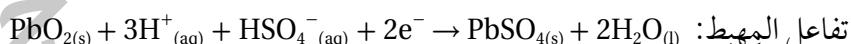
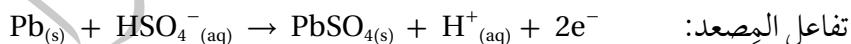
هناك أنواع مختلفة من البطاريات؛ منها البطاريات الأولى التي تُستخدم مرّة واحدة ولا يمكن إعادة شحنها، مثل: البطاريات الجافة، والبطاريات الجافة القلوية. ومن أنواعها أيضًا البطاريات الثانوية؛ وهي قابلة لإعادة الشحن، مثل: بطاريات التخزين، مثل المركم الرصاصي (بطارية الرصاص الحمضية)، وبطارية أيون الليثيوم،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



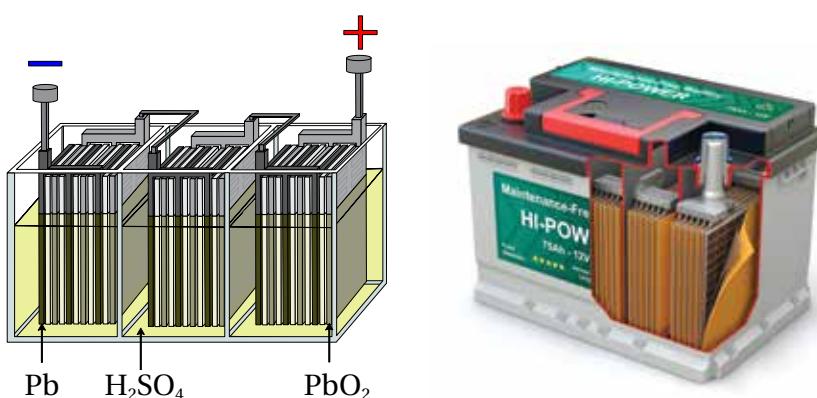
الشكل (8): أنواع مختلفة من البطاريات.

بطارية الرصاص للتخزين

تُعدّ بطارية الرصاص الحمضية مثلاً على البطاريات الثانوية؛ أي يمكن إعادة شحنها، وتتكوّن من سُتّ خلايا جل凡ينية تتكون كلُّ منها من ألواح من الرصاص تمثّل فيها المصعد، وألواح من الرصاص المغلف بأكسيد الرصاص PbO_2 تمثّل المهبّط. تُرتب هذه الأقطاب (الخلايا) داخل وعاء بلاستيكي مقوّى بطريقة متبادلة تفصل بينها صفائح عازلة، وتنتمي في محلول حمض الكبريتيك الذي كثافته 1.28 g/cm^3 ، وتوصل الخلايا على التوالي، كما يوضّح الشكل (9)، أمّا أنصاف التفاعلات التي تحدث فيها فهي:



جهد الخلية الواحدة يساوي V تقريباً؛ أي أنَّ البطارية تعطي فرق جهد يساوي V .



الشكل (9): بطارية الرصاص الحمضية.

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

عند شحن البطارِّيَّة بواسطة تيار كهربائي؛ يُعكس تفاعل التأكسد والاختزال، ثم التفاعل الكُلُّي في البطارِّيَّة، وفي السيارات تجري عملية الشحن بشكل تلقائي ومستمرًّ بواسطة مولَّد التيار (الدينامو) المُتَصل بمحرك السيارة. ويتراوح عمرُ البطارِّيَّة من 3-5 سنوات تقريباً؛ إذ إنها تفقد صلاحيتها نتيجة فقدان جزء من مكوِّناتها، مثل $\text{PbSO}_{4(s)}$ الذي يتكونُ على الأقطاب نتيجة عملَيِّ التأكسد والاختزال اللذين تحدثان فيها، ونتيجة الحركة المستمرة للمركبات على الطرق التي تؤدي إلى تساقطه عن ألواح الرصاص، وعدم دخوله في التفاعل العكسي الذي يؤدي إلى إعادة شحن البطارِّيَّة.

بطارِّيَّة أيون الليثيوم – Lithium – Ion Battery

تُعدُّ بطارِّيَّة أيون الليثيوم من أكثر أنواع البطارِّيات استخداماً في الوقت الحاضر، وقد استُخدمت للمرَّة 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). ممَّ تتكوَّن بطارِّيَّة أيون الليثيوم؟ وما التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها؟ وما ميزاتها؟

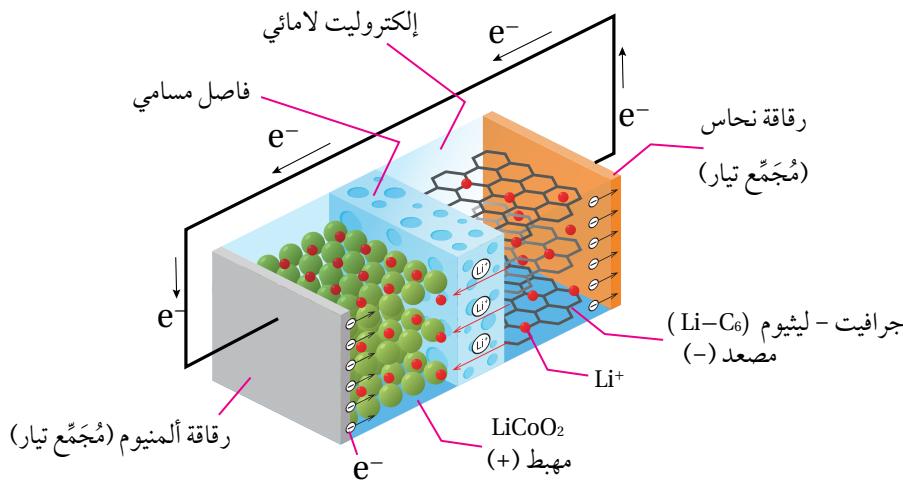
تتكوَّن بطارِّيَّة أيون الليثيوم من خلايا عدَّة متصلة بعضها ببعض، تتكونُ كُلُّ منها من ثلاثة مكوِّنات رئيسة، هي:

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

الشكل (10): بطارِّيَّة أيون الليثيوم.

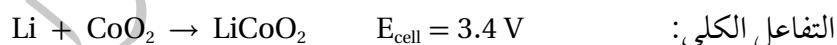


الشكل (11): رسم تخطيطي لمكونات بطارية أيون الليثيوم.



- المِهْبَط (القطب المُوْجِب): يَتَكَوَّنُ مِنْ بَلَوْرَاتِ لَأْكَسِيدِ عَنْصَرِ اِنْتَقَالِيٍّ، مُثَلُّ أَكْسِيدِ الْكُوبِلِت CoO_2 (IV) الَّذِي يَمْكُنُهُ أَيْضًا حَمْلُ أَيُوناتِ الْلِيُثِيُومُ، أَنْظُرْ الشَّكْلَ (11).

- المِهْبَطِ الْإِلْكْتْرُولِيَّيِّي: يَتَكَوَّنُ مِنْ مَحْلُولِ لَامَائِيٍّ لِأَحَدِ أَمَلَاحِ الْلِيُثِيُومُ وَمَذِيبِ عَضْوِيٍّ يَذْوَبُ فِي الْمَلْحِ، وَعَادَةً يُسْتَخَدَمُ LiPF_6 مُذَابًا فِي كَربُونَاتِ الْإِتِيلِينِ $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_3$ ، وَتَوَلُّدُ خَلَالِهِ أَيُونَ الْلِيُثِيُومُ الْكَهْرَبَاءَ مِنْ خَلَالِ تَفَاعُلِ التَّأْكِسَدِ وَالْأَخْتِرَالِ الْأَتَيِّ:

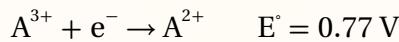


جِئَتْ تَأْكِسَدُ ذَرَّاتِ الْلِيُثِيُومُ عَنْدِ الْمِصْعَدِ مُتَحَوِّلَةً إِلَى أَيُوناتِ Li^+ ، تَتَقَلَّ عَبْرَ الْمَحْلُولِ الْإِلْكْتْرُولِيَّيِّي بِاتِّجَاهِ الْمِهْبَطِ؛ بَيْنَمَا تَحْرَكُ الْإِلْكْتْرُونَاتِ عَبْرَ الدَّارَةِ الْخَارِجِيَّةِ مِنْ الْمِصْعَدِ إِلَى الْمِهْبَطِ، حِيَّثُ تَخْتِرِلُ أَيُونَاتِ الْكُوبِلِتِ مِنْ Co^{4+} فِي أَكْسِيدِ CoO_2 إِلَى Co^{3+} وَيَتَكَوَّنُ أَيُون CoO_2^- الَّذِي يَرْتَبِطُ مَعَ أَيُونَ الْلِيُثِيُومِ Li^+ مَكْوَنًا LiCoO_2 ؛ وَهِيَ عَلْمِيَّةٌ يَعْكِسُ مَسَارَهَا خَلَالِ شَحْنِ الْبَطَارِيَّةِ، فَتَأْكِسَدُ أَيُونَاتِ الْكُوبِلِتِ مِنْ Co^{3+} فِي LiCoO_2 إِلَى Co^{4+} وَتَحْرَكُ أَيُونَاتِ الْلِيُثِيُومِ Li^+ عَبْرَ الْمَحْلُولِ الْإِلْكْتْرُولِيَّيِّي بِاتِّجَاهِ نَصْفِ خَلْلَةِ الْجَرَافِيتِ حِيَّثُ تُخْتَرِلُ.

تَسْتَمَدُ بَطَارِيَّةُ أَيُونِ الْلِيُثِيُومِ مِيزَاتِهَا مِنْ أَنَّ الْلِيُثِيُومَ أَقْلَى جَهَدِ اِخْتِرَالِ مُعيَارِيٍّ؛ أَيْ أَنَّهُ أَقْوَى عَالِمِ مُخْتَرَلٍ، وَكَذَلِكَ فَإِنَّهُ أَخْفَى عَنْصَرٌ فِلَزِيٌّ؛ حِيَّثُ إِنَّ 6.941 g مِنْ (كتلَتِهِ الْمُوْلِيَّةِ) كَافِيَةٌ لِإِنْتَاجِ 1 مُولٍ مِنِ الْإِلْكْتْرُونَاتِ؛ أَيْ أَنَّ الْبَطَارِيَّةَ خَفِيفَةُ الْوَزْنِ، وَكَثِيفَةُ طَاقَتِهَا عَالِيَّةٌ، وَيُمْكِنُ إِعَادَةُ شُحْنِهَا مِئَاتِ الْمَرَّاتِ.

1. الفكرة الرئيسية: كيف تنتج الخلية الجلفانية الطاقة الكهربائية؟
2. أوضح المقصود بكل من: • القنطرة الملحيّة. • جهد الاختزال المعياري.
3. خلية جلفانية يحدث فيها التفاعل الآتي:
- $$\text{Co}_{(s)} + \text{Cu}^{2+}_{(aq)} \rightarrow \text{Co}^{2+}_{(aq)} + \text{Cu}_{(s)}$$
- أ. أحدد فيها المصعد والمهبط.
- ب. أكتب نصفي تفاعل التأكسيد والاختزال.
- ج. أحسب جهد الخلية المعياري، وأكتب تعبيراً رمزاً لل الخلية الجلفانية.
- د. ما التغيير الذي يحدث لكتلة كل الأقطابين.
4. نصفا التفاعل الآتيان يشكلان خلية جلفانية في الظروف المعيارية:
- $$\text{I}_{2(s)} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-_{(aq)} \quad E^\circ = 0.54 \text{ V}$$
- $$\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}_{(s)} \quad E^\circ = -0.44 \text{ V}$$
- أجيب عن الأسئلة الآتية المتعلقة بهما:
- ب. أحسب جهد الخلية المعياري.
- د. أكتب رمز الخلية الجلفانية.
5. أدرس الجدول الآتي الذي يوضح جهد الخلية المعياري لعدد من الخلايا الجلفانية المكونة من الفلزات ذوات الرموز الافتراضية (A,B,C,D,E)، وجميعها تكون أيونات ثنائية موجبة، ثم أجيب عن الأسئلة الآتية:
- | $E^\circ_{\text{Cell}} (\text{V})$ | المصعد | قطبا الخلية |
|------------------------------------|--------|-------------|
| 1.3 | D | D-B |
| 1.5 | E | E-B |
| 0.4 | C | C-E |
| 0.3 | B | A-B |
- أ. أحدد الفلز الذي له أعلى جهد اختزال معياري: D أم C.
- ب. أحدد أقوى عامل مؤكسد.
- ج. أنتبه. هل يمكن تحريك محلول نترات E بملعقة من A؟ أفسر إجابتي.
- د. أحدد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلامك في الخلية الجلفانية المكونة من نصف خلية $\text{E}^{2+}|\text{E}^{2+}$ ونصف خلية $\text{D}^{2+}|\text{D}^{2+}$.
- هـ. أحسب جهد الخلية المعياري للخلية الجلفانية المكونة من نصف خلية $\text{C}^{2+}|\text{C}^{2+}$ ونصف خلية $\text{B}^{2+}|\text{B}^{2+}$.

6. فلزان أُعطي الرمزين الافتراضيين A و B، حيث أيوناتهما A^{3+} ، B^+ ، قيست جهود الاختزال المعيارية لنصفي تفاعل الاختزال المعياريين المكونين لخلية جلفانية كالتالي:



أ. أكتب معادلة كيميائية لتفاعل الكلّي في الخلية الجلفانية.

ب. أحسب E° لتفاعل الكلّي.

ج. أُحدّد العامل المؤكسد والعامل المخترل في التفاعل.

7. أدرس الجدول المجاور الذي يمثل جهود الاختزال المعيارية لبعض المواد، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:

المادة	E° (V)
Co^{2+}	-0.28
Br_2	1.07
Pb^{2+}	-0.13
Ag^+	0.80
Mn^{2+}	-1.18
Cd^{2+}	-0.40

أ. أُحدّد أقوى عامل مؤكسد وأقوى عامل مخترل.

ب. أستنتج: هل يمكن حفظ bromine Br_2 في وعاء من الفضة؟ أفسّر إجابتي.

ج. أُفّارن: ما الفلزان اللذان يكونان خلية جلفانية لها أكبر جهد خلية معياري؟

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

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

و. أُحدّد الفلز الذي لا يحرّر غاز الهيدروجين من محلول حمض HCl المُخفّف.

ز. في الخلية الجلفانية التي أُعطيت الرمز الآتي:



إذا علّمت أن جهد الخلية المعياري $E_{cell} = 1.8 \text{ V}$ ، فأُجيب عن الأسئلة الآتية:

أ. أُحدّد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأislak في الخلية.

ب. أحسب جهد الاختزال المعياري لقطب السكانديوم Sc .

جـ. أكتب معادلة التفاعل الكلّي في الخلية.

8. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. العبارة الصحيحة المتعلقة بال الخلية الجلفانية التي تفاعلها: $(Mg + Ni^{2+} \rightarrow Mg^{2+} + Ni)$ ، هي:

بـ. في نصف الخلية $Mg^{2+}|Mg$ يقل تركيز أيونات Mg^{2+} . أـ. القطب الموجب Mg .

دـ. يقل تركيز أيونات Ni^{2+} في نصف الخلية $Ni^{2+}|Ni$. جـ. القطب Ni هو المصعد.

2. العبارة الصحيحة اعتماداً على جهد الخلتين الآتتين، هي:



- أ. Zn^{2+} أكثر ميلاً إلى الاختزال من Mn^{2+} .
 ب. Zn^{2+} أكثر ميلاً إلى الاختزال من Co^{2+} .
 ج. Co^{2+} الأكثر ميلاً للتآكسد.
 د. Mn^{2+} الأكثر ميلاً للاختزال.

3. خلية جلفانية قطباها (Cd,Pb)، وتحرك فيها الأيونات السالبة من القنطرة الملحية نحو نصف الخلية $(Cd^{2+}|Cd)$. التفاعل الذي يحدث على المهبط، هو:

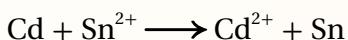
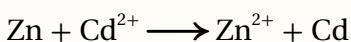


4. إذا كان الفلز B يتفاعل مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl بينما لا يتفاعل الفلز E، ويمكن للوعاء المصنوع من الفلز A حفظ محلاليل الفلزات E, B, C على قدرة الفلز C على اختزال أيونات B^{2+} ، فإن ترتيب هذه الفلزات وفق قوتها بوصفها عوامل مختزلة، هو:

- ب. $A > E > B > C$ أ. $A > B > E > C$
 د. $A < B < E < C$ ج. $A < E < B < C$

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 محلاليل أملاحها، هو:

- د. D ج. C ب. B أ. A



فإن ترتيب الأيونات ($Cd^{2+}, Zn^{2+}, Sn^{2+}$) وفق قوتها بوصفها عوامل مؤكسدة، هو:

- ب. $Cd^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$ أ. $Cd^{2+} < Zn^{2+} < Sn^{2+}$
 د. $Zn^{2+} > Cd^{2+} > Sn^{2+}$ ج. $Zn^{2+} < Cd^{2+} < Sn^{2+}$

7. اعتماداً على جهود الاختزال المعيارية للفلزات المُبيَّنة في الجدول الآتي:

فإن الفلز الذي يمكنه تحرير غاز الهيدروجين (H_2) من محلول الحمض HBr ولا يمكنه اختزال أيونات Co^{2+} هو:

- د. Al ج. Cd ب. Ni أ. Cu

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

- ب. $(X|X^+||R^{2+}|R)$ أ. $(Y|Y^{2+}||R^{2+}|R)$
 د. $(R|R^{2+}||Z^{2+}|Z)$ ج. $(Z|Z^{2+}||R^{2+}|R)$

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. $(Y|Y^{2+}||R^{2+}|R)$
 ج. $(Z|Z^{2+}||R^{2+}|R)$

التحليل الكهربائي

تُتُنجز الخلايا الجلوفانية تياراً كهربائياً بسبب حدوث تفاعل تأكسد واختزال تلقائي فيها، ويُستفاد منها بوصفها مصدراً للطاقة في تشغيل العديد من الأجهزة الكهربائية، بينما هناك تفاعلات تأكسد واختزال لا تحدث بشكل تلقائي، ويطلب حدوثها تزويدها بطاقة كهربائية من مصدر خارجي، عندها تُسمى الخلية المستخدمة **خلية تحليل كهربائي** **Electrolytic Cell**، وَتُسمى عملية تمرير تيار كهربائي في مصهور أو محلول مادةً كهربائية، مما يؤدي إلى حدوث تفاعل تأكسد واختزال، عملية **التحليل الكهربائي** **Electrolysis**، ويكون جهد هذه الخلية سالباً. ولعملية التحليل الكهربائي أهمية كبيرة؛ فعن طريقها تُشحن البطاريات، وتُستعمل في استخلاص بعض الفلزات النشطة من مصاهيرها، مثل الصوديوم والألمونيوم، وَتُستخدم في تنقية الفلزات والطلاء الكهربائي لبعضها، سواء لحمايتها من التآكل أو لإكسابها مظهراً جميلاً، كما في الشكل (12). مَمَّ تَكَوَّن خلية التحليل الكهربائي؟ وما آلية عملها؟ وهل تختلف نواتج التحليل الكهربائي لمصهور المادة عن محلولها؟

التحليل الكهربائي لمصهور مادةً كهربائية

Electrolysis of Molten Electrolyte

تَكَوَّن خلية التحليل الكهربائي من وعاء يحتوي على مصهور مادةً أيونية، وأقطاب خاملة من الجرافيت أو البلاتين، وبطارية وأسلاك توصيل، حيث يوصل أحد الأقطاب بقطب البطارия السالب، وَيُسمى المهبط، بينما

الشكل (12): مظهر جميل لكونس وأوان ناتج عن طلائهما كهربائياً.

الفكرة الرئيسية:

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

نتائج التعلم:

- أحَدُّ مكوّنات خلية التحليل الكهربائي ومبدأ عملها.
- أَنْتَأْ بِنواتج التحليل الكهربائي لمصاهير المركبات الأيونية ومحاليلها.
- أُجْرِي تجارب للتحليل الكهربائي لمحاليل بعض المركبات الأيونية.
- أَتَوَصَّلَ إلى تطبيقات خلايا التحليل الكهربائي في الصناعة.

المفاهيم والمصطلحات:

خلايا التحليل الكهربائي

Electrolytic Cells

التحليل الكهربائي

Electrolysis



يَصِلُ القطب الآخر بقطبها الموجب، ويُسمى المصعد، كما في الشكل (13). يحتوي مصهور المادَّة الأيونيَّة على أيونات موجبة وسالبة، وعند تمرير تيار كهربائي فيه تتحرَّك الأيونات باتجاه الأقطاب المخالفَة لها في الشحنة؛ حيث تتحرَّك الأيونات الموجبة باتجاه القطب السالب (المهبط) وتُختزل، أمَّا الأيونات السالبة فتتحرَّك باتجاه القطب الموجب (المصعد) وتتأكسد، ومن ثَمَ فإنَّ التفاعل الذي يحدث في الخلية غير تلقائي؛ لِذَى يُجَب أن يكون جهدُ البطارِّيَّة المستخدمة لِإحداثه أكبرَ من جهد الخلية المعياريَّة.

التحليل الكهربائي لمصهور NaCl

يحتوي مصهور NaCl على أيونات Na^+ و Cl^- ، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$\text{NaCl}_{(l)} \rightarrow \text{Na}_{(l)}^+ + \text{Cl}_{(l)}^-$$

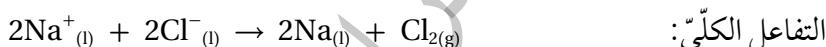
ويبين الشكل (14) خلية التحليل الكهربائي لمصهور NaCl ؛ حيث يُلاحظ أنه عند إغلاق الدارة الكهربائيَّة ومرور تيار كهربائي عبر الأُسلاك تتحرَّك أيونات الصوديوم Na^+ باتجاه المهبط، وتحدث لها عملية اختزال، وتتكوَّن ذرات الصوديوم، كما في المعادلة الآتية:



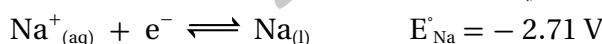
أمَّا أيونات الكلوريد Cl^- فتتحرَّك باتجاه المصعد، حيث تتأكسد مكوَّنة غاز الكلور، كما في المعادلة الآتية:



ولإيجاد التفاعل الكلَّي في الخلية يُجَمِّع نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال بعد مساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمُكتسبة.



ويمكن حساب جهد الخلية المعياري بالرجوع إلى الجدول (2)، ومعرفة قيم جهود الاختزال المعياريَّة، كالتالي:

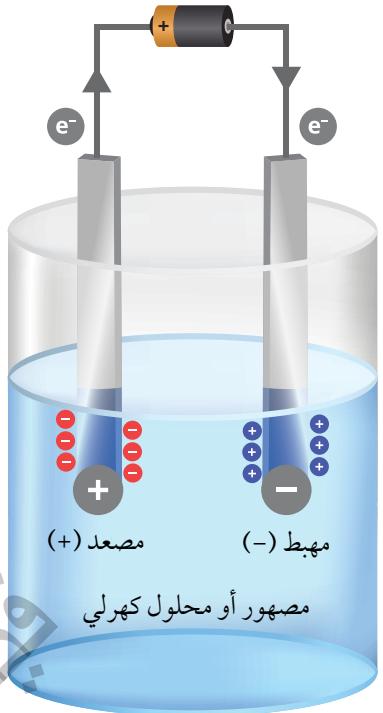


ثمَّ أحسبُ جهد الخلية المعياريَّة:

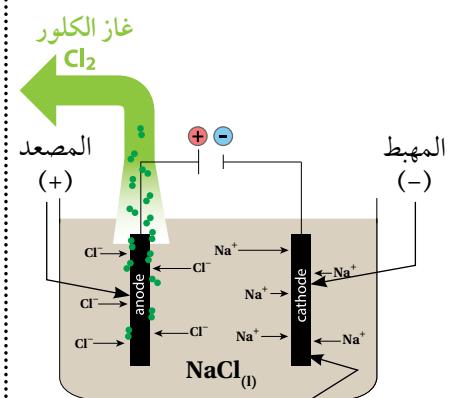
$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{Na(cathode)}} - E^\circ_{\text{Cl}_2(\text{anode})}$$

$$E^\circ_{\text{cell}} = -2.71 - 1.36 = -4.07 \text{ V}$$

يُلاحظُ أنَّ جهدَ الخلية المعياريَّة للتفاعل سالب؛ ويعني ذلك أنَّ التفاعل غير تلقائي، وأنَّه يحدث بسبب تزويد الخلية بفرق جهد كهربائي من البطارِّيَّة يزيد على جهد الخلية المعياريَّة؛ أي أكبر من (4.07 V). وَتُستَخدَمَ عملية تحليل مصهور NaCl كهربائيًّا لاستخلاص الصوديوم صناعيًّا، كما تُستَخلَصُ معظم الفلزَات النشطة، مثل الليثيوم والبوتاسيوم غالبًا من مصاهير كلوريداتِها بتحليلها كهربائيًّا.



الشكل (13): مكوَّنات خلية التحليل الكهربائيَّ.



يتكون $\text{Na}_{(l)}$ عند المهبط ويُسَحَّب من الخلية

الشكل (14): التحليل الكهربائي لمصهور NaCl .

- أُجِيبُ عن الأسئلة الآتية المتعلقة بالتحليل الكهربائي لمصهور CaBr_2 :
- أَكْتُبْ نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال في خلية التحليل الكهربائي.
 - أَسْتَتَّجُ نواتج التحليل الكهربائي للمصهور.
 - أَتُوقَّعُ جهد البطارِيَّة اللازم لإحداث تفاعل التحليل الكهربائي للمصهور.

التحليل الكهربائي لمحلول مادة كهربائية

Electrolysis of an Electrolyte Solution

يحتوي محلول الماء للأيونية على الأيونات الموجبة والسلبية الناتجة عن تفكيكها، وعلى جزيئات الماء؛ لذلك عند التحليل الكهربائي لمحلول مائي لمركب أيوني يُحتمل حدوث تأكسد للأيونات السلبية في محلول أو لجزيئات الماء، وكذلك يُحتمل أن يحدث اختزال للأيونات الموجبة أو لجزيئات الماء في محلول؛ لذلك قد تختلف نواتج عملية التحليل الكهربائي لمصهور مركب أيوني عنها لمحلوله، فكيف نتبناً بنواتج التحليل الكهربائي لمحاليل المركبات الأيونية؟

التحليل الكهربائي لمحلول يوديد البوتاسيوم KI

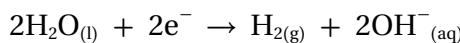
يتفكّك يوديد البوتاسيوم في الماء، حسب المعادلة:



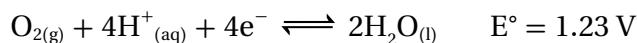
و عند تحليل محلول KI كهربائياً يُحتمل اختزال أيونات K^+ أو جزيئات الماء عند المهبط. وبالرجوع إلى جهود الاختزال المعيارية لكل من البوتاسيوم والماء:



يُلاحظ أنَّ جهدَ اختزال الماء أعلى من جهدَ اختزال البوتاسيوم؛ أيَّ أنَّ الماء أسهلُ اختزالاً من أيونات البوتاسيوم K^+ ؛ لذلك يُختزل الماء، حسب المعادلة:

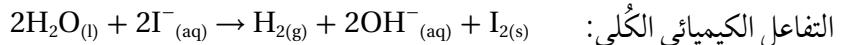
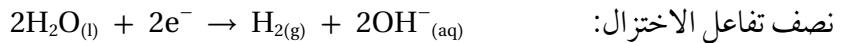


أَمَّا عند المصعد فَيُحتمل تأكسد أيونات اليوديد I^- أو جزيئات الماء. وبالرجوع إلى الجدول (2) وكتابة أنصاف تفاعلات الاختزال المطلوبة وجهود الاختزال المعيارية لكل منها:



لأَلَّا يُلاحظ التفاعل العكسي في المعادلة الأولى يمثّل تأكسد الماء، ويُمثّل في المعادلة الثانية تأكسد أيون اليوديد I^- ، وحيث أنَّ جهدَ التأكسد المعياري = - جهدَ الاختزال المعياري لنصف التفاعل، وبمقارنة جهود التأكسد لكل منها؛ وُجِدَ أنَّ جهدَ تأكسد الماء يساوي (-1.23 V)، أما جهد تأكسد اليود فيساوي (0.54 V)؛ أيَّ أنَّ جهدَ تأكسد اليود أعلى من جهدَ تأكسد الماء؛ ومن ثُمَّ فإَنَّهُ أسهلُ تأكسداً من الماء؛ لذا تأكسد أيونات اليوديد I^- ويُتَّجِّي اليود I_2 عند المصعد.

أمّا التفاعل الكلّي؛ فهو مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



ويتفق ذلك مع النتائج العملية لتحليل محلول KI كهربائياً؛ إذ يُلاحظ تكوّن اليود عند المصعد وتصاعد غاز الهيدروجين عند الميهبط، وتكون محلول قاعدي من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، أنظر الشكل (15).

ويمكن حساب جهد الخلية المعياري كالتالي:

$$E_{cell}^{\circ} = E_{H_2O(cathode)}^{\circ} - E_{I_2(anode)}^{\circ}$$

$$E_{cell}^{\circ} = -0.83 - 0.54 = -1.37 \text{ V}$$

أمّا جهد البطارّية اللازم لإحداث التفاعل، فيزيد على (1.37 V).

التحليل الكهربائي لمحلول بروميد النحاس CuBr_2

يتفكّك بروميد النحاس في الماء، حسب المعادلة الآتية:

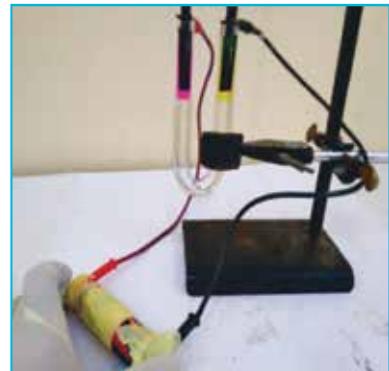
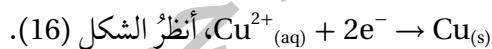


وعند تحليل محلول CuBr_2 كهربائياً يُحتمل اختزال أيونات Cu^{2+} أو جزيئات الماء عند الميهبط.

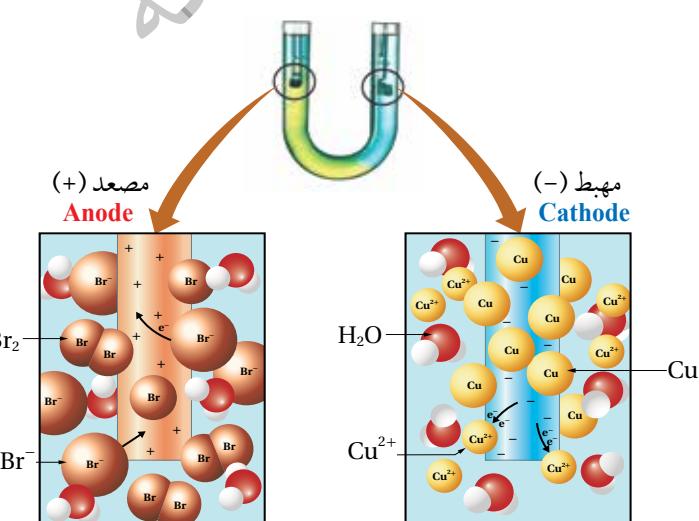
وبالرجوع إلى جهود الاختزال المعيارية لـ كلّ من النحاس والماء:



يُلاحظ أنَّ جهد اختزال النحاس أعلى منه للماء؛ لذلك تكون أيونات النحاس أسهل اختزالاً عند الميهبط، حيث يُلاحظ تكوّن النحاس كما في المعادلة:

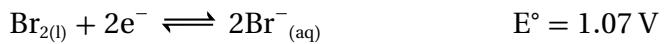
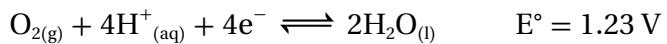


الشكل (15): التحليل الكهربائي لمحلول KI.



الشكل (16): تحليل محلول CuBr_2 كهربائياً.

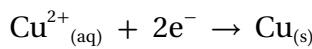
أما عند المصعد فيتحتمل تأكسد أيونات البروميد Br^- أو جزيئات الماء. وبالرجوع إلى جدول (2) وكتابة أنصاف تفاعلات الاختزال المطلوبة وجهود الاختزال المعيارية لـ كل منها:



لاحظ أن التفاعل العكسي في المعادلة الأولى يمثل تأكسد الماء، ويمثل في الثانية تأكسد أيون البروميد Br^- ، وعند مقارنة جهود التأكسد لكل من الماء والبروم أجد أنَّ جهد تأكسد الماء يساوي (1.23 V)، أما جهد تأكسد البروم فيساوي (1.07 V). ألاحظ أنَّ جهد تأكسد البروم أعلى منه للماء، أي أنَّ أيونات البروميد Br^- أسهل تأكسداً، حيث يلاحظ تكون البروم عند المصعد حسب المعادلة:



أما التفاعل الكلّي فهو مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



ويتفق ذلك مع النتائج العملية لتحليل محلول CuBr_2 كهربائياً؛ إذ يلاحظ تكون البروم عند المصعد و تكون النحاس عند المهبّط.

ويمكن حساب جهد الخلية المعياري لتفاعل الكلّي كالتالي:

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

$$E^\circ_{\text{cell}} = 0.34 - 1.07 = -0.73 \text{ V}$$

أي أنَّ جهد البطارّية اللازم لإحداث التفاعل يزيد على (0.73 V).

التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4

تفكّك كبريتات الصوديوم في الماء، حسب المعادلة:



وعند تحليل محلوله كهربائياً يتحتمل اختزال أيونات الصوديوم Na^+ أو جزيئات الماء عند المهبّط.

وبالرجوع إلى جهود الاختزال المعيارية لـ كل منها:



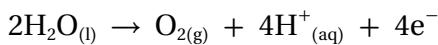
يلاحظ أنَّ جهدَ اختزال الماء أعلى منه لأيونات الصوديوم؛ لذلك يكون أسهلَ اختزالاً عند المهبّط، حيث يتكون غاز الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد OH^- .

أما عند المصعد، فيتحتمل تأكسد أيونات الكبريتات SO_4^{2-} أو جزيئات الماء، وقد لوحظَ عملياً تصاعدُ غاز الأكسجين عند المصعد؛ الذي يدل على تأكسد جزيئات الماء، حسب المعادلة:



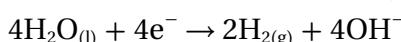
أصمّم - باستخدام برنامج مناسب لصناعة الأفلام - فيلماً قصيراً يوضح مفهوم عملية التحليل الكهربائي، وتحولات الطاقة فيها، وعلاقة تفاعلات التأكسد والاختزال الحادثة فيها بجهود الاختزال، ثم أشاركه زملائي / زميلاً في الصف.

أفخر: أفسّر دور كبريتات الصوديوم في عملية التحليل الكهربائي للماء.

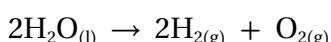


نصف تفاعل التأكسد:

أمّا التفاعل الكيميائي الكلّي فمجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:



نصف تفاعل الاختزال:



أي أنَّ ما حدث عند تحليل محلول كبريتات الصوديوم كهربائياً هو تحليل الماء كهربائياً، حيث تأكسدت جزيئات الماء واختُرَلت مُكونةً غازياً الأكسجين والهيدروجين. يُلاحظُ من دراسة الأمثلة السابقة لتحليل محليل المركبات الأيونية كهربائياً؛ أنَّ الأيونات الموجبة وجزيئات الماء يُحتمل أن تُختزل عند الميهبط، وأنَّ الأيونات السالبة أو جزيئات الماء يُحتمل أن تتأكسد عند المصعد، وأنَّ التفاعل الذي يحدث يعتمد بشكل عام على جهود الاختزال المعيارية لكلِّ منهما، كما أنَّ سلوك أيون معين هو نفسه خلال عملية التحليل الكهربائي دون النظر إلى مصدره، وأنَّ هناك بعض الأيونات متعددة الذرّات، مثل (NO_3^-) ، (SO_4^{2-}) لا تتأثرُ عند تحليل محليلها كهربائياً.

التطبيقات العملية للتحليل الكهربائي Application of Electrolysis

تعمل خلايا التحليل الكهربائي على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية عن طريق استخدام تيار كهربائي يُجبرُ تفاعلي تأكسد واحتزال غير تلقائيين على الحدوث كما في إعادة شحن البطاريات. ولهذه الخلايا تطبيقات مهمّة في الصناعة، مثل استخلاص الفلزات النشطة من مصاہير خاماتها، وتنقية الفلزات لاستخدامها في المجالات التي تحتاج إلى فلزات نقية بدرجة كبيرة، وستُناقَش أمثلة على كلِّ منها.

استخلاص الألمنيوم Aluminum Extraction

يُعدُّ الألمنيوم من أكثر الفلزات انتشاراً في القشرة الأرضية، وهو من الفلزات النشطة، ويُستخلاص من خام البوكسايت $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ بطريقة هول-هيرولييت، حيث يُعالج الخام لتخليصه من الشوائب، ثمَّ يُسخَّن لتحويله إلى أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ، وَيُذاب في مصهور الكريولييت Na_3AlF_6 ؛ فتنخفض درجة انصهاره نحو 1000°C .

وَتُسمّى خلية التحليل الكهربائي لمصهور Al_2O_3 خلية هول-هيرولييت، وتتكون من الداخل من طبقة من الجرافيت تمثل الميهبط، وسلسلة من أقطاب الجرافيت تُغمَس في المصهور تمثل المصعد، أنظر الشكل (17)، وعند إجراء عملية التحليل

أتحقق ✓

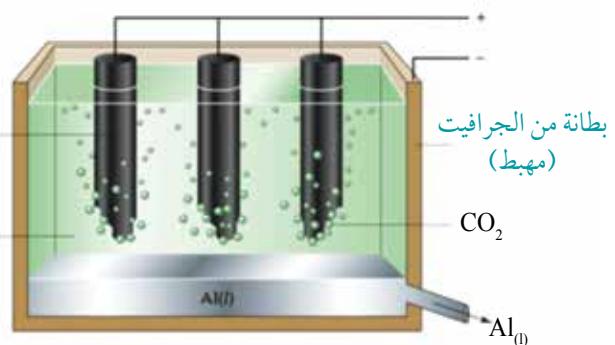
أكتب التفاعل الذي يحدث عند كل من المصعد والميهبط عند تحليل محلول NiBr_2 كهربائياً باستخدام أقطاب من الجرافيت.

أفخر: أُفْسَرُ، 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
(مصدع)

خليل من مصهور
 Al_2O_3 و Na_3AlF_6



الكهربائي يحدث اختزال لأيونات الألミニوم عند المهبط، ويتكوين الألミニوم الذي يتجمّع أسفل الخلية، حيث يُسحب من مخرج خاص.



أتحقق: ✓

- 1- أُفْسِرُ - بالاستعانة بمعادلات كيميائية - استبدال أقطاب الجرافيت المستخدمة في خلية هول - هيروليت بشكل دوري.
- 2- أُفْسِرُ: لا تُختزل أيونات Fe^{2+} و Zn^{2+} ، التي توجد ذرّاتها على شكل شوائب مع النحاس خلال عملية تفقيته بالتحليل الكهربائي.

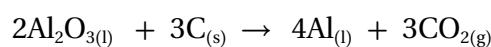


ويتفاعل الأكسجين الناتج مع أقطاب الجرافيت مكوّناً ثاني أكسيد الكربون،



مما يؤدي إلى تأكلها، فيجري تغييرها بشكل دوري.

ويمكن تلخيص التفاعل الكلّي الذي يحدث في الخلية، بالمعادلة الآتية:



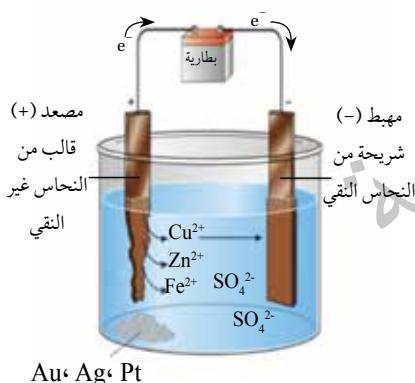
ونظراً إلى أنَّ عملية استخلاص الألミニوم تستهلك كميات هائلة من الطاقة؛ تُقام مصانع إنتاجه بالقرب من محطّات الطاقة الكهربائية لتوفير كُلفة نقل الطاقة، كما يُرَكَّزُ بشكل كبير على عملية إعادة تدويره؛ إذ تبلغ كمية الطاقة اللازمة لإعادة التدوير نحو 5% من الطاقة الازمة لاستخلاصه من خام البوكسيت.

Purification of Metals

تحتاج بعض استخدامات الفلزات إلى أن تكون نقية تماماً. فمثلاً: يجب أن يكون النحاس المستخدم في التمديّن الكهربائي نقية؛ لذا تُستخدم عملية التحليل الكهربائي في تنقية الفلزات مثل النحاس بعد عمليات استخلاصه من خاماته؛ إذ يحتوي على شوائب، مثل الخارصين، والحديد، والذهب، والفضة، والبلاتين. ولتنقيةه؛ يُشكّل النحاس غير النقي على شكل قوالب تمثّل المصعد في خلية التحليل الكهربائي، ويوصل المهبط بشريحة رقيقة من النحاس النقي، ثم يُعمّران في محلول كبريتات النحاس CuSO_4 . وعند تمرير تيار كهربائي في الخلية تحدث التفاعلات الآتية:



تتأكسد ذرات النحاس إلى أيونات Cu^{2+} وتنتقل لتخترل وتترسب على المهبط، أنظر الشكل (18)، وتتأكسد ذرات الفلزات (الشوائب) التي تمتلك جهد اختزال أقل من النحاس، مثل الخارصين والحديد مكوّنةً أيونات Zn^{2+} و Fe^{2+} على الترتيب، وتبقى هذه الأيونات ذائبة في محلول، أمّا الذهب والفضة والبلاتين فإنَّ جهد اختزالها أعلى من جهد الخلية المستخدم؛ لذلك لا تتأكسد ذرّاتها، وتتجمّع في قاع الخلية، وتكون درجة نقاوة النحاس الناتج نحو 99.9%.



Au, Ag, Pt

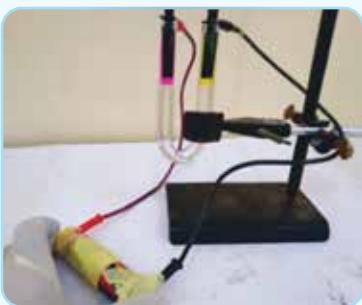
الشكل (18): تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي.

التجربة 2

التحليل الكهربائي لمحاليل بعض المركبات الأيونية

المواد والأدوات:

أنبوبان زجاجيان على شكل حرف U، أقطاب جرافيت عدد (4)، كاشف الفينولفثالين، أسلاك توصيل، بطارية (3 V) عدد (2)، حامل ومسك 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:

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

خطوات العمل:

- أُجرب:** أثبتت أنبوباً زجاجياً على شكل حرف U على الحامل الفلزي باستخدام الماسك، كما في الشكل.
- أملأ الأنوب الزجاجي بمحلول يوديد البوتاسيوم، بحيث يبقى ما يقارب 1 cm فارغاً من كل طرف، ثم أضيف إليه 3 نقاط من كاشف الفينولفثالين.
- أطبق:** أصل قطبي الجرافيت بأسلاك توصيل، ثم أضعها في الأنوب الزجاجي، بحيث يكون كلاً منها في أحد طرفي الأنوب، كما في الشكل.
- الاحظ:** أصل أسلاك التوصيل بقطبي البطارية وأتركها لمدة 15 min، وألاحظ التغيرات التي تحدث في محلول، ثم أفصل التيار الكهربائي، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
- أجرب:** أكرر الخطوات من 1-4 باستخدام محلول كبريتات النحاس، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
- أنظم البيانات:** أسجل بياناتي في الجدول الآتي:

المهبط	المصدر	التحيز ومكان حدوثه
تصاعد غاز	تصاعد غاز	المحلول
تصاعد غاز	تصاعد غاز	
		يوديد البوتاسيوم $\text{KI}_{(aq)}$

التحليل والاستنتاج:

- أصف** التغيرات التي حدثت عند تحليل محلول كل من يوديد البوتاسيوم وكبريتات النحاس كهربائياً عند كل من المصعد والمهبط وأفسرها.
- ما نواتج تحليل كل من محلول يوديد البوتاسيوم وكبريتات النحاس كهربائياً؟
- أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي حدث عند المصعد لكل محلول.
- أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي حدث عند المهبط لكل محلول.
- استنتج** نواتج التحليل الكهربائي لمحلول CuI_2 .

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أوضح مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي.

2. أفسر:

- أ. لا يمكن تحضير غاز الفلور بالتحليل الكهربائي لمحلول NaF .
 ب. تكون الكلفة الاقتصادية لإعادة تدوير الألمنيوم أقل من كلفة استخراجه من خام البوكسيت.

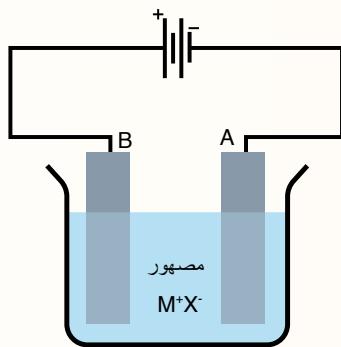
3. أتوقع: بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية؛ أتوقع نواتج التحليل الكهربائي لمحاليل الأملاح الآتية:

أ. يوديد المغنيسيوم MgI_2 .

ب. نترات الرصاص $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

ج. كبريتات الكوبالت CoSO_4 .

4. أدرس الشكل المجاور، الذي يمثل خلية تحليل كهربائي لمصهور المركب الأيوني MX باستخدام أقطاب من الجرافيت أعطيت الرموز A و B، ثم أجيئ عن الأسئلة الآتية:



أ. أحدد المصعد والمهبط في الخلية.

ب. أحدد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلام، واتجاه حركة الأيونات الموجبة والسلبية داخل المصهور باستخدام الأسهم.

ج. أحدد القطب الذي تحدث عنده عملية التأكسد.

د. أحدد القطب الذي تتكون عنده ذرات العنصر M.

5. عند تنقية قوالب من النikel باستخدام عملية التحليل الكهربائي:

أ. ما القطب الذي يجب أن تمثله القوالب غير النقية؟

ب. ما المادة المستخدمة في القطب الآخر؟

ج. أقترح محلولاً يمكن استخدامه في هذه الخلية.

6. اختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. العبارة الصحيحة فيما يتعلق بخلية التحليل الكهربائي لمحاليل المواد الكهربلية هي:

أ. يمثل المصعد القطب السالب في الخلية.

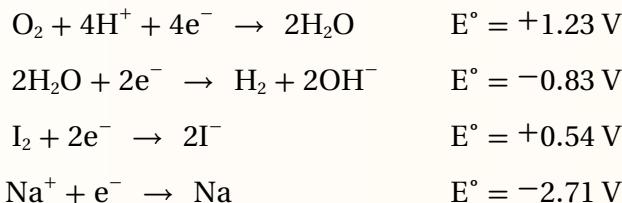
ب. جهد خلية التحليل الكهربائي (E°) أكبر من الصفر.

ج. تختزل فيها الأيونات الموجبة عند المهبط في جميع الأحوال.

د. قد لا يحدث فيها تأكسد للأيونات السلبية عند المصعد.

2. يتكون عند المتصعد 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.

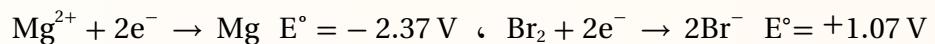
4. عند تنقية النحاس من الشوائب فإن التفاعل الذي يحدث عند المتصعد، هو:



5. عند إجراء تحليل كهربائي لمصهور هيدرید الصوديوم NaH باستخدام أقطاب البلاتين، فإن التفاعل الذي يحدث عند المتصعد، 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

الإثراء والتلوّح

إعادة تدوير البطاريات Recycling Batteries

تُستخدم البطاريات لتزويد أجهزة مختلفة بالطاقة؛ تشمل السيارات والهواتف وأجهزة الحاسوب وغيرها، وعندما تنفد البطارия أو تتلف تُرمى (يُستغنى عنها)، ويؤدي ذلك إلى تراكم كميات كبيرة من النفايات الخطرة؛ إذ تحتوي البطاريات على مواد كيميائية سامة وفلزات ثقيلة، ينبع عن تراكمها ودفنها مخاطر بيئية؛ فقد تسبّب تلوّث المياه والتربة، ومن هنا جاءت فكرة إعادة تدوير البطاريات، وتعني: معالجة نفاياتها؛ بهدف التقليل منها بوصفها نفايات صلبة، وإعادة استخدام مكوناتها مرّة أخرى.

إعادة تدوير بطارية الرصاص الحمضية

تُعدُّ 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 المستخدم عالمياً.

وتشمل عملية إعادة تدوير بطاريات الرصاص الحمضية المستخدمة مراحل عدّة، هي:



التجميع: يقصد به تجميع بطاريات الرصاص المستخدمة، وغالباً ما يكون ذلك لدى باعة البطاريات، حيث تجمعها الشركات التي تُعيد تدويرها.

التكسير: تُفكّك البطارия في منشأة إعادة التدوير، وُسحق مكوناتها باستخدام أدوات خاصة، فتحوّل إلى شظايا.

الفرز: تتضمّن 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 وتُجفّف ثم تُرسَل إلى وحدة تدوير البلاستيك، حيث تُصهر وتشكّل آلياً على شكل كرات من مادة البولي بروبيلين، وتُستخدم مرّة أخرى لإنتاج صناديق بطاريات الرصاص الحمضية، ويمكن استخدامها في صناعة منتجات أخرى. أما ألواح الرصاص وأكسيده ومركباه الأخرى فتصهر معًا في أفران الصهر، ثم تُصب في قوالب وتُزال الشوائب المعروفة باسم الخبث من فوق سطح مصهور الرصاص، وتُترك السبائك لتبرد وتتصلب، ثم تُرسَل إلى الشركات المُصنعة للبطاريات، حيث تُستخدم في إنتاج ألواح جديدة من الرصاص وأكسيده.

أما حمض الكبريتيك، وهو المكوّن السائل في البطارия؛ فيجري التعامل معه بطريقتين، أو لاهما: معالجة 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. أُقارنُ بين الخلية الجلفانية وخلية التحليل الكهربائي من حيث:
- تحولات الطاقة في كلٍّ منها.
 - شحنة كلٍّ من المصعد والمهبط.
 - تلقائية تفاعل التأكسد والاختزال.
 - إشارة جهد الخلية المعياري E_{cell} .
2. أُفسّر:
- يُخلط أكسيد الألミニوم Al_2O_3 بالكريوليت خلال عملية استخلاص الألミニوم بطريق هول - هيروليت.
 - تفقد بطارية السيارة صلاحيتها بعد بضع سنوات من استخدامها، على الرغم من إمكانية إعادة شحنها نظرياً عدداً لا يهائياً من المرات.
3. تمثل المعادلة الكيميائية الآتية تفاعل تأكسد واحتزال يحدث في خلية جلفانية. أدرسه جيداً، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:
- $$MnO_4^-_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + Cl_{2(g)}$$
- أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاحتزال.
 - أكتب معادلة التفاعل الكلّي الموزونة (في وسط حمضي).
 - هل يحدث هذا التفاعل تلقائياً؟ (استعين بجدول جهود الاحتزال المعيارية).
4. أدرس معادلة التفاعل الكيميائي، التي تتضمن رموزاً افتراضية للفلز X واللآلز Y وعنصر الهيدروجين، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليها:
- $$2X_{(s)} + 3H_2Y \rightarrow X_2Y_3 + 3H_{2(g)}$$
- أحدّد التغيير في عدد تأكسد X.
 - أحدّد التغيير في عدد تأكسد H.
 - أحدّد العامل المؤكسد.
5. أوازن معادلات التأكسد والاحتزال الآتية بطريقة نصف التفاعل، وأحدّد العامل المؤكسد والعامل المُختزل:
- $MnO_4^{2-} \rightarrow MnO_4^- + MnO_2$ (وسط قاعدي)
 - $SO_4^{2-} + Cl^- \rightarrow ICl_2^- + SO_3^{2-} + IO_3^-$ (وسط حمضي)
6. خلية جلفانية مكونة من نصف خلية الرصاص $Pb^{2+} | Pb$ ونصف خلية الكروم $Cr^{3+} | Cr$. إذا علمت أنَّ تركيز أيونات Cr^{3+} يزداد عند تشغيل الخلية، فأُجيب عمّا يأتي:
- أحدّد المصعد والمهبط في الخلية الجلفانية.
 - أتوقع التغيير على كتلة قطب الرصاص مع استمرار تشغيل الخلية.
 - أكتب معادلة موزونة تمثل التفاعل الكلّي الذي يحدث في الخلية.
 - استعين بجدول جهود الاحتزال المعيارية في حساب جهد الخلية المعياري (E_{cell}) .

مراجعة الوحدة

نصف تفاعل الاختزال	E° 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. يبيّن الجدول المجاور القيم المطلقة لجهود الاختزال المعيارية E° للعناصر (A, B, C, D, M). إذا علمت أنَّ ترتيب العناصر حسب قوتها بوصفها عوامل مختزلة، هو: D > B > M > A > C، وأنه عند وصل القطب M بقطب الهيدروجين المعياري تحرّك الإلكترونات من M إلى قطب الهيدروجين، فأجيب -بالاستعانة بالمعلومات السابقة- عن الأسئلة الآتية:
أ. أكتب إشارة قيم جهود الاختزال المعيارية E° للعناصر A, B, C, D, M.

ب. أستنتج: ما العنصر الذي يمكن استخدامه مصنوع منه لحفظ محلول يحتوي على أيونات A⁺؟

ج. أستنتج: 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 المبيّنة في الجدول المجاور، ثمَّ أجيّب عن الأسئلة الآتية:
أ. أُحدِّد أقوى عامل مؤكسد.
ب. أُرتِّب العوامل المُختزلة تصاعدياً حسب قوتها.

ج. أستنتج: هل يؤكسد أيونات الكادميوم Cd²⁺ أيونات البروم Br⁻؟

د. أقارن: ما العنصران اللذان يكونان خليّة جلفانية لها أعلى جهد خليّة معياري؟

9. خليّة تحليل كهربائي تحتوي على محلول بروميد الليثيوم LiBr. بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية، أجيّب عن الأسئلة الآتية:

أ. أكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند المصعد.

ب. أستنتج: ما ناتج التحليل الكهربائي عند المهبّط؟

ج. أحسب: ما مقدار جهد البطارّية اللازم لإحداث عملية التحليل الكهربائي؟

10. عند استخدام آلة تصوير ذات بطّارّية قابلة لإعادة الشحن:

أ. أقارن تحولات الطاقة خلال عملية الاستخدام والشحن.

ب. أُفّسر: تعلم هذه البطارّية كخلية جلفانية وخلية تحليل كهربائي.

11. أدرس المعلومات الآتية المتعلقة بالفلزات ذات الرموز الافتراضية الآتية: Y, Z, B, X, A, C، ثمَّ أجيّب عن الأسئلة التي تليها:

أ. الفلز A يختزل أيونات X²⁺ ولا يختزل أيونات Y²⁺.

ب. عند مفاعلة الفلزين B, X مع محلول حمض الهيدروكلوريك المخفّف؛ يتفاعل X وينطلق غاز الهيدروجين، أمّا فلا يتفاعل.

ج. عند تكوين خليّة جلفانية من الفلزين C وY، تحرّك الأيونات السالبة من القنطرة الملحيّة باتجاه نصف خليّة C.

- د. يمكن استخلاص الفلز Z من محليل أملاحه باستخدام الفلز B.
- أستنتج اتجاه حركة الإلكترونات في الخلية المكونة من القطبين X, C.
 - أستنتج القطب الذي ترداد كتلته في الخلية المكونة من القطبين A, B.
 - أقارن: ما القطبان اللذان يُشكّلان خلية جلفانية لها أعلى جهد خلية معياري؟
 - أتبأ: هل يمكن تحضير الفلز Z بالتحليل الكهربائي لمحلول ZNO_3 ? أفسّر إجابتي.
 - أستنتج: هل يتفاعل الفلز A مع محلول حمض الهيدروكلوريك وينطلق غاز الهيدروجين؟ أفسّر إجابتي.
 - أتبأ: هل يمكن تحريك محلول نترات الفلز Y(NO_3)₂ بعلقة من الفلز B؟

12. استُخدِمت أنصاف الخلايا المعيارية للفلزات ذات الرُّموز الافتراضية الآتية:

المصعد	E_{cell}° V	ال 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

L, T, R, D, M, L, جلفانية، وكانت النتائج كما في الجدول المجاور. أدرُسُهُ جيداً، ثم أجيِّب عن الأسئلة الآتية:

- أرتب الفلزات متضمنة الفلز E حسب قوتها بوصفها عوامل مختزلة.
- أحسب جهد الخلية المعياري E_{cell}° للخلية المكونة من الفلزين R, T, R.
- أقارن. ما الفلزان اللذان يُشكّلان خلية جلفانية لها أعلى جهد خلية معياري؟
- أستنتاج. هل يمكن حفظ محلول أحد أملاح الفلز D في وعاء من الفلز R؟ أفسّر إجابتي.

13. اختار رمز الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. المادة التي اخترلت في التفاعل الآتي: $TiO_2 + 2Cl_2 + C \rightarrow TiCl_4 + CO_2$, هي:

- أ. Cl_2 ب. TiO_2 ج. Cl_2 د. $TiCl_4$

2. عدد تأكسد البورون B في المركب $NaBH_4$ يساوي:

- أ. +3 ب. +5 ج. -5 د. -3

3. إحدى العبارات الآتية صحيحة:

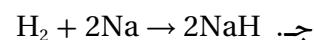
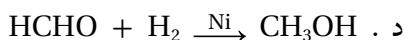
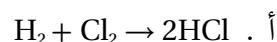
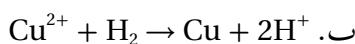
- العامل المخترل يسبب تأكسد مادة أخرى في التفاعل الكيميائي.
- العامل المؤكسد يسبب اختزال مادة أخرى في التفاعل الكيميائي.
- تحتوي تفاعلات التأكسد والاختزال جميعها على عامل مؤكسد وعامل مخترل.
- يحتوي تفاعل التأكسد والاختزال على عامل مؤكسد أو عامل مخترل.

4. العبارة الصحيحة في معادلة التفاعل الموزونة الآتية: $IO_3^- + 5I^- + 6H^+ \rightarrow 3I_2 + 3H_2O$ هي:

- أ. عدد تأكسد اليود في IO_3^- يساوي 7. ب. العامل المؤكسد في التفاعل هو I^- .
 د. تأكسدت ذرات اليود (أو أيوناته) واختزلت في التفاعل. ج. يُعدُّ التفاعل تأكسداً واحتزلاً ذاتياً.

مراجعة الوحدة

5. التفاعل الذي يسلك فيه الهيدروجين بوصفه عاملًا مؤكسداً هو:



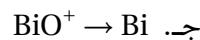
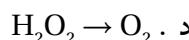
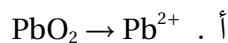
6. مقدار التغير في عدد تأكسد ذرة الكربون (C)، عند تحول الأيون $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ إلى جزيء ثاني أكسيد الكربون CO_2 هو:

د. 4

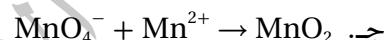
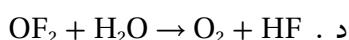
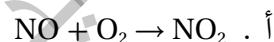
ج. 2

أ. 0

7. أحد التغيرات الآتية يحتاج إلى عامل مؤكسد:



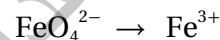
8. أحد التفاعلات غير الموزونة الآتية يمثل تفاعلاً تأكسد واحتزال ذاتي:



9. عدد مولات الإلكترونات اللازمة لموازنة نصف التفاعل الآتي في وسط حمضي، هو:

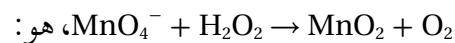
د. 1

ج. 3



أ. 2

10. عدد مولات أيونات الهيدروكسيد OH^- اللازم إضافتها إلى طرفي المعادلة لموازنة التفاعل الآتي في وسط قاعدي:



د. 2

ج. 4

أ. 6

11. إذا كان التفاعل الآتي يحدث في إحدى الخلايا الجلفانية $\text{B}^{2+} \rightarrow \text{A}^{2+}$ ؛ فإن:

ب. كتلة القطب A تزداد.

أ. القطب السالب هو B.

د. الإلكترونات تتحرّك من القطب B إلى القطب A.

ج. تركيز أيونات A^{2+} يزداد.

$E_{\text{cell}}^{\circ} \text{V}$	القطب الذي يُشكّلُ الفلز X	قطب الخلية
0.78	مبهط	M-X
0.15	متصعد	X-N
0.74	متصعد	X-L

- يتضمّن الجدول المجاور رموز ثلاث خلايا جلفانية، يُشكّلُ الفلز X أحد أقطابها مع أحد الفلزات ذات الرموز الافتراضية M، N، L و معلومات عنها. أدرسه جيداً، ثم أجب عن الأسئلة 12 و 13 و 14.

12. أرتّب الفلزات M, L, N, X حسب قوّتها بوصفها عوامل مختزلة:

ب. $\text{M} > \text{X} > \text{N} > \text{L}$

أ. $\text{X} > \text{L} > \text{N} > \text{M}$

د. $\text{L} > \text{N} > \text{X} > \text{M}$

ج. $\text{M} > \text{N} > \text{L} > \text{X}$

مراجعة الوحدة

13. قيمة جهد الخلية $M-N$ المعياري E_{cell}° بالفولت يساوي:

د . 0.59 ج. 0.04 ب. 0.93 أ . 0.63

14. الفلز الذي يمكن حفظ محلول أحد أملاحه في وعاء مصنوع من أيٌ من الفلزات الثلاثة المتبقية، هو:

M . د N . ج L . ب X . أ

• أدرس الجدول المجاور، حيث يتضمن بعض أنصاف تفاعلات الاختزال المعيارية وجهودها، وأستخدمه للإجابة

عن السؤالين 15 و 16.

نصف تفاعل الاختزال	$E^\circ V$
$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$	0.80
$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$	0.34
$Zn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Zn$	-0.76
$2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$	-0.83
$Br_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Br^-$	1.07

15. عند التحليل الكهربائي لمحلول بروميد الخارصين، فإن الناتج عند المهبط هو:

H₂ Zn . OH⁻ Br₂ . ج.

16. عند التحليل الكهربائي لمحلول يحتوي على الأيونات Ag^+ ، Cu^{2+} ، Zn^{2+} ، Ag^+ ، Cu^{2+} ، Zn^{2+} ، فإن ذراتها تبدأ بالترسب عند المهبط حسب الترتيب الآتي:

Ag, Zn, Cu . Ag, Cu, Zn . Cu, Ag, Zn . Zn, Ag, Cu . أ .

17. عندما يعاد شحن بطارية قابلة لإعادة الشحن تعمل الخلية بوصفها خلية:

د . تحليل كهربائي. ج . جلقانية. ب . قلوية. أ . حمضية.

18. العبارات الآتية جميعها صحيحة بالنسبة إلى الخلية الجلفانية $Ba|Ba^{2+}||Ni^{2+}|Ni$ عدا:

ب . أقوى عامل مخترل. أ . أقوى Ni^{2+} عامل مؤكسد.
د . تمثل $Ba|Ba^{2+}$ نصف خلية الاختزال. ج . تزداد كتلة القطب Ni .

19. العبارات الآتية التي تصف ما يحدث في بطارية أيون الليثيوم خلال عملية شحن البطاريه، جميعها صحيحة عدا:

ب . يمثل أكسيد الكوبالت CoO_2 قطب المهبط في أثناء الشحن. أ . تتأكسد أيونات الكوبالت Co^{3+} إلى Co^{4+} .
د . تتحرّك أيونات الليثيوم Li^+ باتجاه نصف خلية الجرافيت. ج . تختزل أيونات الليثيوم Li^+ .



أتأمل الصورة

تعد صناعة الصابون من أقدم الصناعات التي مارسها الإنسان، ويصنع الصابون بتسخين الزيوت أو الدهون مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH ؛ فتتفكّك الإسّترات المكوّنة لها متوجّةً أملاح الحموض الكربوكسيليّة أو الدهنيّة التي تمثل الصابون، ويعدّ هذا التفاعل مثلاً على تفاعلات المركبات العضويّة. فما تفاعلات المركبات العضويّة؟ وكيف تحدث؟ وكيف يجري توظيفها لإنتاج مركبات عضويّة مختلفة في المختبر أو في الصناعة؟

الفكرة العامة:

تفاعلات المركبات العضوية الكيميائية كثيرة جدًا، يمكن تصنيفها إلى تفاعلات: الإضافة، والحدف، والاستبدال، والتآكسد، والاختزال؛ لتسهيل دراستها، ومعرفة طائق حدوثها، والظروف التي تحدث فيها، وتوقع نواتجها العضوية، وتوظيفها في تحضير مركبات جديدة وتصنيعها.

الدرس الأول: تفاعلات المركبات العضوية: الإضافة، والحدف.

الفكرة الرئيسية: تفاعل 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 والتآكسد والاختزال.

الفكرة الرئيسية: تفاعل بعض المركبات العضوية بطريقة الاستبدال، حيث يجري فيها استبدال ذرة أو مجموعة ذرات بذرة أو مجموعة ذرات أخرى، كما تآكسد بعض المركبات العضوية أو تخترل، ويترتب عن ذلك مركبات جديدة مختلفة في خصائصها.

الدرس الثالث: تحضير المركبات العضوية.

الفكرة الرئيسية: توظيف تفاعلات المركبات العضوية في تحضير مواد عضوية جديدة وإناجها، ولذلك يجري تحضير كثير من المركبات العضوية في المختبرات بطرائق مختلفة؛ بهدف استكشاف طرق جديدة لإناجها على المستوى الاقتصادي.

تجربة استهلاكية

الكشف عن المجموعات الوظيفية في بعض المركبات العضوية

المواد والأدوات: محلول حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، محلول دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ ، كربونات الصوديوم $NaHCO_3$ ، الإيثanol 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 **اللاحظ:** 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 **اللاحظ:** 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 **اللاحظ:** أضيف إلى الأنبوب رقم (3) أربع قطرات من محلول دايكرومات 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:

الملاحظة	المجموعة الوظيفية	المركب
		حمض الإيثانويك

التحليل والاستنتاج:

- 1- **أتوقع:** ما الغاز المتتصاعد في الأنبوب رقم (1)؟
- 2- **أتوقع** نوع التفاعل الذي حدث في كلّ أنبوب من الأنابيب الثلاثة.

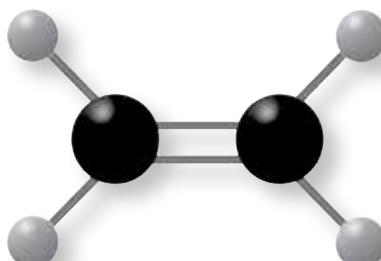
تفاعلات الإضافة Addition Reactions

درست سابقاً، أن المركب العضوي يحتوي على ذرة أو مجموعة ذرات في تركيبه الكيميائي تكون مسؤولة عن خصائصه ونشاطه الكيميائي، وتسمى المجموعة الوظيفية. وتخالف المركبات العضوية في مجموعاتهن الوظيفية؛ وتختلف تفاعلاتها تبعاً لذلك. ورغم أن هذه التفاعلات كثيرة جداً، إلا أنها صنفت إلى تفاعلات الإضافة، والحدف، والاستبدال، والتأكسد، والاختزال؛ وذلك لتسهيل دراستها. وسندرس تفاعلات الإضافة والحدف 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 ثلاثة، وهي تتكون من نوعين من الروابط، هما: سيجما σ القوية، وباي π الضعيفة. ولذلك تعد 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 ذرتين كربون $C=C$ ، في حين يحتوي الألكاين على رابطة تساهمية ثلاثة $C\equiv C$ ، أنظر الشكل (1). أما مركب الكربونيل (الألديهيد 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.



الفكرة الرئيسية:

تفاعل 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 تعبّر عن تفاعلات الإضافة والحدف في بعض المركبات العضوية.
- أميّز بين الهيدروكربون المشبّع وغير المشبّع.

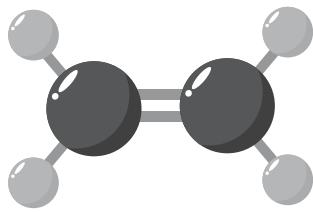
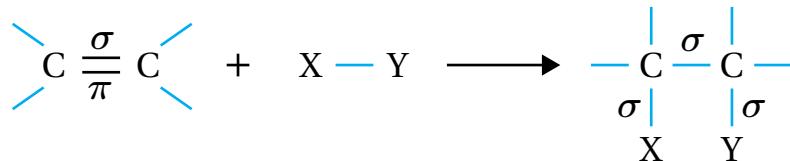
المفاهيم والمصطلحات:

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

الشكل (1): الرابطة الثنائية في الإيثين، والرابطة الثلاثية في الإيثانين.

تفاعلات الإضافة في الألkinات

يتفاعل الألkin بـإضافة جزيء إلى ذرتى كربون الرابطة الثنائية الموجودة فيه؛ فتنكسر رابطة π الضعيفة، وتتكون بدلاً منها رابطتان من النوع σ الأقوى؛ كما هو موضح في المعادلة العامة الآتية:



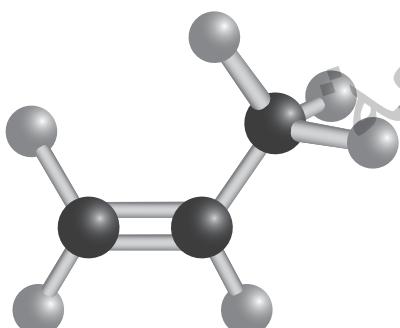
الشكل (2): ألكين متماثل.

ويمكن تفسير التفاعل؛ بأن الرابطة الثنائية تحتوي على زوجين من الإلكترونات الرابطة، مما يجعلها منطقة ذات كثافة إلكترونية عالية ينجذب 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 زوجاً من الإلكترونات غير الرابطة، وتنجذب نحو الطرف الموجب للجزيء. كما يطلق على الأطراف الموجبة للجزيئات، (مثل: H^+) اسم **إكتروفيلات** 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 الألkin.

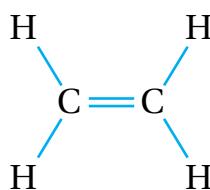
الألkin المتماثل والألkin غير المتماثل

Symmetrical and Unsymmetrical Alkenes

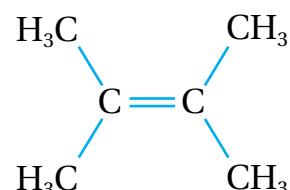
يعدّ الألkin متماثلاً عندما ترتبط كل ذرة كربون من ذرتى كربون الرابطة الثنائية بذرات أو مجموعات متماثلة، أنظر الشكل (2) فمثلاً: ترتبط كل ذرة كربون في جزيء الإيثين بذرتي هيدروجين، وكذلك في المركب 2 ، 3 - ثانوي ميثيل - 2 - بيوتين؛ ترتبط كل ذرة كربون من ذرتى كربون الرابطة الثنائية بمجموعتي ميثيل، كما يأتي:



الشكل (3): ألكين غير متماثل.



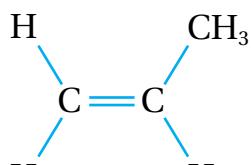
إيثين



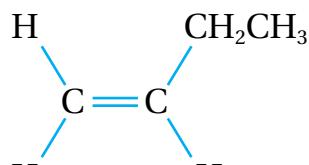
2 ، 3 - ثانوي ميثيل - 2 - بيوتين

أما في الألkin غير المتماثل فتكون الذرات أو المجموعات المرتبطة بذرتي كربون الرابطة الثنائية غير متماثلة، أنظر الشكل (3) فمثلاً: في البروبين ترتبط إحدى ذرتى كربون الرابطة الثنائية بذرتي هيدروجين، وترتبط ذرة الكربون الأخرى بذرعة هيدروجين ومجموعة ميثيل. وفي المركب 1 - بيوتين ترتبط إحدى ذرتى كربون

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



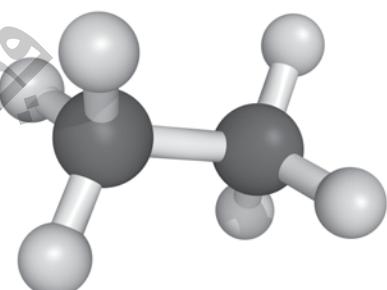
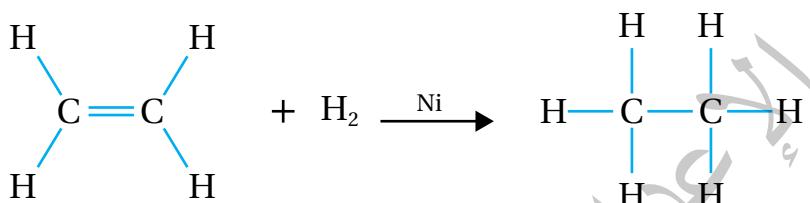
بروبين



ـ بيوتين

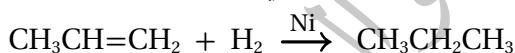
إضافة الهيدروجين H_2 (الهدرجة)

يتفاعل جزيء الإيثين $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ مع غاز الهيدروجين H_2 بوجود عامل مساعد من النikel Ni أو البلاتين Pt، وتحت درجة حرارة مناسبة، فيتتج الإيثان CH_3CH_3 ، أنظر الشكل (4)، ويعبر عن هذا التفاعل بالمعادلة الآتية:



الشكل (4): جزيء الإيثان.

وكذلك يتفاعل جزيء البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ مع غاز الهيدروجين مكوناً جزيء البروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ كما يأتي:

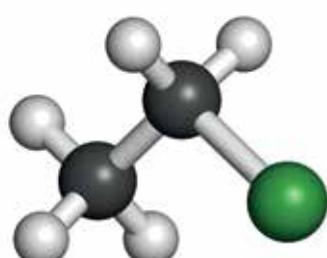
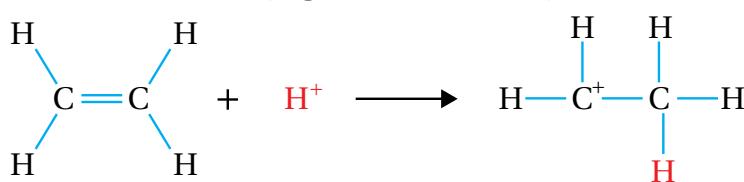


إضافة هاليد الهيدروجين (HCl, HBr, HI)

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 ذرتي كربون الرابطة الثنائية، وترتبط ذرة البروم مع ذرة الكربون الأخرى؛ ويكون ناتج واحد هو برومائيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ ، أنظر الشكل (5). ويمكن تفسير التفاعل بأن الإلكتروفيل H^+ من جزيء HBr ينجذب نحو الرابطة الثنائية؛ مما يؤدي إلى كسر رابطة π ، ويرتبط H^+ بإحدى ذرتي الكربون مكوناً الرابطة $\text{H}-\text{C}$ ، وتشاء على ذرة الكربون الأخرى شحنة موجبة، فيتكون أيون كربوني موجب، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

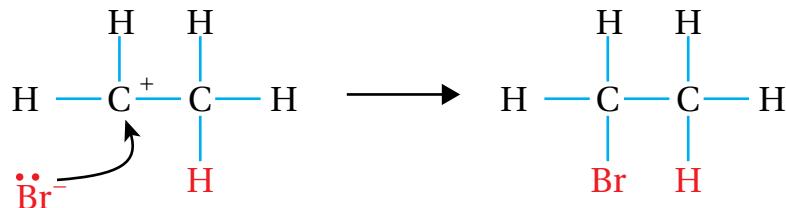


الشكل (5): جزيء برومائيثان.

يتبع ذلك ارتباط النيوكليوفيل Br^- بالأيون الكربوني الموجب، فت تكون رابطة $\text{C}-\text{Br}$ كما يأتي:

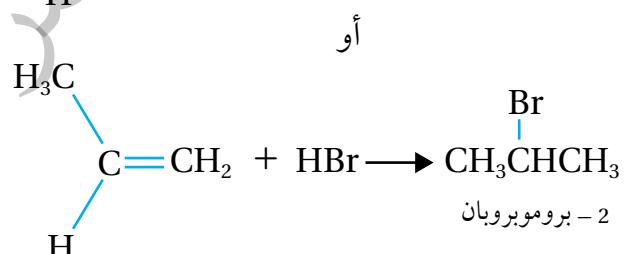
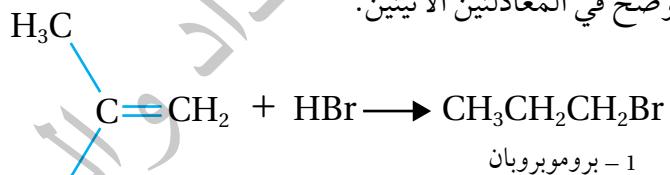
الجدول (1): أنواع الأيون الكربوني.

نوع الأيون الكربوني	الصيغة البنائية
الأيون الكربوني الأولي	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \diagdown \\ \text{R} & \text{C}^+ \text{---} \text{H} \\ & \diagup \\ & \text{Br}^- \end{array}$
الأيون الكربوني الثاني	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \diagdown \\ \text{R} & \text{C}^+ \text{---} \text{R} \\ & \diagup \\ & \text{H} \end{array}$
الأيون الكربوني الثالثي	$\begin{array}{c} \text{R} & \text{H} \\ & \diagdown \\ \text{R} & \text{C}^+ \text{---} \text{R} \\ & \diagup \\ & \text{R} \end{array}$



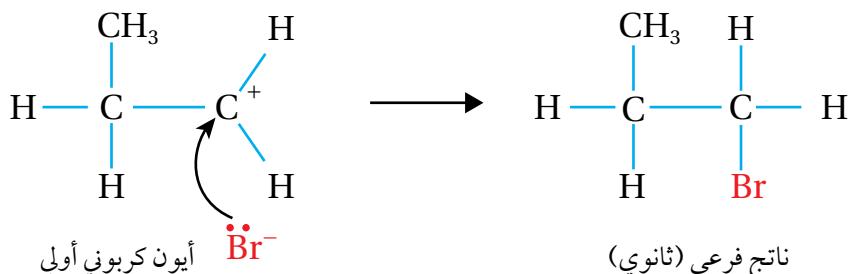
والأيون الكربوني قد يكون أولياً أو ثانياً أو ثالثياً. أنظر الجدول رقم (1) الذي يوضح شكلًا مبسطاً لأنواع الأيون الكربوني، حيث R مجموعة الألكيل. ويكون الأيون الكربوني الثالثي أكثر استقراراً وثباتاً من الأيون الكربوني الثاني، وأقلها ثباتاً، الأيون الكربوني الأولي.

ويسمى التفاعل السابق إضافة إلكتروفильية **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 الألكين غير متماثل، مثل البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ؛ فإنه يُحتمل تكوُّن ناتجين، كما هو موضح في المعادلين الآتيين:

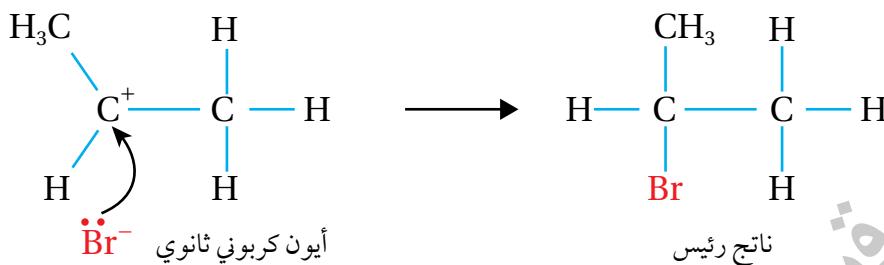


أَفْكَرْ: كيف أُميِّز بين أنواع الأيونات الكربونية الثلاثة؟

يتضح من المعادلين أن ذرة البروم يمكن أن ترتبط مع إحدى ذرتي كربون الرابطة الثنائية، وبناء على ذلك يُحتمل أن يتكون المركب 1 - بروموبروبان أو 2 - بروموموبروبان، وقد وُجد عملياً أن الناتج الرئيس الذي يتكون هو 2 - بروموموبروبان، ويمكن تفسير ذلك عن طريق قاعدة ماركوفنيكوف **Markovnikov's Rule**، التي تنص على أنه عند إضافة هاليد الهيدروجين HX إلى الألكين 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 الثاني يؤدي إلى تكوين الناتج الرئيس 2 - بروموموبروبان،



الشكل (6): الناتج الرئيس والناتج الثانوى لتفاعل Br^- مع الأيون الكربونى الأولي والثانوى.



مقارنةً بتفاعل أيون البروميد Br^- مع الأيون الكربونى الأولي الأقل استقراراً وثباتاً، الذي يؤدى إلى تكوين ناتج فرعى (ثانوى) كما هو موضح في الشكل (6).

إضافة الماء Addition of Water H_2O

يتفاعل بخار الماء مع الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ مثلاً؛ بوجود عامل مساعد، مثل حمض الفسفوريك H_3PO_4 ، أو حمض الكبريتิก H_2SO_4 ، وتحت ضغط جوي ودرجة حرارة مناسبين؛ وذلك لإنتاج الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، ويعبر عن التفاعل بالمعادلة الآتية:

$$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_3\text{PO}_4} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$$

وكذلك يتفاعل البروپين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ مع الماء في وسط حمضي؛ تبعاً لقاعدة مارکوفيكوف مكوناً المركب 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ، كما في المعادلة الآتية:

$$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_3\text{PO}_4} \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$$

إضافة الهايوجين (Cl₂, Br₂) Addition of Halogen (Cl₂, Br₂)

تفاعل الألكينات مع الهايوجينات، مثل الكلور أو البروم، عند درجة حرارة الغرفة، فمثلاً: يتفاعل الإيثين مع غاز الكلور مكوناً المركب 1، 2-ثنائي كلوروإيثان $\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$ ؛ كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$$

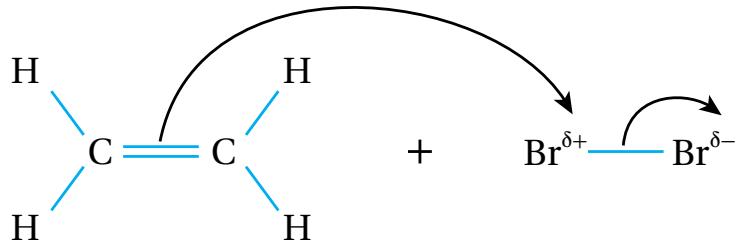
ويتفاعل الإيثين مع البروم Br_2 المذاب في ثنائى كلوروسيان CH_2Cl_2 ؛

أفخر: أفسر عدم تكوّن أيون كربوني ثالثيّ في تفاعل بروميد الهيدروجين مع البروپين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$.

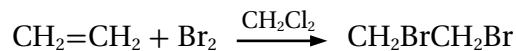
الربط بالحياة

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

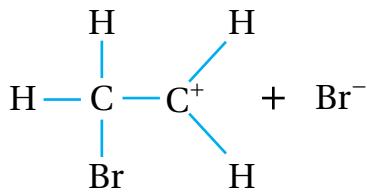
الشكل (7): استقطاب جزيء Br_2 عند اقترابه من الرابطة الثنائية.



مكوّناً المركب 1، 2-ثنائي بروموميثان $\text{CH}_2\text{BrCH}_2\text{Br}$ ، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



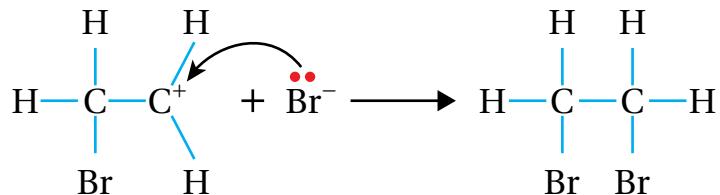
وتفسير ذلك أن الرابطة الثنائية ذات كثافة إلكترونية عالية سالبة الشحنة تسبب استقطاب جزيء الهاالوجين القريب منها، فتظهر على إحدى ذرتي الجزيء شحنة جزئية موجبة، وتظهر على الذرة الأخرى شحنة جزئية سالبة، كما هو موضح في الشكل (7) الذي يُبيّن استقطاب جزيء Br_2 عند اقترابه من الرابطة الثنائية.



الشكل (8): تكون رابطة $\text{Br}-\text{C}^+$ وأيون كربوني موجب وأيون بروميد سالب.

ثم يحدث تجاذب بين الشحنة السالبة للرابطة $\text{C}=\text{C}$ من الألكين وذرة البروم ذات الشحنة الجزئية الموجبة؛ فتنكسر الرابطة π في الألكين، وت تكون الرابطة $\text{C}-\text{Br}$ ، ويتحلّأّ أيون كربوني موجب، وأيون بروميد سالب، وتُعدّ هذه الإضافة إلكتروفильية، أنظر الشكل (8).

بعد ذلك ينجذب أيون البروميد السالب إلى ذرة الكربون الموجبة في الأيون الكربوني، فتتكتّن رابطة جديدة $\text{Br}-\text{C}$ ؛ وبذلك يتكون المركب 1، 2-ثنائي بروموميثان، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



يُستعمل محلول البروم المائي (ماء البروم) ذو اللون البرتقالي المصفر أو البروم المذاب في ثنائي كلوروميثان CH_2Cl_2 في الكشف عن وجود الرابطة الثنائية أو الثلاثية، لذلك؛ يمكن التمييز مخبرياً 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

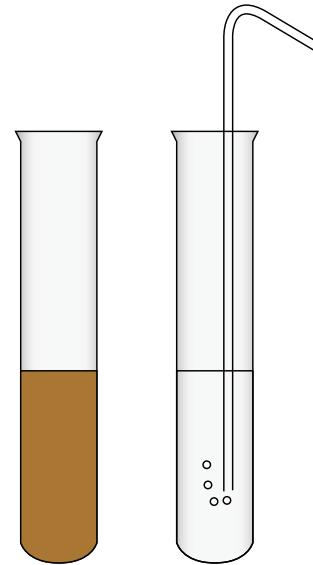
محلول البروم كما هو موضح في الشكل (9). أما عند إضافة محلول البروم إلى الإيثان CH_3CH_3 فإن لون محلول لا يتغير، مما يشير إلى عدم حدوث تفاعل.

أتحقق ✓

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



الشكل (9): اختفاء لون ماء البروم عند تفاعلـه مع الإيثـين.

تفاعـلات الإضـافة في الأـلـكـاـيـنـات

تفاعلـ الأـلـكـاـيـنـات بـ تـفاعـلات الإـضـافة كـمـاـ فـيـ الأـلـكـاـيـنـات؛ إـذـ يـمـكـنـ إـضـافـةـ جـزـيـئـيـنـ مـنـ الـهـيـدـرـوـجـيـنـ، أوـ الـهـالـوـجـيـنـ، أوـ هـالـيـدـ الـهـيـدـرـوـجـيـنـ إـلـىـ الـأـلـكـاـيـنـ؛ فـتـنـكـسـرـ رـابـطـاـ π ـ، وـيـتـكـونـ بـدـلـاـ مـنـهـمـ أـرـبـعـ رـوـابـطـ مـنـ النـوـعـ σ ـ، وـالـأـمـلـةـ الـآـتـيـةـ تـوـضـعـ هـذـهـ إـضـافـةـ:

إـضـافـةـ الـهـيـدـرـوـجـيـنـ

يـتـفـاعـلـ الـأـلـكـاـيـنـ مـعـ كـمـيـةـ وـافـرـةـ مـنـ الـهـيـدـرـوـجـيـنـ بـوـجـودـ عـامـلـ مـسـاعـدـ، مـثـلـ الـنـيـكـلـ Ni ـ أوـ الـبـلـاتـينـ Pt ـ مـكـوـنـاـ الـأـلـكـاـنـ، فـمـثـلاـ: يـتـفـاعـلـ جـزـيـءـ الـإـيـثـانـ $\text{HC}\equiv\text{CH}$ ـ مـعـ كـمـيـةـ وـافـرـةـ مـنـ الـهـيـدـرـوـجـيـنـ مـكـوـنـاـ جـزـيـءـ الـإـيـثـانـ CH_3CH_3 ـ، وـيـمـكـنـ التـعـيـيرـ عـنـ مـعـادـلـةـ

الـتـفـاعـلـ كـمـاـ يـأـتـيـ:

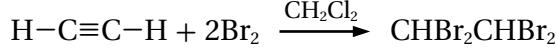


وـكـذـلـكـ يـتـفـاعـلـ جـزـيـءـ 1ـ- بـيـوتـاـيـنـ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CH}$ ـ، مـعـ كـمـيـةـ وـافـرـةـ مـنـ الـهـيـدـرـوـجـيـنـ، مـكـوـنـاـ جـزـيـءـ الـبـيـوتـاـنـ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ـ، كـمـاـ يـأـتـيـ:



إـضـافـةـ الـهـالـوـجـيـنـ

يـتـفـاعـلـ الـأـلـكـاـيـنـ مـعـ كـمـيـةـ وـافـرـةـ مـنـ الـهـالـوـجـيـنـ مـكـوـنـاـ هـالـيـدـ الـأـلـكـيلـ، فـمـثـلاـ: يـتـفـاعـلـ جـزـيـءـ الـإـيـثـانـ $\text{CH}\equiv\text{CH}$ ـ مـعـ جـزـيـئـيـنـ مـنـ الـبـرـومـ 2Br_2 ـ المـذـابـ فـيـ ثـنـائـيـ كـلـورـوـمـيـثـانـ CH_2Cl_2 ـ مـكـوـنـاـ جـزـيـءـ 2,1,1ـ- ربـاعـيـ بـرـومـوـ إـيـثـانـ $\text{CHBr}_2\text{CHBr}_2$ ـ، كـمـاـ هـوـ مـوـضـعـ فـيـ الـمـعـادـلـةـ الـآـتـيـةـ:



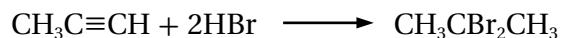
أـفـكـرـ: أـفـسـرـ تـفـاعـلـ جـزـيـئـيـنـ مـنـ الـهـيـدـرـوـجـيـنـ مـعـ جـزـيـءـ وـاحـدـ مـنـ الـإـيـثـانـ.

وكذلك يتفاعل جزيء البروبان $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH}$ مع جزيئين من الكلور 2Cl_2 مكوناً 1، 2، 2- رباعي كلورو بروبان $\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{CHCl}_2$ كما يأتي:



إضافة هاليد الهيدروجين

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 البروبان $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH}$ ، فينتج جزيء 2-ثنائي بروموبروبان $\text{CH}_3\text{CBr}_2\text{CH}_3$ ؛ كما يأتي:



كما يتفاعل جزيئان من كلوريد الهيدروجين HCl مع جزيء الإيثان $\text{CH}\equiv\text{CH}$ مكوناً 1، 1-ثنائي كلورو إيثان 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-بيوتاين $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3$ مع كمية وافرة من الهيدروجين.

تفاعلات الإضافة في الألديهيدات والكيتونات

Addition Reactions in Aldehydes and Ketones

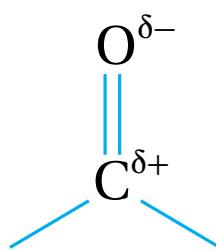
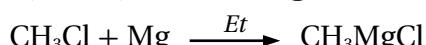
تشابه الألديهيدات والكيتونات في كثير من تفاعلاتها الكيميائية؛ وذلك لاحتواء كل منها على مجموعة الكربونيل القطبية التي تحتوي على رابطة ثنائية بين ذرة الكربون وذرة الأكسجين، أنظر الشكل (10)؛ مما يجعل الألديهيدات والكيتونات تتفاعل بالإضافة. ومن الأمثلة على هذه التفاعلات: تفاعلاتها مع مركبات غرينارد، ومع الهيدروجين كما يأتي:

إضافة مركب غرينارد R - MgX

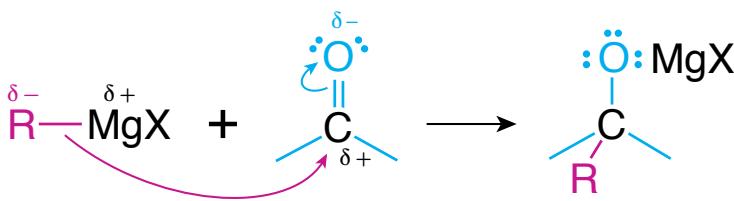
ينتج مركب غرينارد RMgX من تفاعل هاليد الألكيل R-X مع فلز المغنيسيوم بوجود الإيثر Et_2O الجاف، كما هو موضح في المعادلة:



مثلاً: ينتج مركب ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl من تفاعل كلوريد الميثيل (كلوروميثان) CH_3Cl مع فلز المغنيسيوم، كما في المعادلة الآتية:

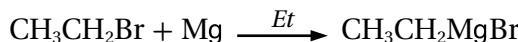


الشكل (10): مجموعة الكربونيل القطبية.



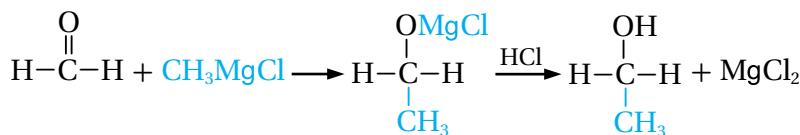
الشكل (11): الإضافة النيوكليوفيلية في الألديهيد والكيتون.

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_2O الجاف، كما يأتي:



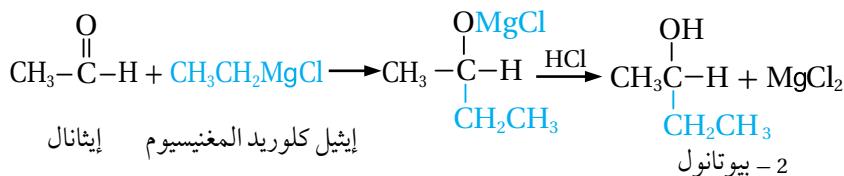
وحيث إن ذرة المغنيسيوم أقل سالبية كهربائية من ذرة كربون مجموعة الألکيل R المرتبطة بها، تظهر على ذرة المغنيسيوم شحنة جزئية موجبة، وتظهر على ذرة الكربون المرتبطة بذرة المغنيسيوم من مجموعة الألکيل R شحنة جزئية سالبة، $(\text{R}-\overset{\delta+}{\text{MgX}})$ ، وبهذا فإن مجموعة الألکيل R تعدّ نيوکليوفيلياً يبدأ التفاعل مع مجموعة الكربونيل، حيث ينجذب النيوکليوفيل نحو ذرة الكربون الموجبة الشحنة في مجموعة الكربونيل في الألديهيد أو الكيتون، ولذلك يطلق على هذا النوع من الإضافة **الإضافة النيوكليوفيلية** **Nucleophilic Addition**، كما هو موضح في الشكل (11) الذي يُبيّن هذه الإضافة.

يتضح من الشكل أن النيوکليوفيل $\overset{\delta-}{\text{R}}$ يرتبط مع ذرة الكربون ذات الشحنة الجزئية الموجبة في مجموعة الكربونيل، ثم يرتبط الإلکتروفيل $\overset{\delta+}{\text{MgX}}$ مع ذرة الأكسجين ذات الشحنة الجزئية السالبة؛ وبذلك يتكون ناتج وسطي يتفاعل مع حمض HCl ، أو حمض HBr ؛ فتحل ذرة هيدروجين من الحمض محل MgX في المركب الوسطي، ويترافق الكحول، ويكون عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج مساوياً لمجموع عدد ذرات كربون المادتين المتفاعلاتين من مركب الكربونيل ومركب غرينارد، فمثلاً: يتفاعل المياثانال HCHO مع مياثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl بوجود حمض HCl ، فيترافق 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 اثنين، وهذا يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في المادتين المتفاعلاتين؛ مياثانال HCHO ، ومياثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl .

ومن الأمثلة أيضاً: تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ مع الإيثانول CH_3CHO ، وكذلك تفاعله مع البروبانون CH_3COCH_3 ، كما هو موضح في المعادلتين الآتيتين:



أكتب الصيغة البنائية
المحتملة لمركبي غرينارد
والألديهاید اللازمین لتكوين
مركب 3- بتانول.



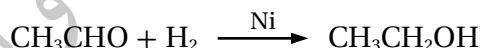
$$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}_3 + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl} \longrightarrow \text{CH}_3-\underset{\text{CH}_2\text{CH}_3}{\overset{\text{O}\text{MgCl}}{\underset{\text{C}}{\text{C}}}}-\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{HCl}} \text{CH}_3-\underset{\text{CH}_2\text{CH}_3}{\overset{\text{OH}}{\underset{\text{C}}{\text{C}}}}-\text{CH}_3 + \text{MgCl}_2$$

إيثيل كلوريد المغنيسيوم بروپانون 2-ميثيل-2-بيوتانول

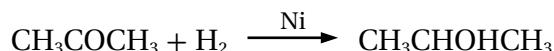
2-ميثيل - 2-بيوتانول إيثيل كلوريد المغنيسيوم بروبانون

إضافة الهيدروجين Addition of Hydrogen

تفاعل الألديهايدات والكيتونات مع غاز الهيدروجين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt مكونة الكحولات. فمثلاً: يتفاعل الإيثانال CH_3CHO مع غاز الهيدروجين H_2 مكوناً الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$; وفق المعادلة الآتية:



وكذلك يتفاعل البروبانون CH_3COCH_3 مع غاز الهيدروجين H_2 مكوناً 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$; وفق المعادلة الآتية:



أتحقق:

١- أكمل المعادلتين الآتيتين:

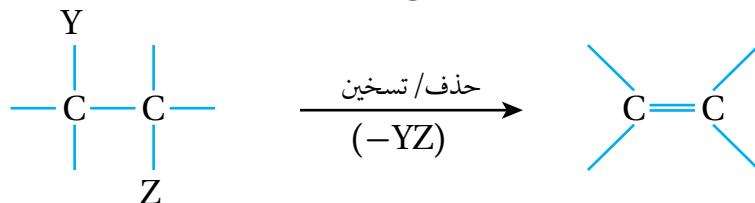
- $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Ni}} \dots$
 - $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgBr} \xrightarrow{\dots} \dots \xrightarrow{\text{HBr}} \dots$

أ- أكتب معادلة تفاعل البيوتانون $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$ مع إيثيل كلوريد المغنسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، متبعاً بإضافة حمض HCl .

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 H_2O مكوناً الكحول R-OH . أما

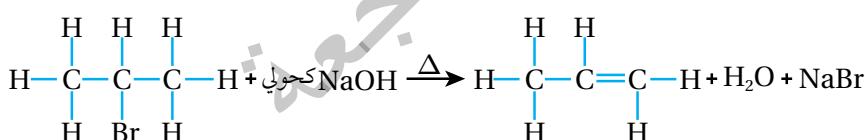
تفاعل الحذف Elimination Reaction؛ فهو تفاعل يحدث فيه نزع جزيء هاليد HX من هاليد الألكيل من ذرتين كربون متتاليتين، أو نزع جزيء الماء H_2O من الكحول مكوناً الألكين. وتوضح المعادلة العامة الآتية تفاعل الحذف:



الحذف من هاليد الألكيل Elimination from Alkyl Halide

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

يُنتزع جزيء HX من هاليد الألكيل الثانوي أو الثالثي بشكل رئيس، وذلك بالتسخين مع محلول مركز من قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد البوتاسيوم KOH أو هيدروكسيد الصوديوم NaOH المذاب في الإيثanol، فيتتج الألكين. فمثلاً: عند تسخين 2-بروموبروبان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$ مع محلول هيدروكسيد الصوديوم الكحولي، يتكون المركب العضوي بروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



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

نوع هاليد الألكيل	هاليد ألكيل أولي 1°	هاليد ألكيل ثانوي 2°	هاليد ألكيل ثالثي 3°
الصيغة العامة	$\text{R}-\text{C}-\text{X}$ R' R''	$\text{R}'-\text{C}-\text{X}$ H	$\text{R}'-\text{C}-\text{X}$ R''
مثال	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$	CH_3CHCH_3 Br	$\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$ Br

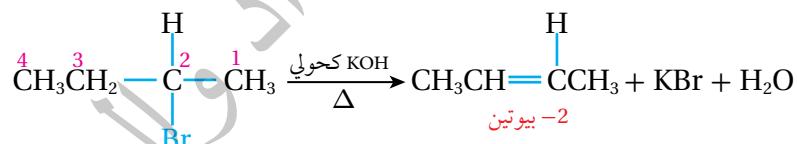
ويمكن كتابة معادلة التفاعل على النحو الآتي:



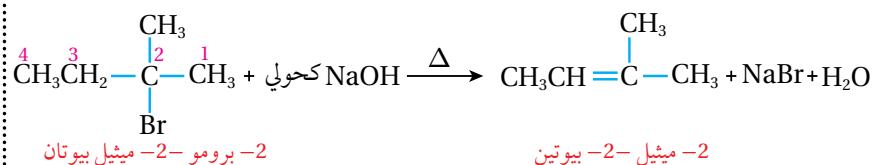
يتضح من المعادلة أن ذرة البروم Br نُزِّعت عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وأن ذرة هيدروجين H نُزِّعت عن ذرة الكربون المجاورة لها؛ ف تكونت رابطة ثنائية بين ذرتين الكربون المجاورة لذرة الكربون المرتبطة بالهيدروجين.

و عند زيادة عدد ذرات الكربون في هاليد الألكيل عن 3 ذرات كربون، تُنَزَّع ذرة الهيدروجين H من ذرة الكربون المجاورة لذرة الكربون المرتبطة بالهيدروجين التي ترتبط بعدد أكبر منمجموعات الألكيل وبعدد أقل من ذرات الهيدروجين.

فمثلاً: عند تسخين 2-بروموبوتان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{CH}_3$ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي تُنَزَّع 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 بمجموعة ألكيل، وقد وُجِد أن نزع ذرة الهيدروجين عن ذرة الكربون رقم (3) يؤدي إلى تكون الرابطة الثنائية الأكثر ثباتاً بين ذرتين كربون 2 و 3، ويكون الناتج 2-بيوتين هو الناتج الرئيس.



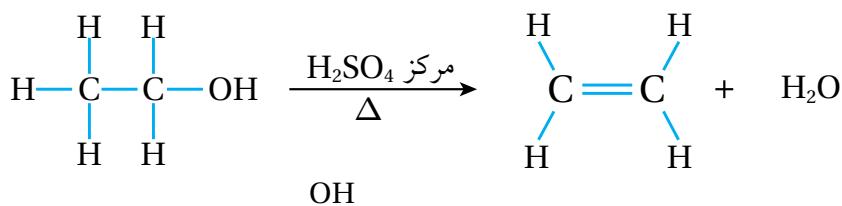
وكذلك عند تسخين 2-برومو-2-ميثيلبيوتان مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH الكحولي؛ فإن ذرة البروم تُنَزَّع عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وتُنَزَّع ذرة الهيدروجين عن ذرة الكربون رقم (3) المرتبطة بعدد أكبر منمجموعات الألكيل؛ فيكون الناتج 2-ميثيل-2-بيوتين، كما توضح المعادلة الآتية:



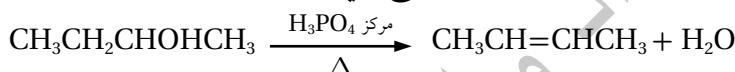
أَتَحَقَّ: أكتب معادلة تفاعل تسخين 2-كلوروبوتان $\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي.

الحذف من الكحول

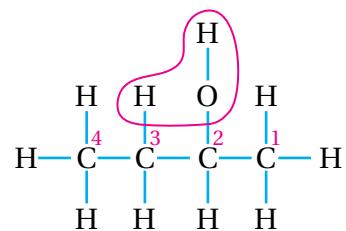
عند تسخين الكحول مع حمض الكبريتิก H_2SO_4 المركز أو حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركز؛ يُنزع جزء H_2O من ذرتى كربون متجاورتين، حيث تُنزع مجموعة OH عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وتُنزع ذرة الهيدروجين H عن ذرة الكربون المجاورة، فتتكون رابطة ثنائية بين ذرتى الكربون المتجاورتين ويُتَّجَّ الألكين، ومثال ذلك: نزع جزء الماء من الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ؛ فيتَّجَّ الإثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



أما عند تسخين 2-بيوتانول $\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_3$ مع حمض الفسفوريك 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 منمجموعات الألكيل كما يوضح الشكل (12)، ويُتَّجَّون 2-بيوتين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2$ ، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



أتحقق: أكتب معادلة تفاعل تسخين المركب 2-هكسانول

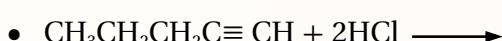
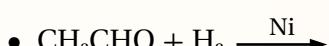


الشكل (12): نزع الماء من المركب 2-بيوتانول.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أقارن بين تفاعلي الإضافة والحذف.

2. أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:



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 بروبيل كلوريد المغنيسيوم CH_3COCH_3 إلى بروبانون $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، متبعاً بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl .

• تسخين 1- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ، مع حمض الكبريتิก H_2SO_4 المركز.

• تسخين 2- كلورو-2- ميتشيل بنتان $\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ، 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 العضوي الممحتملة X,Y,Z.

5. أستنتج الصيغة البنائية للمركب G المستخدم في التفاعل الآتي:



6. أدرس الجدول الآتي الذي يضم مركبات عضوية، ثم اختار 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 الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركز.

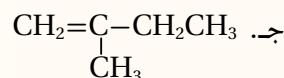
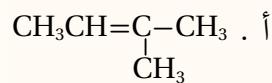
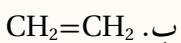
ج. ناتج تفاعل الإيثين $\text{CH}\equiv\text{CH}$ ، مع 2 مول من الهيدروجين بوجود النيكل Ni .

د. صيغة المركب الناتج من تفاعل الإيثانول CH_3CHO مع الهيدروجين بوجود النيكل Ni .

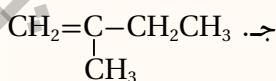
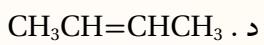
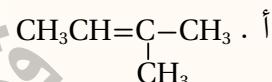
هـ. صيغة المركب الناتج من تفاعل المياثانول HCHO مع ميتشيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl ، متبعاً بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl .

7. اختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. يتكون أيون كربوني ثانوي موجب خلال تفاعل بروميد الهيدروجين HBr مع أحد المركبات الآتية:



2. يتحل المركب 3-ميثيل-2-بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$ عند إضافة الماء بوجود حمض الفسفوريك H_3PO_4 إلى أحد المركبات الآتية:



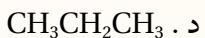
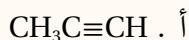
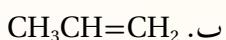
3. الناتج العضوي الرئيس عند تسخين 2-بروموبتان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي، هو:



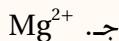
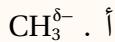
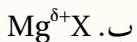
4. صيغة المركب X في التفاعل: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl} \xrightarrow{\text{HCl}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_2\text{CH}_3 + X$ هي:



5. صيغة المركب Z في التفاعل: $Z + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{CCl}_2\text{CH}_3$; هي:



6. في تفاعل الميثانال $\text{H}-\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{C}}}-\text{H}$ مع ميثيل هاليد المغنيسيوم CH_3MgX ، الجزء الذي يضاف إلى ذرة الأكسجين في مجموعة الكربونيل، هو:



تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions

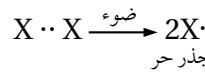
يعدّ تفاعل الاستبدال أحد تفاعلات المركبات العضوية المهمة التي تستخدم في تحضير كثير منها، ويعرف **تفاعل الاستبدال**

بأنه تفاعل تحلّل فيه ذرة أو مجموعة ذرات محل ذرة أو مجموعة ذرات أخرى في المركب العضوي. ومن المركبات العضوية التي تتفاعل بالاستبدال: الألkanات، وHalides الألكيل، والكحولات، والحموض الكربوكسيلي. أنظر الشكل (13) الذي يمثل نماذج لأمثلة من المركبات العضوية التي تتفاعل بالاستبدال.

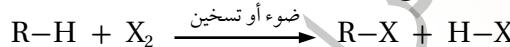
تفاعلات الاستبدال في الألkanات (هلجنة الألkanات)

Substitution Reactions of the Alkanes

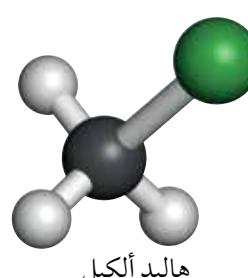
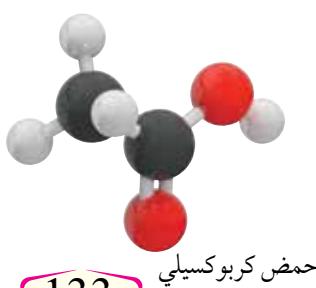
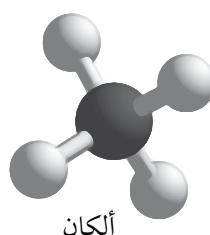
يُعرف تفاعل هلجنة الألkanات بأنه تفاعل استبدال تحلّل فيه ذرة هالوجين أو أكثر محل ذرة هيدروجين أو أكثر في الألkan مكوّناً هاليد الألكيل، ويحدث التفاعل بوجود الضوء، أو بالتسخين الذي يعمل على كسر الرابطة بين ذرتين هالوجين مكوّناً ما يسمى **الجزر الحرّ** Free Radical كما في المعادلة الآتية:



ويعُرف بأنه ذرة أو مجموعة ذرات تمتلك إلكترونًا منفردًا مثل $\cdot\text{Cl}$ ؛ مما يجعله شديد النشاط؛ فيتفاعل مع الألkan لتكوين هاليد الألكيل حسب المعادلة الآتية:



وتترتب الهالوجينات حسب شدة تفاعಲها مع الألkan كما يأتي: $\text{F}_2 > \text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{I}_2$ ، 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 الرئيسية:

تفاعل 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.

نماذج التعلم:

- أميّز بين تفاعلات المركبات العضوية الآتية: الاستبدال، والتأكسد والاختزال.
- أكتب معادلات كيميائية تعبّر عن تفاعلات الاستبدال، والتأكسد والاختزال؛ لبعض المركبات العضوية.

- أجري تجرب بسيطة للتمييز بين بعض المجموعات الوظيفية المختلفة، مثل: الألديهايدات، والكيتونات، والكحولات، والحموض الكربوكسيلي.

المفاهيم والمصطلحات:

تفاعل الاستبدال

Substitution Reaction

Free Radical

جذر حرّ

الاستبدال النيوكليوفيلي

Nucleophilic Substitution

الأسترة

Esterification

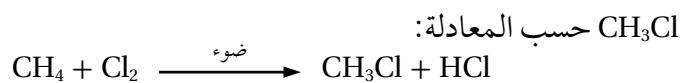
التصبن

Saponification

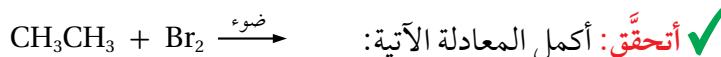
التصبن

الشكل (13): أمثلة لمركبات عضوية تتفاعل بالاستبدال.

فمثلاً: يتفاعل الميثان CH_4 مع الكلور Cl_2 ; بوجود الضوء متنجاً كلوروميثان



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

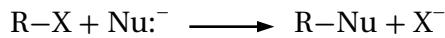


تفاعلات الاستبدال في هاليدات الألكيل

Substitution Reactions of Alkyl Halides

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

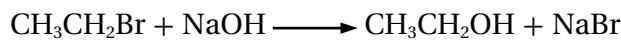
تفاعل هاليدات الألكيل الأولية بشكل رئيس بالاستبدال؛ وذلك عند تفاعಲها مع قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH ، أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH المذابة في مزيج من الماء والإيثanol مكونةً كحول ROH ، كما تتفاعل مع أيون الكوكسید RO^- وتنتج الإيثر' ROR' ، والمعادلة الآتية تمثل المعادلة العامة للتفاعل:



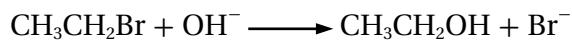
حيث تشير Nu^- إلى نيوكليل يمتلك زوجاً من الإلكترونات غير الرابطة، ويمكن أن يكون أيوناً سالباً، مثل RO^- , OH^- .

يحدث تفاعل الاستبدال في هاليدات الألكيل الأولية عند تفاعل نيوكليل، 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 الإلكترونات الرابطة $\text{X}-\text{C}^-$ على شكل X^- ، ويسمى هذا التفاعل **الاستبدال النيوكليليفي** **Nucleophilic Substitution**، أنظر الشكل (14).

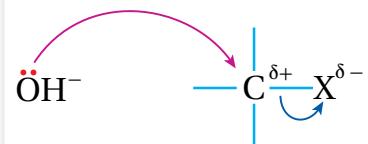
توضح المعادلة الآتية تفاعل بروموميثان مع محلول NaOH ، كما في المعادلة الآتية:



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 الأولي مع أيون الكوكسید RO^- حسب المعادلة العامة الآتية:

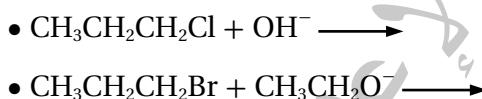


حيث يحل الأيون RO^- محل X^- ; كما يوضح الشكل (15). والمعادلة الآتية توضح تفاعل أيون الميثوكسید CH_3O^- مع كلوروإيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ مع إيثيل ميتشيل إيثر حسب المعادلة:



يجري الحصول على أيون CH_3O^- من تفاعل كحول الميثانول CH_3OH مع فلز نشط، مثل الصوديوم؛ إذ يتتج المركب الأيوني ميثوكسید الصوديوم $\text{CH}_3\text{O}^- \text{Na}^+$ الذي يتفكك في الماء متراجعاً إلى أيون CH_3O^- اللازم لتفاعل، وستطرق إلى دراسة تفاعل الكحولات مع الفلزات النشطة لاحقاً.

أحقّ: أكمل المعادلات الآتية: ✓



تفاعلات الاستبدال في الكحولات Substitution Reactions of Alcohols

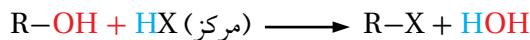
تعد الكحولات من المركبات المهمة التي تُستخدم لتحضير العديد من المركبات العضوية، وتفاعل بطرائق مختلفة، منها: الاستبدال.

يحدث تفاعل الاستبدال في الكحولات $\text{R}-\text{OH}$ عندما تحل ذرة أو مجموعة ذرات محل مجموعة الهيدروكسيل OH فيها. وتُصنف الكحولات المحتوية على مجموعة هيدروكسيل واحدة إلى: أولية 1° ، ثانوية 2° ، وثالثية 3° ، وذلك حسب عددمجموعات 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.

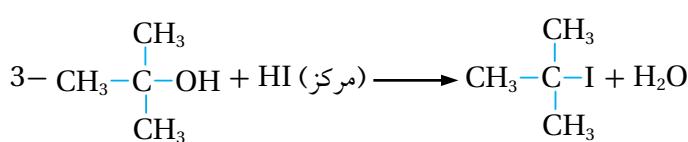
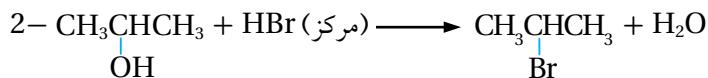
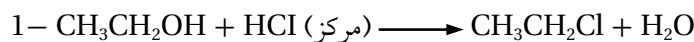
نوع الكحول	كحول أولي 1°	كحول ثانوي 2°	كحول ثالثي 3°
الصيغة العامة	$\text{R}-\text{C}(\text{H})-\text{OH}$	$\text{R}'-\text{C}(\text{H})-\text{OH}$	$\text{R}'-\text{C}(\text{R}'')-\text{OH}$
مثال	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	$\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{OH}$

يتفاعل الكحول سواءً أكان أولياً، أم ثانياً، أم ثالثاً، مع حمض HX المركّز 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:



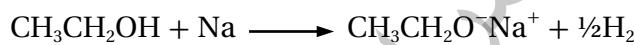
تفاعل الكحولات مع الفلزّات النشطة

Reaction of Alcohol with active Metals

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

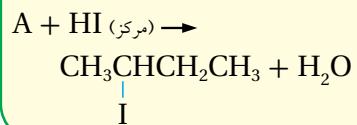


فمثلاً: يتفاعل الإيثanol مع الصوديوم مكوّناً إيثوكسيد الصوديوم حسب المعادلة:

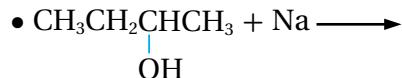
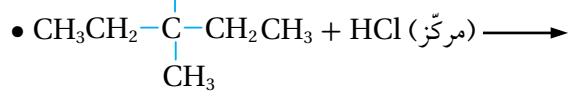


تكمّن أهمية هذا التفاعل في أنه يُستخدم لتحضير أيون ألكوكسيد RO^- الذي يتفاعل مع هاليد الألكيل الأولي لتكوين الإثير كما ورد سابقاً، وكذلك يُستخدم للكشف عن الكحولات مخبرياً، إذ يُميّز الكحول عن غالبية المركبات العضوية الأخرى بتفاعلها جميعاً مع فلز الصوديوم، وسيلاحظ تصاعد غاز الهيدروجين في أثناء التفاعل مع الكحولات فقط، ويكون ألكوكسيد الصوديوم $\text{R-O}^-\text{Na}^+$ ، وتشترك الحموض الكربوكسيليّة مع الكحولات في هذا التفاعل.

أفخر: أكتب الصيغة البنائية للمركب A



أتحقق: أكمل المعادلات الآتية: ✓



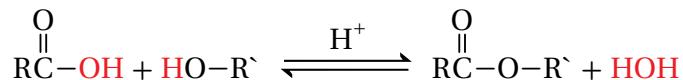
تفاعل الاستبدال في الحموض الكربوكسيلي

Substitution Reaction of Carboxylic Acid

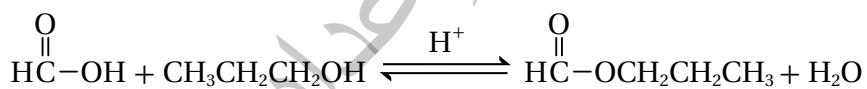
تفاعل الحموض الكربوكسيلي مع الكحولات بوجود عامل مساعد، مثل حمض الكبريتيك المركّز H_2SO_4 ؛ لتكوين الإسترات، ويمكن زيادة سرعة التفاعل

بالتسخين، ويسمى هذا التفاعل **الاسترة Esterification**

تمثّل المعادلة العامة الآتية تفاعل تكوين الإستر:



الاحظ من المعادلة أنَّ OR' من الكحول حل محل OH من مجموعة الكربوكسيل في الحمض الكربوكسيلي لتكوين الإستر RCOOR' ، لذلك؛ يعد تفاعل الاسترة من تفاعلات الاستبدال في الحموض الكربوكسيلي، 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 لـإستر 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. وتمثّل المعادلة الآتية تفكك إستر بروبانوات الميثيل $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$ ، بوجود حمض الهيدركلوريك المخفف؛ لإنتاج حمض البروبانويك والميثانول.



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

وتمثّل المعادلة الآتية تفكك إستر إيثانوات البروبيل عند تسخينه في الوسط القاعدي مكوناً إيثانوات الصوديوم و 1-بروبانول:



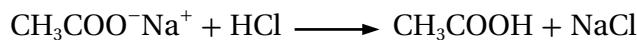
الربط بالصناعة



استخلاص الإنسان منذ القدم مسكنًا للألم من لحاء شجر الصفصاف، إلى أن صُنعت الأسبرين فأصبح يُستخدم في أنحاء العالم كافة بوصفه مسكنًا للألم بوجه عام، حيث يحضر من خلال تفاعل الأسترة.

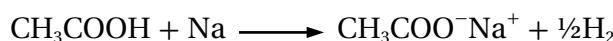


ويتمكن الحصول على الحمض الكربوكسيلي بتفاعل الملح الناتج مع حمض قوي مثل HCl كما في المعادلة:



واللهم حمض الكربوكسيلي تفاعلات استبدال أخرى، منها:

تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الفلزات النشطة، مثل فلز الصوديوم؛ إذ يتتج عن التفاعل ملح الحمض الكربوكسيلي، ويتصاعد غاز الهيدروجين؛ كما توضح المعادلة الآتية:



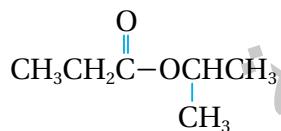
تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع بعض الأملاح القاعدية، مثل كربونات الصوديوم Na_2CO_3 أو كربونات الصوديوم الهيدروجينية NaHCO_3 ، ويتصاعد غاز CO_2 ، ويُستخدم هذا التفاعل للكشف عن الحمض الكربوكسيلي؛ إذ يميّزها عن غيرها من المركبات العضوية، كما في المعادلتين الآتتين:



أَفْكَرْ: أصف كيف أميّز مخبرياً بين كحول الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، وحمض الإيثانوليك CH_3COOH وأكتب معادلة كيميائية لتفاعل الحاصل.

أتحقق: ✓

1. أحدد الكحول والحمض الكربوكسيلي اللذين تكون منهما الإستر الآتي:



2. أكمل المعادلات الآتية:

- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CH}_3\text{OH} \xrightleftharpoons{\text{H}^+}$
- $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{NaOH} \xrightarrow{\Delta}$
- $\text{HCOOH} + \text{NaHCO}_3 \longrightarrow$

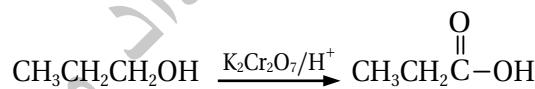
تفاعلات التأكسد والاختزال في المركبات العضوية

Oxidation Reduction Reactions for Organic Compounds

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

تأكسد الكحولات

تعتمد نواتج تأكسد الكحولات على نوع الكحول الذي يتأكسد، حيث يتأكسد الكحول الأولي بوجود عامل مؤكسد مكوناً ألديهيداً، 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 مباشرةً إلى حمض البروبانويك $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ؛ وفق المعادلة الآتية التي تبين الناتج النهائي لتأكسد 1-بروبانول:

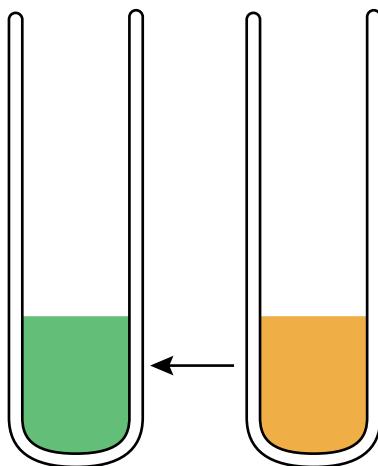


لاحظ أن تأكسد الكحول الأولي 1-بروبانول وتحوله إلى حمض البروبانويك؛ يصاحبته نقص في عدد ذرات الهيدروجين وزيادة في عدد ذرات الأكسجين O، ويرافق التفاعل تغير لون محلول دايكرومات البوتاسيوم البرتقالي إلى أخضر، وهو لون أيونات Cr^{3+} ، أنظر الشكل (16).

ويُستخدم العامل المؤكسد كلورو كرومات البيريدينيوم المذاب في ثنائي كلوروميثان $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، وهو عامل مؤكسد متوسط القوّة يؤكسد الكحول ولا يؤكسد الألديهيد، وبذلك يتم الحصول على الألديهيد، فمثلاً: يتأكسد 1-بروبانول إلى البروبانال حسب المعادلة الآتية:

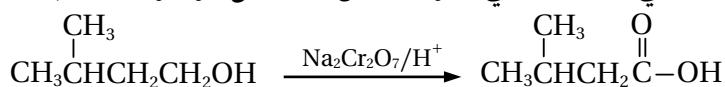


لاحظ أن تأكسد 1-بروبانول وتحوله إلى البروبانال صاحبه نقص في عدد ذرات الهيدروجين H؛ إذ حُذفت ذرة هيدروجين من مجموعة الهيدروكسيل OH وذرة هيدروجين من ذرة الكربون المرتبطة بها، وتكونت رابطة ثنائية بين ذرتي الأكسجين والكربون.



الشكل (16): يرافق تفاعل تأكسد الكحولات الأولية والثانوية تغير لون محلول $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ البرتقالي إلى الأخضر.

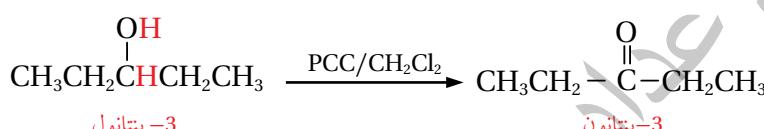
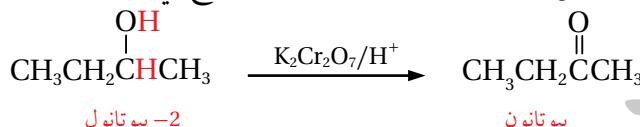
ويتفاعل 3- ميثيل - 1- بيوتانول مع العامل المؤكسد دايكرومات الصوديوم $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ في وسط حمضي، مكوناً حمض 3- ميثا، بيوتانويك حسب المعادلة:



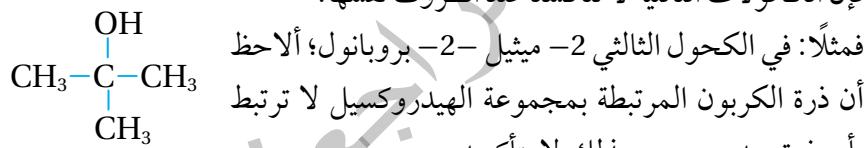
ولكن عند استخدام العامل المؤكسد $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$; فإن 3- ميثيل -1- بيوتانول أكسيد مكوناً 3- ميثا بيوتانول حسب المعادلة:



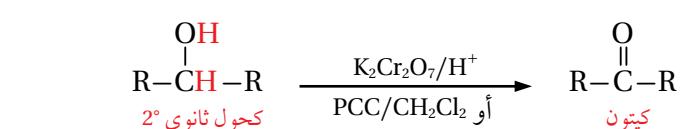
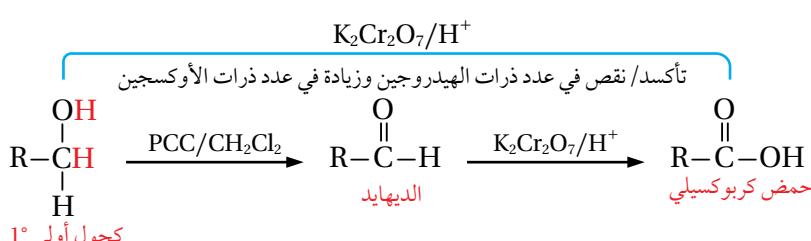
ويتأكسد الكحول الثانوي سواء باستخدام العامل المؤكسد دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7/H^+$ ، أو كلوروكرومات البيريدينيوم PCC/CH_2Cl_2 ، وينتج عن أكسدته الكيتون، حيث تُنزع ذرة هيدروجين من مجموعة الهيدروكسيل OH ، وذرة هيدروجين من ذرة الكربون المرتبطة بها، وترتبط ذرتا الكربون والأكسجين برابطة ثنائية مكونةً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



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



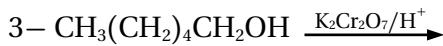
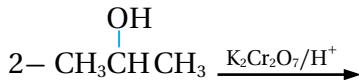
ويمكن تلخيص أكسدة الكحولات بالمخطط الآتي:



أَخْرَى: مركب عضوي A صيغته

الجزئية $C_4H_{10}O$ على شكل سلسلة مستمرة، عند أكسدته باستخدام $K_2Cr_2O_7/H^+$ نتج المركب B الذي صيغته الجزئية $C_4H_8O_2$ ، وحين يتفاعل مع كربونات الصوديوم Na_2CO_3 ينتج غاز CO_2 . أكتب الصيغتين البنائيتين للمركبين A و B.

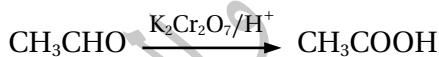
أ. أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:



ب. أفسر: لا تأكسد الكحولات الثالثية باستخدام محلول دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي.

تأكسد الألديهيدات

تأكسد الألديهيدات باستخدام عامل مؤكسد مناسب مكونةً حموضاً كربوكسيلية، فمثلاً: عند استخدام عامل مؤكسد قوي، مثل دايكرومات البوتاسيوم، في وسط حمضي $K_2Cr_2O_7/H^+$ ، فإن الإيثانال CH_3CHO يتأكسد متجهاً حموضاً الإيثانويك CH_3COOH ; حسب المعادلة الآتية:



ويمكن كتابتها بصورة أخرى:

الاحظ من المعادلة الكيميائية السابقة أن تأكسد الألديهيد إلى حمض كربوكسيلي يرافقه زيادة في عدد ذرات الأكسجين، وكذلك يتحول لون محلول $K_2Cr_2O_7$ الحمضي من البرتقالي إلى الأخضر.

أما الكيتونات فإنها لا تأكسد 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 $[Ag(NH_3)_2]^+/OH^-$ ، في التمييز بين الألديهيد والكيتون، حيث يتأكسد الألديهيد وتحتَرَلَ أيونات الفضة Ag^+ من محلول تولينز، وتترسب على السطح الداخلي لوعاء التفاعل مكونةً مرآة فضية كما يوضح

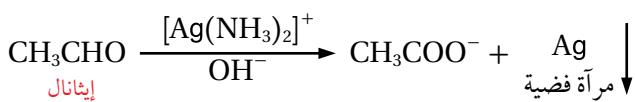


الشكل (17): ترسب مرآة فضية على السطح الداخلي لأنابيب الاختبار.

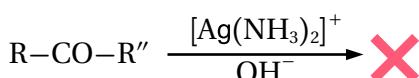
الشكل (17)، أما الكيتون فـإنه لا يتـأكسـد.

وـتمـثلـ المعـادـلـةـ الآـتـيـةـ تـأـكـسـدـ الإـيـثـانـالـ باـسـتـخـدـامـ مـحـلـولـ تـولـينـزـ فـيـ

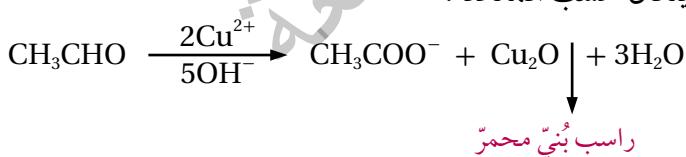
وـسـطـ قـاعـديـ:



أما الكيتونات فلا تـأـكـسـدـ باـسـتـخـدـامـ مـحـلـولـ تـولـينـزـ.

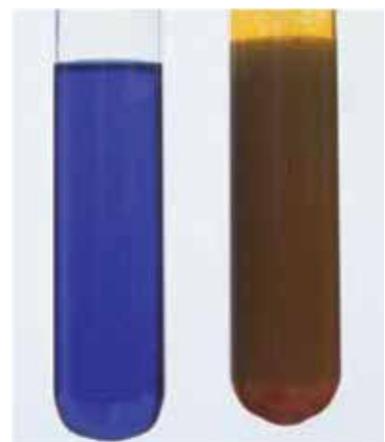


وـيـسـتـخـدـمـ أـيـضـاـ مـحـلـولـ فـهـلـنـجـ؛ـ لـتـمـيـزـ بـيـنـ الـأـلـدـيـهـاـيدـ وـالـكـيـتـوـنـ؛ـ وـهـوـ عـامـلـ مـؤـكـسـدـ ضـعـيـفـ يـتـكـوـنـ مـنـ مـحـلـولـ قـاعـديـ يـحـتـوـيـ عـلـىـ أـيـوـنـاتـ النـحـاسـ Cu^{2+} .ـ يـسـخـنـ الـأـلـدـيـهـاـيدـ مـعـ مـحـلـولـ فـهـلـنـجـ؛ـ فـيـتـأـكـسـدـ فـيـ الـوـسـطـ الـقـاعـديـ إـلـىـ أـيـوـنـ Cu^+ ـ،ـ الـحـمـضـ الـكـرـبـوـكـسـيـلـيـ RCOO^- ـ،ـ وـتـخـتـزـلـ أـيـوـنـاتـ النـحـاسـ Cu^{2+} ـ،ـ إـلـىـ Cu^+ ـ،ـ وـتـرـسـبـ عـلـىـ شـكـلـ رـاـسـ بـنـيـ مـحـمـرـ مـنـ أـكـسـدـ النـحـاسـ $(\text{I})\text{O}_2\text{Cu}$ ـ،ـ أـنـظـرـ الشـكـلـ (18)ـ مـثـلـاـ؛ـ يـتـأـكـسـدـ الإـيـثـانـالـ حـسـبـ المـعـادـلـةـ:



راـسـ بـنـيـ مـحـمـرـ

اما الكيتونات فلا تـأـكـسـدـ باـسـتـخـدـامـ مـحـلـولـ فـهـلـنـجـ.



الشكل (18): اـخـتـزـلـ أـيـوـنـاتـ النـحـاسـ Cu^{2+} ـ زـرـقـاءـ اللـوـنـ إـلـىـ Cu^+ ـ وـتـرـسـبـهـ عـلـىـ شـكـلـ رـاـسـ بـنـيـ مـحـمـرـ مـنـ Cu_2O ـ.

1-أـكـتـبـ مـعـادـلـةـ تـأـكـسـدـ الـبـيـوتـانـالـ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}(=\text{O})\text{H}$ ـ،ـ باـسـتـخـدـامـ مـحـلـولـ دـاـيـكـرـوـمـاتـ الـبـوـتـاـسـيـوـمـ الـحـمـضـيـ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$ ـ.

2-أـصـفـ كـيـفـ أـمـيـزـ مـخـبـيـاـ بـيـنـ الـبـرـوـبـانـالـ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ ـ وـالـبـرـوـبـانـونـ CH_3COCH_3 ـ،ـ وـأـكـتـبـ مـعـادـلـاتـ كـيـمـيـائـيـةـ تـوـضـحـ ذـلـكـ.

أـتـحـقـقـ:

التجربة ١

التمييز بين الألديهيدات والكيتونات

الهدف: أميّز عملياً بين الألديهيد والكيتون

المواد والأدوات:

أنبوب اختبار، مخار 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 للحريق؛ فهي قابلة للاشتعال.

خطوات العمل:

- أجري:** أحضر أنبوب اختبار نظيفين، وأضعهما على حامل الأنابيب، وأرقّهما (1، 2).
- أقيس:** أستخدم المخار المدرج، وأضع 5 mL من محلول تولينز في كل أنبوب اختبار.
- أجري:** أضيف باستخدام القطارة 5 – 10 نقاط من الإيثانال إلى الأنوب رقم (1)، وأرجّه بلطف.
- أجري:** أكرر الخطوة رقم (3) للبروبانون (الأسيتون)، وأضيفه إلى الأنوب رقم (2).
- الاحظ:** أسخّن 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:

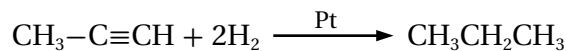
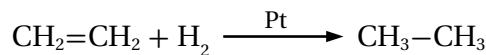
التفاعل مع محلول تولينز (يتفاعل أو لا يتفاعل)	اسم المركب
	الإيثانال CH_3CHO
	البروبانون CH_3COCH_3

التحليل والاستنتاج:

- أفسر:** هل يمثل محلول تولينز عاملًا مؤكسداً أم عاملًا مختزلًا؟
- أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي حدث.

اختزال الألكيينات والألكيينات Reduction of Alkenes and Alkynes

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



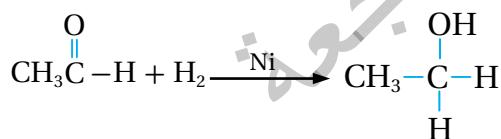
✓ أتحقق: أكمل المعادلة الآتية:



اختزال الألديهيدات والكيتونات Reduction of Aldehydes and Ketones

تعلّمتُ أن تأكسد الكحول الأولى ينتج ألديهيدًا، وأن تأكسد الكحول الثاني يكون كيتونًا. ويمكن اختزال كل من الألديهيد والكيتون لتكوين كحول أولي وكحول ثانوي على الترتيب بطريقتين:

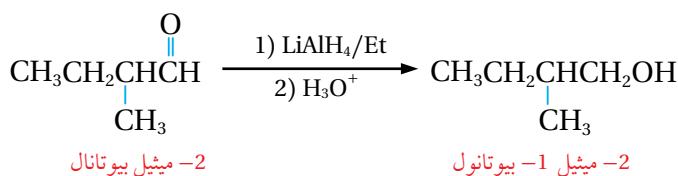
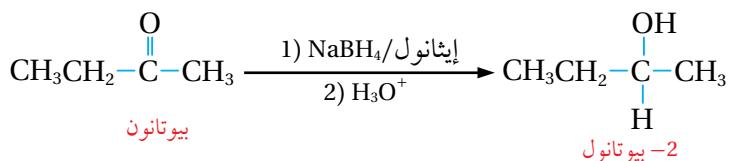
الطريقة الأولى: إضافة الهيدروجين في وجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt؛ إذ يعمل العامل المساعد على إضعاف الرابطة بين ذرتي الهيدروجين، فيسهل إضافتهما إلى الرابطة الثنائية في مجموعة الكربونيل، كما توضح المعادلة الآتية:



لاحظ أن إضافة الهيدروجين إلى الإيثانال CH_3CHO صاحبتهُ زيادة في عدد ذرات الهيدروجين، أي اختزال الإيثانال؛ إذ كسرت الرابطة π بين ذرتي الكربون والأكسجين في مجموعة الكربونيل، وأضيفت ذرة هيدروجين H إلى كلّ 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 العوامل المختزلة مصدراً لأيونات الهيدريد H^- ؛

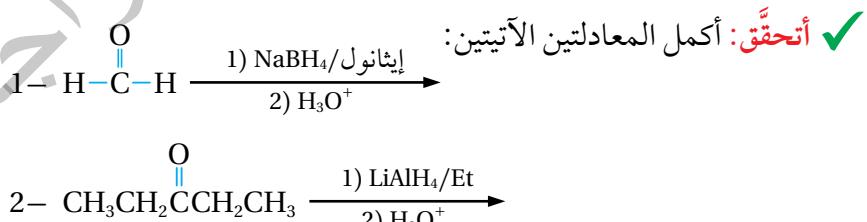
إذ يرتبط أيون H^- بذرة كربون مجموعة الكربوبيل التي تحمل شحنة جزئية موجبة، ثم يضاف إلى التفاعل محلول مخفف من حمض مثل H_2SO_4 ؛ فينتج الكحول، والمعادلات الآتية توضح ناتج التفاعل:



اللهيدروجين في المركبين الناتجين.

عملياً يتم التعامل بحذر شديد جداً مع العامل المخزلي LiAlH_4 ؛ إذ إنه شديد التفاعل مع الماء؛ لذلك يذاب في الإيثر الجاف، ولا يضاف H_3O^+ إلى التفاعل إلا بعد انتهاء تفاعله مع الألديهايد أو الكيتون، أو الحمض الكربوكسيلي كما سرد لاحقاً.

أفسّر: تختزل الكيتونات
إلى كحولات ثانوية وليس أولية.

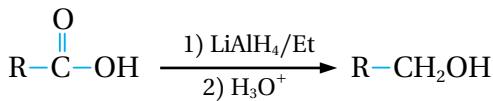


اختزال الحموض الكربوكسيلي Reduction of Carboxylic Acids

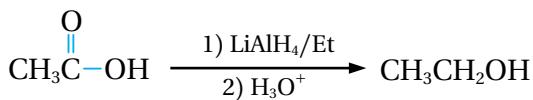
تحتوى على مجموعة الكهكسا- $\text{C}(\text{O})\text{OH}$ -الميمنة للحموض الكهكسية

على مجموعة كربونيل C=O قابلة للاختزال كما في الألدهيدات والكيتونات؛ لذلك يختزل الحمض الكربوكسيلي باستخراج عامل مختزل قوي هو: هيدرید الليثيوم والألمانيوم LiAlH_4 المذاب في الإيثر العجاف - ولا يختزل باستخدام

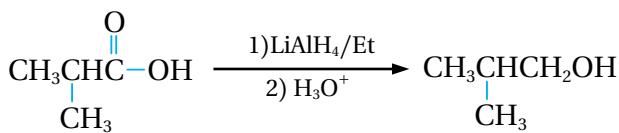
العامل NaBH_4 لأنه أقل قوة - ويتجه أليهaid يختزل فور تكوّنه إلى كحول أولي، وتكتب المعادلة العامة كالتالي:



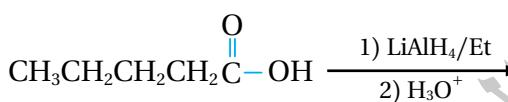
الاحظ أن اختزال الحمض الكربوكسيلي يرافقه زيادة في عدد ذرات الهيدروجين ونقص في عدد ذرات الأكسجين، فمثلاً: يختزل حمض الإيثانويك مكوناً لإيثانول وفق المعادلة الآتية:



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



✓ **تحقق:** أكمل المعادلة الآتية:



الربط بالصناعة

حمض الأستيك أو حمض الإيثانويك CH_3COOH ؛ هو المكون للخل، ويُستخدم ما يقارب ثلث إجمالي حمض الأستيك 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 المكون لأصمام الخشب. ويُستخدم حمض الأستيك -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 الرئيسية: أقارن بين تفاعل الاستبدال في هاليدات الألكيل والكحولات؛ وفق محتويات الجدول الآتي:

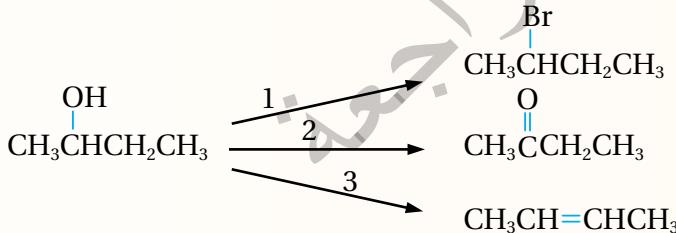
الناتج العضوي للتفاعل	المادة غير العضوية المستخدمة في التفاعل	نوع المركب الذي يتفاعل بالاستبدال	وجه المقارنة	المركب
				الكحول
				هاليد الألكيل

2. أوضح 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 الإيثanol، ثم إضافة محلول حمض مخفف مثل H_2SO_4 .
 أ. أكتب معادلة التفاعل الكيميائية.
 ب. ما نوع المركب الناتج؟

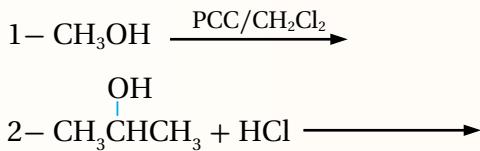
4. أضيفت قطعة صغيرة من الصوديوم إلى كأس يحتوي كحول 1- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$.
 أ. أصف ما ألاحظه في التفاعل.
 ب. أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي يحدث.
 ج. أكتب معادلة كيميائية تمثل تفاعل الناتج السابق مع 1- كلورو بروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$.

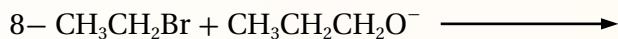
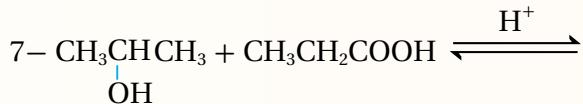
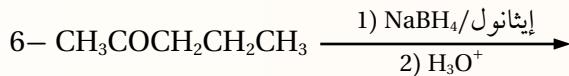
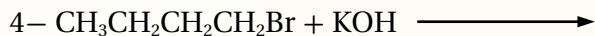
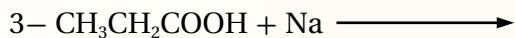
5. يشير المخطط الآتي إلى ثلاثة أنواع من تفاعلات المركب العضوي 2- بيوتانول:



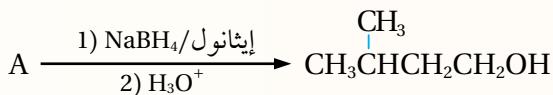
أ. أحدد نوع كل من التفاعلين (1، 2).
 ب. أكتب الصيغة الجزيئية للمواد الكيميائية التي تتفاعل مع 2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCH}_3$ ؛ لتعطي الناتج في كل من التفاعلين (2، 3).
 ج. أكتب الظروف المناسبة لحدوث التفاعلين (2، 3).

6. أكمل المعادلات الآتية:





7. أستنتج الصيغة البنائية للمركب A في المعادلة الآتية:



8. أدرس الجدول الآتي الذي يُبيّن الصيغة البنائية لبعض المركبات العضوية المشار إليها بالأرقام من (8-1)، 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
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_3$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$

أحدّد 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 فضية.

د. مركب يتصلّب.

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

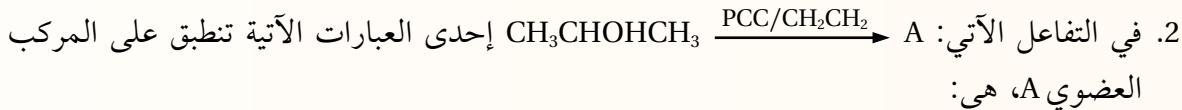
وـ. مركب ينتج عن أكسدة المركب 8 باستخدام $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$.

زـ. مركب يُنتج المركب 7؛ عند تفاعله مع KOH .

9. اختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

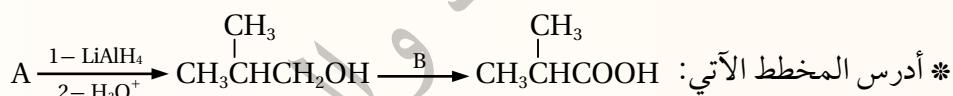
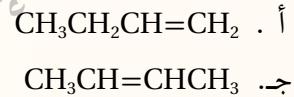
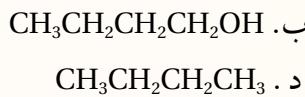


1. يُصنَّف التفاعل الآتي على أنه:
- ب. استبدالاً إلكتروفيلياً.
 - د. استبدالاً نيوكلينوفيلياً.
 - أ. إضافة إلكتروفيلية.
 - ج. إضافة نيوكلينوفيلية.



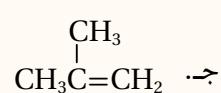
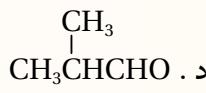
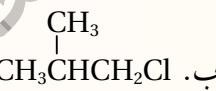
- أ. يتفاعل مع الهيدروجين بوجود Ni ويُنتج 2-بروبانول CH₃CHOHCH₃.
- ب. المجموعة الوظيفية في المركب هي مجموعة الهيدروكسيل.
- ج. يتفاعل مع الميثanol CH₃OH ويُنتج بروبانوات الميثيل CH₃CH₂COOCH₃.
- د. يتآكسد باستخدام محلول تولينز في وسط قاعدي.

3. يُنتج المركب العضوي 1-بروموبوتان CH₃CH₂CH₂CH₂Br من تفاعل HBr مع أحد المركبات الآتية:

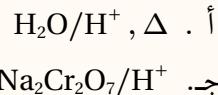


* أدرس المخطط الآتي: ثم أجب عن الفقرتين 4 و 5:

4. صيغة المركب A هي:



5. يشير الرمز B إلى:



طائق تحضير المركبات العضوية

Methods of Preparing Organic Compounds

تنتج ملايين المركبات العضوية سنويًا، ولكل منها استخداماته وأهميته على المستوى الصناعي وفي الحياة اليومية؛ فقد أنعم الله على خلقه بكثير من النعم، وجعل لكل من النباتات وثمارها طعمًا ورائحة مميّز يعودان إلى أنواع المركبات العضوية التي توجد فيها، مثل: الإسّترات، والألديهيدات، 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.

وتُسهم 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 وطائق تحضيرها والصناعات القائمة عليها، أنظر الشكل (19).

الفكرة الرئيسية:

توظف تفاعلات المركبات العضوية في تحضير مواد عضوية جديدة وإنجها؛ ولذلك يجري تحضير كثير من المركبات العضوية في المختبرات بطرق مختلفة بهدف استكشاف طائق جديدة لإنتاجها على المستوى الاقتصادي.

نتائج التعلم:

- أكتب معادلات كيميائية تبيّن كيفية تحضير بعض المركبات العضوية.
- أصمّم مخططاً لتحضير مركب عضوي جديد بشكل صحيح.

المفاهيم والمصطلحات:

التكسير الحراري Thermal Cracking



الشكل (19): تحضير المركبات العضوية.

تحضير الألكانات Preparation of Alkanes

تُحضر الألكانات بالتكسير الحراري للنفط والغاز الطبيعي، وُتُستخلص بعملية التقطر التجزئي، كما يمكن تحضيرها بإضافة الهيدروجين إلى الألكين والألكان.

إنتاج الألكانات بالتكسير الحراري

Produce Alkanes by Thermal cracking

يُسخن 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)، وتنفصل مكونات هذا الخليط عن طريق عملية التقطر التجزئي، 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 تكسيره مساوياً لعدد ذرات الكربون فيه.

تحضير الألكانات من الألكينات

Preparation of Alkanes from Alkenes

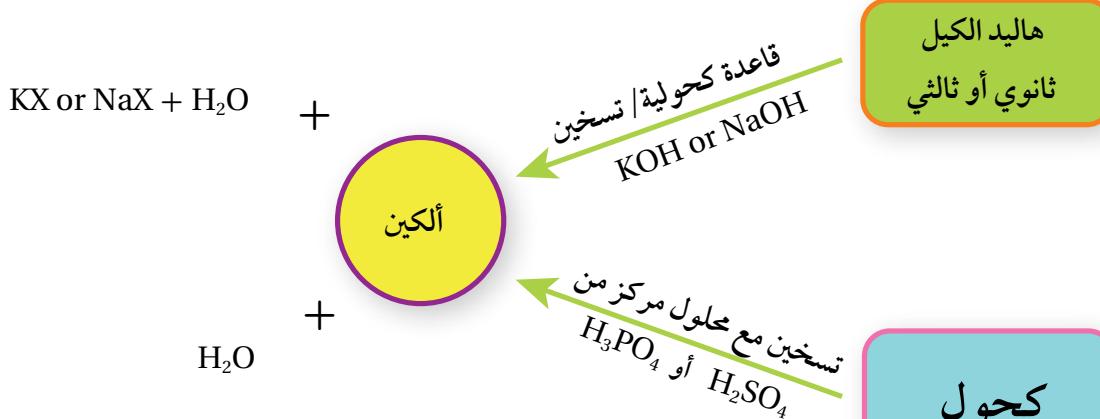
يُحضر الألكان بإضافة الهيدروجين H_2 إلى الألكين فيما يُعرف بعملية الهدرجة التي تُستخدم في هدرجة الزيوتصناعياً إلى دهون مشبعة. حيث يُضاف الهيدروجين H_2 إلى الألكين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين Pt، فمثلاً: يُحضر الإيثان بإضافة غاز الهيدروجين إلى الإيثين عند درجة حرارة $150^\circ C$ ، كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقق:** أكتب معادلة كيميائية توضح تحضير البروبان $.CH_2=CH CH_3$ $CH_3CH_2CH_3$ باستخدام البروبين



الشكل (20): برج التكسير الحراري.



الشكل (21): مخطط لتحضير الألکينات من تفاعلات الحذف في هاليدات الألکيل والکحولات.

کحول

تحضير الألکينات Preparation of Alkenes

تُتَّسَّجُ الألکينات صناعيًّا بالتكسير الحراري للألکانات، وتحضر مخبريًّا باستخدام تفاعلات الحذف في كلٍّ من هاليدات الألکيل RX ، أو الکحولات ROH ، أنظر الشكل (21).

إنتاج الألکينات بالتكسير الحراري

Produce Alkenes by Thermal Cracking

عرفتُ في ما سبق أن تكسير السلسل الكربونية الطويلة للهيدروكربونات يؤدي إلى إنتاج خليط غازي من الألکانات والألکينات، حيث تفصل المكونات بالاعتماد على درجة غليان كل منها بعملية التقطر التجزيئي. فمثلاً: عند تكسير سلسلة من الديکان $C_{10}H_{22}$ ، ينتج خليط من الأوكتان C_8H_{18} والإیثین C_2H_4 ، والهبتان C_7H_{16} والبروبین C_3H_6 وغيرها.

تحضير الألکينات من هاليدات الألکيل

Preparation of Alkenes from Alkyl Halides

يُحضرُ الألکين مخبريًّا بتسخين هاليد الألکيل الثانوي أو الثالثي مع محلول مرکز من أيونات الهيدروکسید (OH^-) الناتجة من محلول هيدروکسید الصوديوم $NaOH$ المذاب في الإیثانول، أو هيدروکسید البوتاسيوم KOH المذاب في الإیثانول.

الربط بالصناعة



هدرجة الزيوت

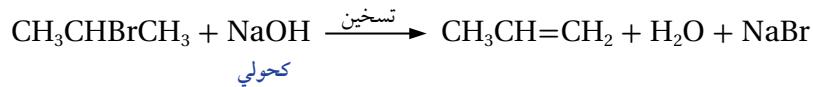
Hydrogenation of Oils

تُعرَّفُ الزيوت المهدَّجَة باسم الدهون الصناعية (السمن)، حيث تُحوَّلُ 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

يُحضر 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 تبيّن تحضير البروبين.

الحلّ:



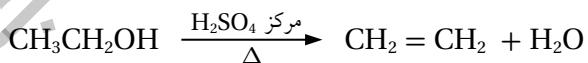
تحضير الألkenات من الكحولات Preparation of Alkenes from Alcohols

يُحضر الألkenين 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 الألken.

المثال 2

أكتب معادلة تحضير الإيثنين الناتج عن تسخين الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع محلول مركز من حمض الكبريتيك H_2SO_4 .

الحلّ:



أتحققَ ✓

1- أكتب معادلة كيميائية تبيّن 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 تبيّن تحضير البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ، بتسخين CH_3CHCH_3 مع محلول حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركّز.

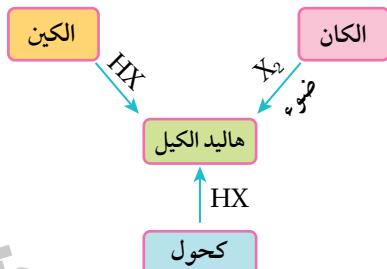
تحضير هاليدات الألكيل Preparation of Alkyl Halide

تُستخدم هاليدات الألكيل في كثير من الصناعات، مثل: صناعة المبيدات الحشرية، ومحاليل المعقّمات الطبية، وصناعة طفایات الحرائق، وصناعة المبلمرات، وغيرها. تُحضر هاليدات الألكيل بطرق عدّة في المختبر، منها: الاستبدال في الألkan (هليجنة الألkan)، وإضافة هاليد الهيدروجين إلى الألكين، والاستبدال في الكحولات، أنظر الشكل (22).

تحضير هاليدات الألكيل من الألkanات

Preparation of Alkyl Halide from Alkanes

تُحضر هاليدات الألكيل بأن تحل ذرة هالوجين محل ذرة هيدروجين في الألkan بوجود الضوء، مثل تفاعل الميثان مع الكلور Cl_2 ، أو البروم Br_2 ، بوجود الضوء.



الشكل (22): مخطط لتفاعلات تحضير هاليدات الألكيل.

يُحضر كلوروميثان CH_3Cl بتفاعل الميثان CH_4 مع الكلور Cl_2 ؛ بوجود الضوء. أكتب المعادلة الكيميائية لتفاعل الحاصل.



تحضير هاليدات الألكيل من الكينات Preparation of Alkyl Halides from Alkenes

يُحضر هاليد الألكيل RX ؛ بإضافة هاليد الهيدروجين إلى الألكين؛ وفق قاعدة ماركوفينكوف.

المثال 4

يُحضر 2- كلوروبروبان $\text{CH}_3\text{CHClCH}_3$ بإضافة كلوريد الهيدروجين HCl إلى البروبين $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$. أكتب المعادلة الكيميائية لتفاعل الحاصل.

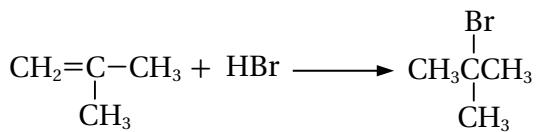


المثال 5

أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير المركب 2- بروموميثيل بروبان $\text{CH}_3\text{C}(\text{Br})\text{CH}_3$

بإضافة بروميد الهيدروجين HBr إلى 2- ميثيل بروبين.

الحل:



تحضير هاليدات الألکيل من الكحولات

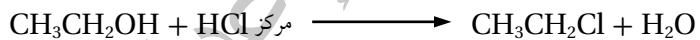
Preparation of Alkyl Halides from Alcohols

تُحضر هاليدات الألكليل باستخدام تفاعل الاستبدال في الكحولات؛ وذلك بتفاعل الكحول مع محلول حمض مرکّز، مثل: HCl , HBr , أو HIO_4 .

المثال ٦

يُحضر كلورو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ؛ بتفاعل الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، مع حمض الهيدروكلوريك HCl المرّ. أكتب معادلة كيميائية لتفاعل الحاصل.

الحلّ:

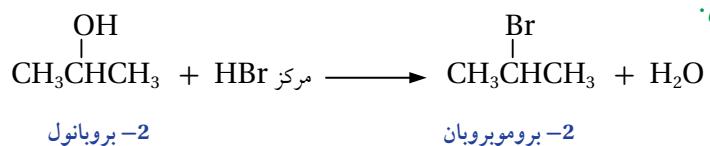


المثال 7

أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير 2- بروموبروبان $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$ من

تفاعل 2- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ مع حمض HBr المركّز.

الحل:



أَتَحَقَّقَ:

1- أكتب معادلة كيميائية لتحضير بروموميثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ بتفاعل الإيثان

، مع البروم Br_2 ؛ بوجود الضوء.



2- أكت معادلة كيميائية تبيّن تحضير 2- كلورو-2- ميتشيل بروپان



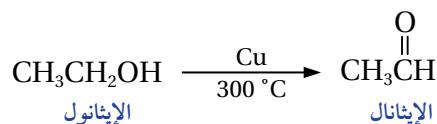
من تفاعل 2- ميثيل -2- بروبانول $\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)\text{OH}$ مع حمض الهيدروكلوريك

$$\text{CH}_3 \text{HCl المركب}.$$

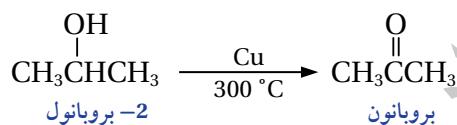
تحضير الألديهيد والكيتون Preparation of Aldehyde and Ketone

تعدّ تفاعلات التأكسد من الطرق الرئيسية لتحضير الألديهيدات والكيتونات التي تُستخدم في المجالات الصناعية المتعددة في حياتنا اليومية؛ فتُستخدم الألديهيدات في صناعة العطور، والمنظفات، والصابون، كما تُستخدم الكيتونات في صناعة المنسوجات، والأصباغ، ومنظفات الدهانات، وغيرها.

تحضر الألديهيدات والكيتونات صناعياً بتسخين الكحولات الأولية أو الثانية عند درجة حرارة 300°C ، بوجود فلز النحاس الذي يعمل عاملًا مساعدًا لنزع الهيدروجين، فمثلاً: يتآكسد الإيثانول بوجود النحاس وفق المعادلة الآتية:



وكذلك يتأكسد الكحول الثنائي 2-بروبانول CH_3CHCH_3 بوجود النحاس؛ وفق المعادلة الآتية:

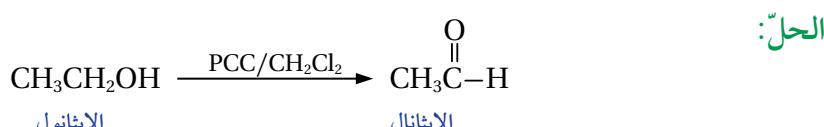


أما في المختبر؛ فهناك طرائق عدّة لتحضير كل من الألديهيدات والكيتونات، من أشهرها: أكسدة الكحول الأولي باستخدام كلوروكرومات البيريدينيوم PCC المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2 ، ويترج الألديهيد.

أَصْمَمْ مُخْطَطًا لِسَلْسِلَةِ
الْتَّفَاعُلَاتِ الْمُسْتَخْدِمَةِ فِي
تَحْضِيرِ الْإِيَثَانَالِ بِدَءُّهُ مِنْ الْإِيَشِينِ.

٨

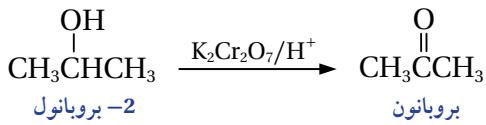
يتآكسد الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ باستخدام كلوروكرومات البيريدينيوم PCC المذاب في ثنائي كلورو ميثان CH_2Cl_2 ، ويتحل الإيثانال CH_3CHO . أكمل معادلة التفاعل، الحاصل على.



في حين يتأكسد الكحول الثنائي باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ ، في وسط حمضي أو باستخدام المركب PCC المذاب في CH_2Cl_2 ، ويتجزأ الكيتون.

المثال 9

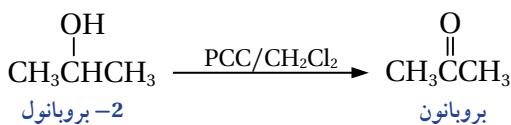
يتأكسد 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ ، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، في وسط حمضي، وينتج البروبانون CH_3COCH_3 . أكتب معادلة التفاعل الحاصل.



الحل:

المثال 10

أكتب معادلة أكسدة 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ باستخدام كلوروクロمات البيريدينيوم PCC المذاب في ثانوي كلورو ميثان CH_2Cl_2 ، لتحضير البروبانون CH_3COCH_3 .



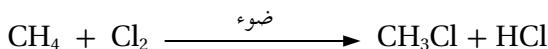
الحل:

المثال 11

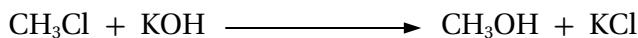
أكتب معادلات تبيّن تحضير المياثانال CH_2O ، باستخدام المياثان CH_4 ، وبوجود الضوء وكلّ من المواد الآتية: Cl_2 , KOH , PCC, CH_2Cl_2

الحل:

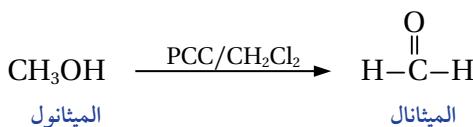
يتفاعل المياثان CH_4 مع الكلور Cl_2 ، بوجود الضوء لتكوين كلورومياثان CH_3Cl ؛ كما في المعادلة الآتية:



ثم يتفاعل كلورومياثان CH_3Cl مع القاعدة KOH لتكوين المياثانول CH_3OH ، كما في المعادلة الآتية:



يتأكسد المياثانول CH_3OH باستخدام العامل المؤكسد PCC، وبوجود CH_2Cl_2 ، وينتج المياثانال؛ كما في المعادلة الآتية:

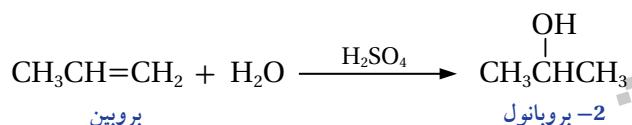


أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير البروبانون $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ باستخدام البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ ، والمواد غير العضوية الآتية: H_2SO_4 , H_2O , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

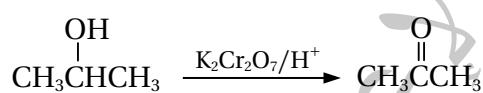
الحلّ:

يُحضر البروبانون من أكسدة 2-بروبانول CH_3CHCH_3 ، وهو كحول ثانويٌ 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 ; فيتتج 2-بروبانول CH_3CHCH_3 ، كما في المعادلة الآتية:



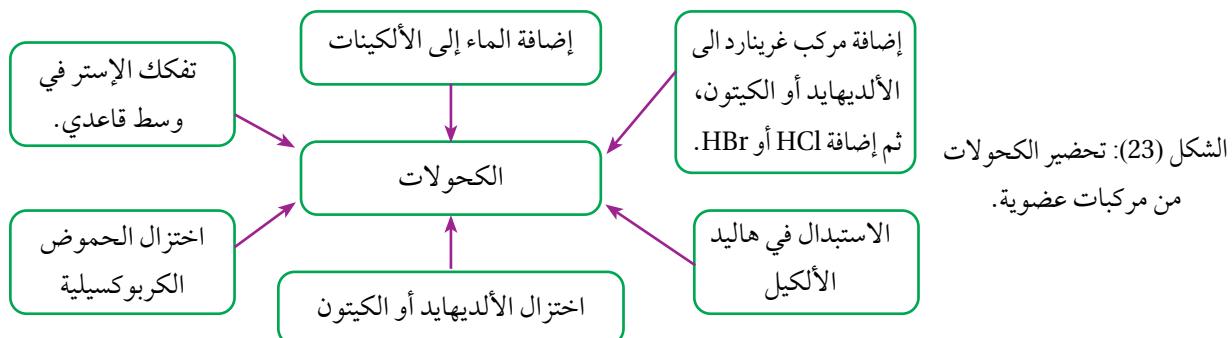
ثم يتأكسد 2-بروبانول باستخدام العامل المؤكسد $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، بإضافة قطرات من الحمض؛ فيتتج البروبانون كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقق:** أصمّم مخططاً بيّن صيغ المركبات العضوية الناتجة من سلسلة التفاعلات الكيميائية التي تجري لتحضير البيوتانون $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$ من 1- كلورو بيوتان، $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ، باستخدام مصدر حرارة والمواد الآتية: KOH , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2SO_4 , H_2O

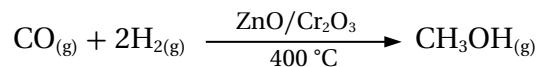
تحضير الكحولات Preparation of Alcohols

تعدّ الكحولات من أشهر المركبات العضوية، ولها أهمية كبيرة في الكيمياء العضوية، ويمكن تحضيرها من عدد من المركبات العضوية، أنظر الشكل (23).



يعد كل من الميثanol CH_3OH ، والإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، أبسط أنواع الكحولات، ولهم أهمية في الصناعات المختلفة، لذلك يجري تحضيرهما صناعياً بكميات تجارية.

يُحضر الميثanol 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 عامل مساعدًا، كما في المعادلة الآتية:



يُحضر الإيثانول صناعياً؛ بتخمير الجلوكوز الموجود في الذرة، أو العنب، أو الشعير، باستخدام أنزيمات الخميرة، كما في المعادلة الآتية:

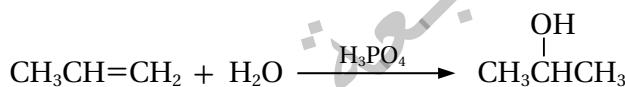


تحضير الكحولات من الألكينات Preparation of Alcohols from Alkenes

يُحضر الكحول بإضافة الماء إلى الألكين، بوجود عامل مساعد، مثل: حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، أو حمض الفسفوريك H_3PO_4 .

المثال 13

يُحضر 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.



أتحقق: 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

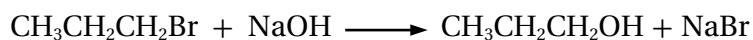
Preparation of Alcohols from Alkyl Halides

يُحضر الكحول الأولي من تفاعل هاليد الألكيل الأولي مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH , أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH .

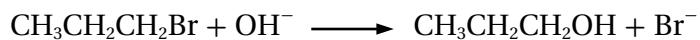
المثال ١٤

أكتب معادلة كيميائية تبيّن ناتج تفاعل ١- بروم 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 تبيّن تحضير الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, إذا توافر في المختبر الإيثان CH_3CH_3 , والكلور Cl_2 , والضوء، ومحلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH .

أفْكِن: يصعب تحضير المركب $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ ٢- بروبانول ٢- كلورو بروبان $\text{CH}_3\text{CHClCH}_3$ مباشرة من تفاعل ٢- كلورو بروبان.

تحضير الكحولات من الألديهيدات أو الكيتونات

Preparation of Alcohols from Aldehydes or Ketones

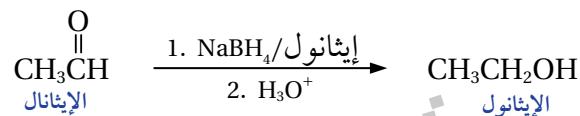
يُحضر الكحول باختزال الألديهيد أو الكيتون باستخدام عوامل مختزلة، مثل هيدرید الليثيوم والألمانيوم LiAlH_4 , في وسط من الإيثر الجاف، أو بورو هيدرید الصوديوم NaBH_4 مذاباً في الإيثanol، ثم إضافة محلول مخفف من حمض H_2SO_4 ; إذ يؤدي اختزال الألديهيد إلى إنتاج كحول أولي، بينما يؤدي اختزال الكيتون إلى إنتاج كحول ثانوي.

المثال 15

أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير الإيثanol بتفاعل الإيثانال $\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$ مع بورو هيدريد الصوديوم NaBH_4 ، ثم يضاف إليه محلول مخفّف من حمض الكبريتيك H_2SO_4 .

الحلّ:

يُحضر الإيثanol باختزال الإيثانال كما في المعادلة الآتية:

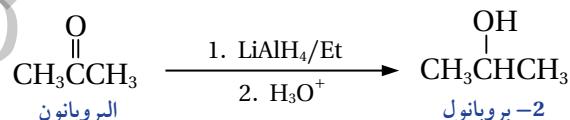


المثال 16

أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ، من البروبانون، باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 .

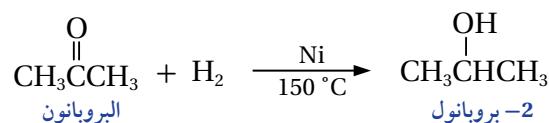
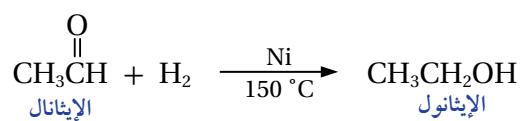
الحلّ:

يُحضر 2-بروبانول باختزال البروبانون كما في المعادلة الآتية:



أتحقق: أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير 2-بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ ، بتفاعل البروبانون $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$ مع بورو هيدريد الصوديوم NaBH_4 .

كما يمكن الحصول على الكحولات صناعيًّا باختزال الألديهيد والكيتون أيضًا؛ بإضافة غاز الهيدروجين إلى كلّ منها بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni ، عند درجة حرارة 150°C ، والمعادلتان الآتیتان توضحان اختزال كلّ من الإيثانال والبروبانون:



تحضير الكحولات من الحموض الكربوكسيلي

Preparation of Alcohols from Carboxylic Acids

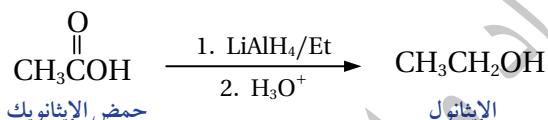
يُحضر الكحول الأولي باختزال الحمض الكربوكسيلي باستخدام هيدرید الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 ، المذاب في الإيثر الجاف، حيث يُختزل الحمض الكربوكسيلي ويتوجه الكحول الأولي.

المثال 17

أكتب معادلة كيميائية لتحضير الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، من حمض الإيثانويك CH_3COOH ؛ باستخدام هيدرید الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 .

الحلّ:

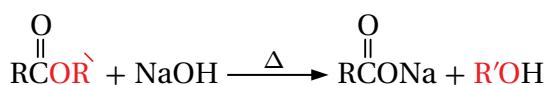
يُحضر الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ باختزال حمض الإيثانويك CH_3COOH في وسط جاف من الإيثر، ثم إضافة قطرات من محلول حمض مخفف، كما في المعادلة الآتية:



أتحقق: أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير 1-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ✓
من حمض البروبانويك $\text{CH}_3\text{CH}_2\overset{\text{O}}{\underset{||}{\text{COH}}}$ ، بوجود هيدرید الليثيوم والألمنيوم LiAlH_4 ، والإيثر وحمض H_2SO_4 المخفف.

تحضير الكحولات من الإسترات

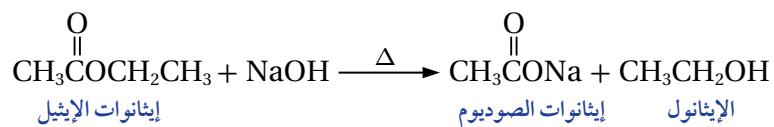
يتفكّك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH ؛ ويتوجه الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي.



أكتب معادلة كيميائية لتحضير الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ بتسخين إيثانوات الإيثيل



الحل:



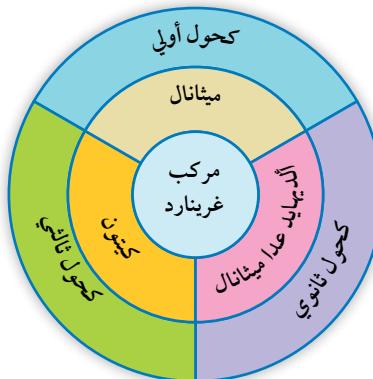
أتحقق: أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير الميثانول بتسخين إستر إيثانوات الميثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ ، مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH .

تحضير الكحولات باستخدام مركيبات غرينارد Preparation of Alcohols from Grinard's Compounds

عرفت سابقاً أن مركب غرينارد RMgX ينتج من تفاعل هاليد ألكيل RX مع المغسيسيوم بوجود الإثير الجاف.

تفاعل مرکبات غرینارد RMgX مع كلٌ من الألديهايد RCHO ، والكيتون RCOR ؛ ويتجزء الكحول ROH ، وتعُد هذه التفاعلات من أشهر الطرائق المتبعة في تحضير الكحولات، ويكون عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج مساوياً لمجموع عدد ذرات الكربون في كلٌ من مركب غرینارد والألديهايد أو الكيتون. يعتمد نوع الكحول الناتج على نوع الألديهايد أو الكيتون المتفاعله، وبين الشكل (24) مخططًا عاماً لنواتج تفاعلات الألديهايد أو الكيتون مع مركب غرینارد.

الشكل (24): مخطط عام لنوافع تفاعلات مركبات الكربونيل مع مركب غير بินارد.

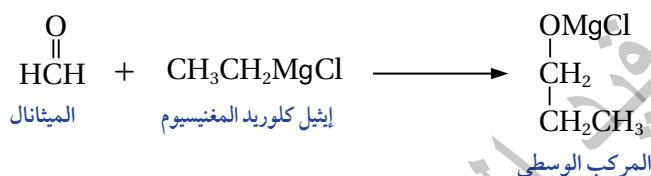


المثال 19

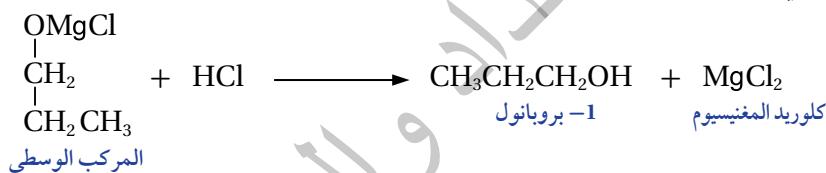
أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير 1- بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ من تفاعل المياثانال CH_2O مع إيثيل كلوريد $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$

الحلّ:

المركب $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ هو كحول أوليٌّ؛ عدد ذرات الكربون فيه يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في كلٍّ من مركب غرينارد $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، حيث عدد ذرات الكربون فيه يساوي 2، والمياثانال 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 المياثانال CH_2O ؛ ويتبع المركب الوسطي كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل المركب الوسطي الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl ؛ ويترافق الكحول 1- بروبانول؛ كما في المعادلة الآتية:

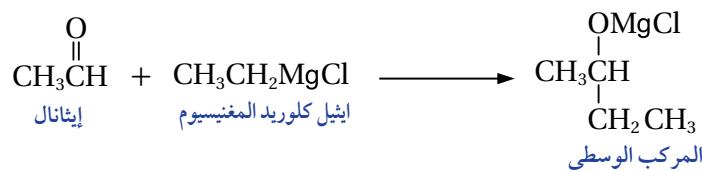


المثال 20

أكتب معادلات كيميائية تبيّن 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

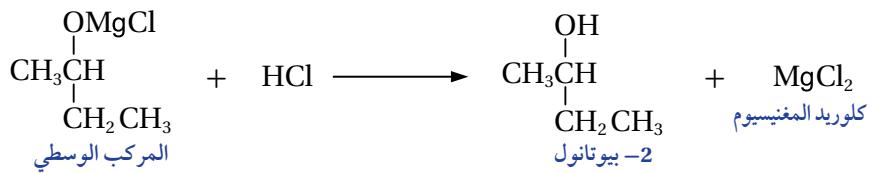
الحلّ:

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 اثنين منها مصدرهما إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ والأخرین مصدرهما الإيثانال CH_3CHO . وبذلك يُحضر المركب 2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{CH}_3$ بإضافة إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ إلى الإيثانال CH_3CHO ؛ ويتبع المركب الوسطي كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل المركب الوسطي الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl ، ويُنتج 2-بيوتانول؛ كما في

المعادلة الآتية:

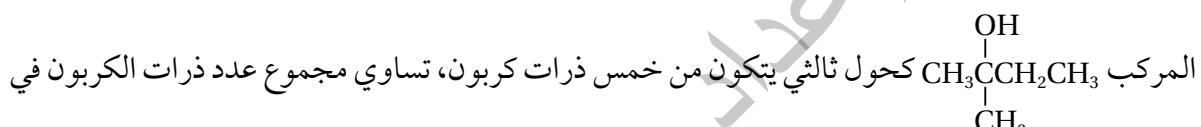


المثال 21



يُحضر من تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ مع البروبانون CH_3COCH_3 . أكتب معادلات كيميائية توضح ذلك.

الحل:

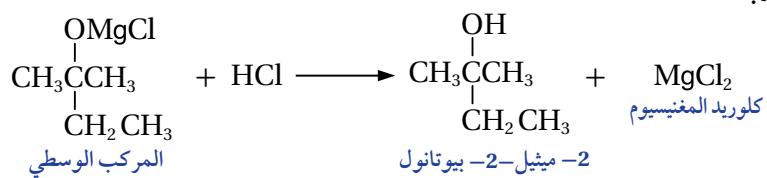


إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، والبروبانون CH_3COCH_3 ، حيث يضاف إيثيل كلوريد المغنيسيوم إلى البروبانون CH_3COCH_3 ، وإلى البروبانون $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ، ويُنتج مركب وسطي، كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل المركب الوسطي الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl ، ويُنتج الكحول المطلوب، كما

في المعادلة الآتية:

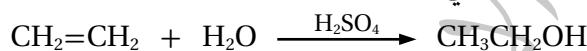


أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2-بيوتانول $\text{CH}_3\overset{\text{OH}}{\underset{\text{Et}}{\text{CH}}}\text{CH}_2\text{CH}_3$ ؛ إذا توافر الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، و $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ، و $\text{Et, Mg, HCl, H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$

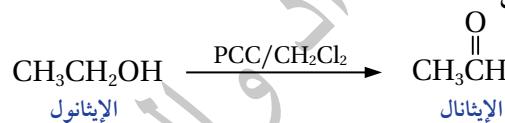
الحل:

الكحول المطلوب تحضيره 2-بيوتانول هو كحول ثانوي، ويتكون من أربع ذرات كربون؛ أي ضعف عدد ذرات الكربون في الإيثين. ولتحضيره مستخدم مركب غرينارد؛ وألديهایاً، ويكون عدد ذرات الكربون فيما يساوي أربع ذرات؛ لذا مستخدم مركب غرينارد وألديهایاً يتكون كلّ منها من ذرتی كربون. أقسم الكمية المتوفّرة من الإيثين إلى قسمين؛ مستخدم أحدهما لتحضير الألديهاید (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:



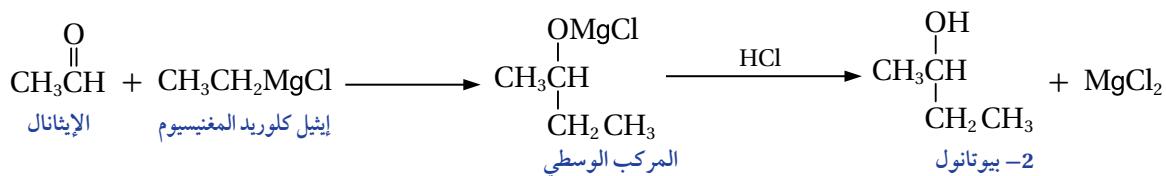
أُجري أكسدة الإيثانول باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم المذاب في ثنائي كلورو ميثان $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ للحصول على الإيثانال كما يأتي:



أُحضر مركب غرينارد (إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$) من تفاعل هاليد الألكيل مع المغنيسيوم، بوجود الإيثر الجاف؛ ولذلك أُحضر هاليد الألكيل (كلورو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$) بإضافة حمض الهيدرو كلوريك HCl ، إلى الإيثين، ثم أُجري تفاعل كلورو إيثان الناتج مع المغنيسيوم بوجود الإيثر، فينتج إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{MgCl}$ ؛ كما يأتي:



أضيف مركب غرينارد الناتج إلى الإيثانال، فينتج المركب الوسطي الذي يتفاعل مع حمض الهيدرو كلوريك لتكوين الكحول المطلوب، كما يأتي:

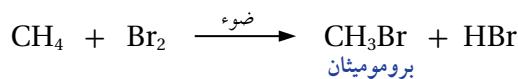


أكتب المعادلات الكيميائية التي توضح كيفية تحضير الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ بوجود الضوء، والمواد الآتية: الإيثر، $\text{PCC/CH}_2\text{Cl}_2$ ، HBr ، NaOH ، Mg ، Br_2

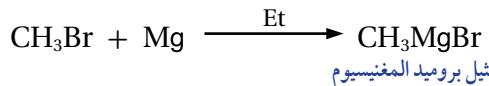
الحل:

المركب المطلوب تحضيره هو الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، وهو كحول أولي، وعدد ذرات الكربون فيه أكبر من المياثان، ولا يمكن أن ينتج إلا بتفاعل المياثانال مع مركب غرينارد؛ ولتحضيره أحضر مركب غرينارد أولاً، ثم أحضر المياثانال، وأجري تفاعلهما معًا كي أحصل على الإيثanol.

يتفاعل المياثان مع الهايوجين؛ مثل البروم بالاستبدال لتكوين هاليد الألكيل كما في المعادلة:



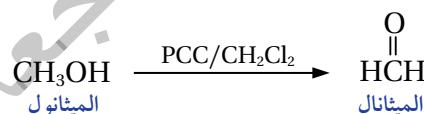
أقسم المركب برومومياثان CH_3Br الناتج إلى قسمين؛ أستخدم أحدهما لتحضير مركب غرينارد مياثيل بروميد المغنيسيوم CH_3MgBr ، كما يأتي:



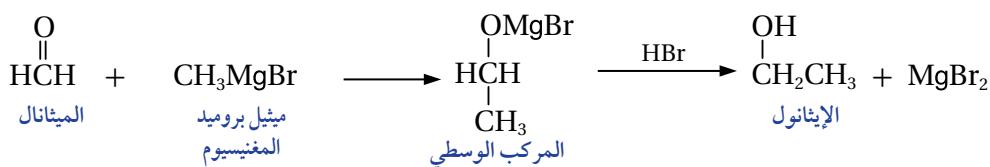
في حين أستخدم القسم المتبقى من برومومياثان CH_3Br ، لتحضير المياثانال CH_2O ، حيث يتفاعل CH_3Br مع NaOH ، وينتج المياثانول CH_3OH ، كما يأتي:



وبعدها أجري أكسدة المياثانول؛ باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم $\text{PCC/CH}_2\text{Cl}_2$ ، لتكوين المياثانال كما يأتي:



ثم أضيف مياثيل بروميد المغنيسيوم إلى المياثانال؛ فيتفتح المركب الوسطي، ثم أفاعله مع حمض HBr ، فيكون كحول الإيثanol المطلوب؛ كما في المعادلات الآتية:



أكتب المعادلات التي تبيّن تحضير 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$; من: الميثان CH_4 والإيثن $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، بوجود الضوء، والمواد الآتية: الماء، الإيثر، $\text{PCC/CH}_2\text{Cl}_2$ ، H_2SO_4 ، Mg ، Cl_2 ، NaOH .

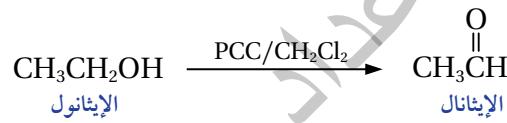
الحلّ:

الكحول المراد تحضيره 2- بروبانول هو كحول ثانوي، وعدد ذرات الكربون فيه أكبر من عددها في أيّ من المركبين العضويين المتوافررين، ويساوي مجموع عددها في كلّ من المركّبين، ولتحضير هذا المركب، تُستخدم طريقة غرينارد، إذ يُحضر الألديهايد ومركب غرينارد أولاً، ثم تجري مفاعलتهما معاً. ولما كان الكحول المطلوب ثانويّاً، فإنه يلزم لتحضيره الألديهايد عدا الميثنال، 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:

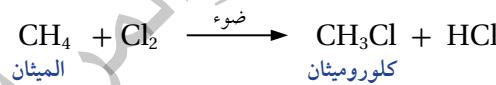
أضيف الماء إلى الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ للحصول على كحول الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، كما في المعادلة الآتية:



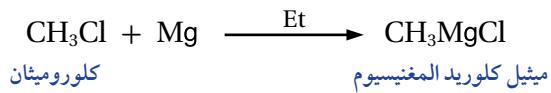
ثم يؤكسد الإيثانول باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم $\text{PCC} \backslash \text{CH}_2\text{Cl}_2$; للحصول على الإيثانال كما يأتي:



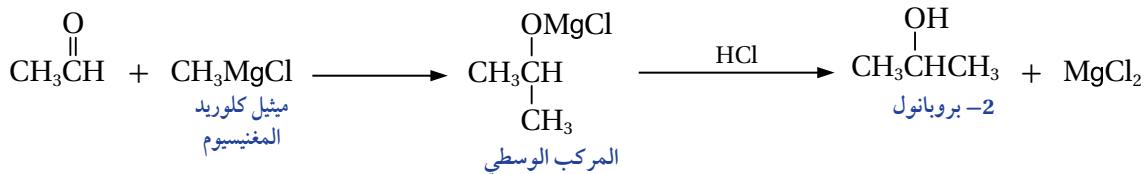
يتفاعل الميثان مع الكلور Cl_2 بالاستبدال؛ فينتج كلورو ميثان CH_3Cl ، كما في المعادلة الآتية:



يتفاعل كلوروميثان CH_3Cl ، مع المغنيسيوم Mg؛ بوجود الإيثر للحصول على مركب غرينارد (ميشيل كلوريد المغنيسيوم) كما في المعادلة الآتية:

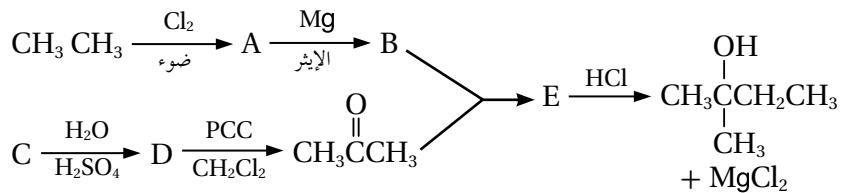


أضيف ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl إلى الإيثانال CH_3CHO ; فيتتج المركب الوسطي، ثم أجري تفاعله مع الحمض HCl ، فيتكون 2-بروبانول، كما في المعادلات الآتية:



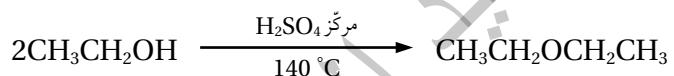
تحقق: أكتب صيغ المركبات العضوية A, B, C, D, E, الناتجة من سلسلة التفاعلات المبينة في المخطط الآتي:

أصمّم باستخدام الكاميرا الرقمية فيلماً أوّلّاً، ثمّ بعض الأمثلة التي أوّلّت فيها أنواع التفاعلات العضوية في تحضير بعض المركبات العضوية في المختبر مثل الكحولات، ثم أشاركه زملائي / زميلاتي.



تحضير الإيثرات Preparation of Ethers

يُحضر العديد من الإثيرات صناعيًّا، ومن أهمها: ثنائي إيثيل إيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$ ، الذي يُستخدم مذبيًّا عضويًّا في كثير من التفاعلات، ويُحضر صناعيًّا بتسخين الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع حمض الكبريتيك المركّز H_2SO_4 ، إلى درجة حرارة تصل 140°C ، والمعادلة الآتية توضح ذلك:



أما في المختبر؛ فتحضر الإشرات بشكل أساسى بتفاعل هاليد الألكيل الأولي RX ، مع مركبات الألوكسيد، مثل الألوكسيد الصوديوم $R-ONa$ ، حيث يحلّ أيون الألوكسيد RO^- محلّ أيون الهاالوجين.

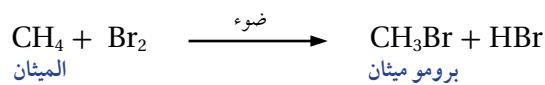
المثال 25

أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير ثانوي ميثيل إيثر CH_3OCH_3 ; بوجود الضوء والمواد الآتية:

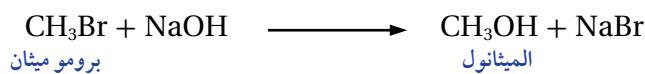
NaOH , Br₂ , Na , CH₄

الحل:

ثنائي ميثيل إيثير CH_3OCH_3 ، المراد تحضيره يتكون من مجموعتي ألكيل متمااثلين CH_3 ، على جانبي ذرة الأكسجين، تتكون كلّ منها من ذرة كربون واحدة، يكون مصدر إحداهما هاليد الألكيل بروميثان CH_3Br ، ومصدر الأخرى أيون الميثوكسيد CH_3O^- ، لذلك؛ أستخدم الميثان لتحضير بروميثان كما يأتي:



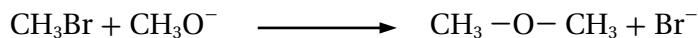
أُقسم المركب برومو ميثان إلى قسمين؛ أحفظ بأحدهما، وأستخدم الآخر لتحضير أيون الميثوكسيد، حيث
أُجري تفاعل برومو ميثان مع هيدروكسيد الصوديوم؛ فينتج الميثanol CH_3OH ، كما يأتي:



ثم أُجري تفاعل الميثanol 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 يتَّأين ويُنْتج أيون CH_3O^- الذي يحل محل ذرة الهالوجين Br في بروموميثان، ويُنْتج ثانوي ميثيل إيثر $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ ؛ كما في المعادلة الآتية:



المثال 26

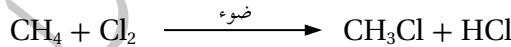
أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير إيثيل ميثيل إيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$ ، إذا توافر في المختبر الميثان CH_4 والإيثنين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ؛ وبوجود الضوء والمواد الآتية: NaOH , HCl , Cl_2 , Na

الحل:

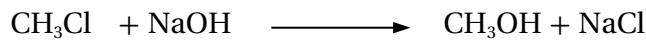
الإيثر المراد تحضيره هو إيثيل ميثيل إيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$ ، ويُتَكَوَّن من مجموعتي ألكيل مختلفتين؛ إحداهما CH_3 ، والأخر CH_3CH_2 ، ولذلك؛ يُسْتَخَدَمُ أحد المركَّبين العضويَّين لِتَحْضِيرِ هالِيدِ الأَلْكِيل RX ، ويُسْتَخَدَمُ الآخر لِتَحْضِيرِ مَرْكَبِ الْأَلْكُوكَسِيد RONa ، ولذلك أُضِيفَ HCl إلى الإيثنين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ؛ فيُنْتجُ كلورو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ، كما في المعادلة الآتية:



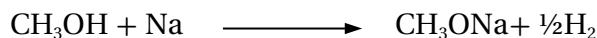
ثم أُسْتَخَدَ الميثان CH_4 لِتَحْضِيرِ الْأَلْكُوكَسِيد CH_3ONa ، حيث يُتَفَاعَلُ الميثان مع الكلور Cl_2 ، وبِوْجُودِ الضُّوءِ عن طَرِيقِ بِتَفَاعَلِ الْاسْتِبَدَالِ، ويُنْتَجُ كلورو ميثان CH_3Cl ؛ كما في المعادلات الآتية:



ثم أُجْرِيَ تفاعل كلورو ميثان CH_3Cl ، مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH ؛ فيُنْتجُ الميثanol CH_3OH ، كما يَأْتِي:



بعد ذلك؛ أُجْرِيَ تفاعل الميثanol CH_3OH ، مع الصوديوم Na ؛ فيُنْتجُ ميثوكسيد الصوديوم CH_3ONa .



ثم أُجْرِيَ تفاعل كلورو إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ ، مع ميثوكسيد الصوديوم؛ فيُنْتجُ إيثيل ميثيل إيثر؛ كما في المعادلة الآتية:

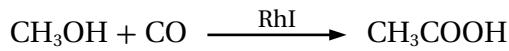


أَتَحَقَّقُ: أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير الإيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_3}{\text{CH}}}\text{CH}_3$ ، إذا توافر في المختبر 1- كلورو بروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ، والإيثنين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ، والمواد الآتية:



تحضير الحمض الكربوكسيلي Preparation of Carboxylic Acids

يُحضر حمض الإيثانويك صناعيًّا على نطاق واسع عن طريق تفاعل الميثanol CH_3OH ، مع أول أكسيد الكربون CO ؛ بوجود عامل مساعد من يود - روبيوم (RbI) ؛ كما في المعادلة الآتية:



وتحضر الحمض الكربوكسيلي في المختبر بطرق عدّة، منها: أكسدة الكحولات الأولية أو أكسدة الألديهيدات 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، وتحضر أيضًا من التحلل المائي للإستر في وسط حمضي، وكذلك بتفاعل الإستر مع محلول قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH (التصبن)؛ فيتتجّع الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي الذي تجري مفاعله مع محلول مخفّف من حمض الهيدروكلوريك HCl ؛ فيتتجّع الحمض الكربوكسيلي، كما في المعادلة العامة الآتية:

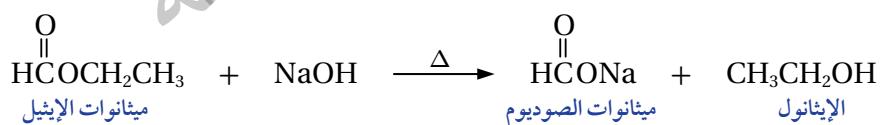


المثال 27

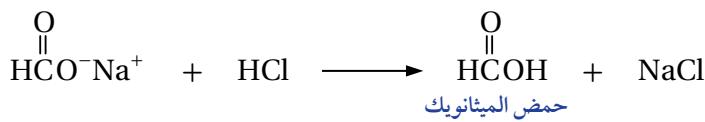
أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير حمض الميثانويك HCOOH ؛ من ميثانوات الإيثيل $\text{HCOOCH}_2\text{CH}_3$ ، باستخدام قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH ، وحمض الهيدروكلوريك HCl .

الحلّ:

يُحضر حمض الميثانويك بتسخين ميثانوات الإيثيل مع محلول القاعدة NaOH ، ويُتّجّع الإيثانول وميثانوات الصوديوم؛ كما في المعادلة الآتية:



يضاف حمض الهيدروكلوريك HCl إلى محلول ميثانوات الصوديوم المتّبقي، ويُتّجّع حمض الميثانويك HCOOH ، كما في المعادلة الآتية:

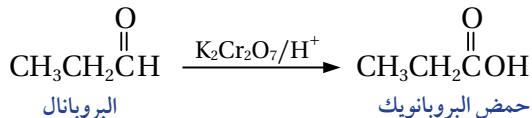


المثال 28

أكتب معادلات كيميائية تبيّن أكسدة البروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ للحصول على حمض البروبانويك $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$.

الحل:

يُحضر 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:



تحضير الإسترات Preparation of Esters

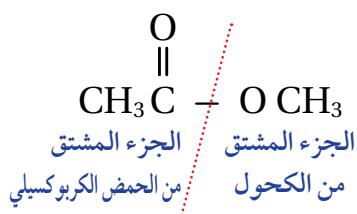
تُستخدم عملية الأسترة في تحضير كثير من المركبات العضوية ذات الأهمية الكبرى في حياتنا، مثل: الأسيرين، ومضادات لتحسين الوقود، ومُنكّهات غذائية، وفي صناعة النسيج، وتُستخدم في صناعة الصابون، والمنظفات، وغيرها.

يُحضر الإستر في المختبر بتفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول في وسط حمضي (محلول حمض الكبريتิก H_2SO_4)، وهي أيضًا العملية الأكثر شيوعًا صناعيًّا.

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

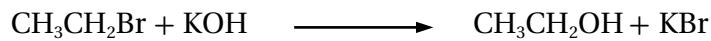
الحال



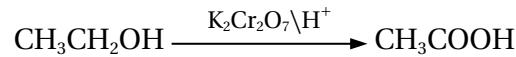
المركب $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ هو إستر ينتج من تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول في وسط حمضي، وبالتالي في صيغته، يمكن تحديد الجزء المشتق من الحمض والجزء المشتق من الكحول كما يأتى:

الاحظ أن الجزء المشتق من الحمض يتكون من ذرتين 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؛ فاستخدم المركب CH_4 لتحضير الكحول، والمعادلات الآتية توضح ذلك:

أُجري تفاعل بروم إيثان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ ، مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH ، فينتج الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، كما في المعادلة الآتية:

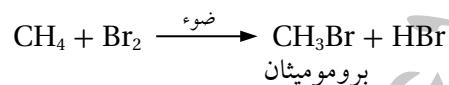


ثم يؤكسد الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، في وسط حمضي، فينتج حمض الإيثانويك CH_3COOH ، كما في المعادلة الآتية:



ثم يحضر الميثanol CH_3OH من الميثان CH_4 كما يأتي:

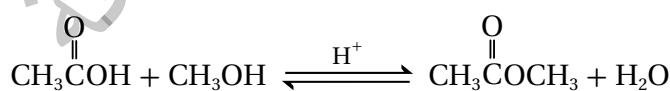
أُجري تفاعل الميثان CH_4 مع البروم بوجود الضوء؛ فينتج بروموميثان CH_3Br ، كما يأتي:



ثم أُجري تفاعل بروموميثان CH_3Br ، مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH ؛ فينتج الميثanol CH_3OH ، كما في المعادلة الآتية:



بعدها أُجري تفاعل الميثanol CH_3OH ، مع حمض الإيثانويك CH_3COOH في وسط حمضي، فينتج الإستر $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ ؛ كما في المعادلة الآتية:



أتحقق: أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير إيثانوات الإيثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ ؛ بدءاً من الإيثانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، وباستخدام المواد الآتية: Ni , H_2 , H_2SO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$

التجربة 2

تحضير الإستر

المواد والأدوات:

أنبوب اختبار، كأس زجاجية 250 mL، كأس زجاجية 50 mL، سخان كهربائي، مخار مدرج، حامل أنابيب، قطارة، ماسك أنابيب، محلول حمض الكبريتيك المركّز H_2SO_4 ، حمض الإيثانويك المركّز 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:

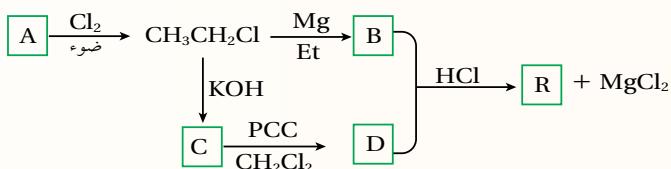
- أضع 200 mL من الماء في الكأس الزجاجية ذات السعة 250 mL، وأضعها على السخان الكهربائي، وأبدأ عملية التسخين.
- أقيس:** أستخدم المخار المدرج في قياس 5 mL من محلول حمض الإيثانويك؛ ثم أضعها في أنبوب الاختبار.
- أقيس:** أستخدم المخار المدرج في قياس 5 mL من محلول الإيثانول، ثم أضيفها إلى حمض الإيثانويك في أنبوب الاختبار.
- أضيف -باستخدام القطارة- ثلاث قطرات من حمض الكبريتيك إلى الخليط في أنبوب الاختبار.
- الاحظ:** أمسك أنبوب الاختبار بالماسك وأغمسه داخل الكأس الزجاجية الموجودة على السخان الكهربائي، وأنظر حتى غليان الخليط. ما الرائحة الناتجة؟
- أرفع أنبوب الاختبار من الكأس الزجاجية عندما يبدأ الماء بالغليان، وأضعه على حامل الأنابيب.

التحليل والاستنتاج:

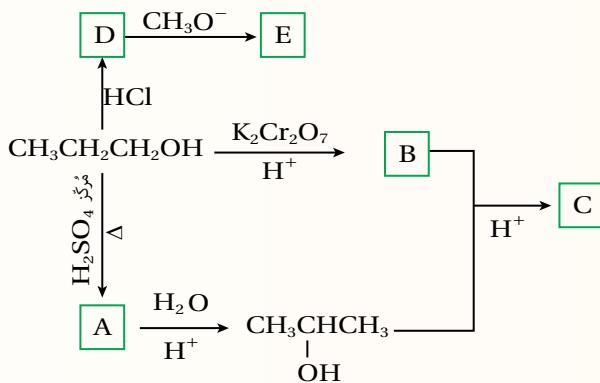
- أكتب معادلة التفاعل التي تحدث بين حمض الإيثانويك والإيثانول.
- أسمّي الإستر الناتج.

مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسية: أوضح أهمية تحضير المركبات العضوية في المختبر.
- أوضح المقصود بتفاعل التكسير الحراري.
- أصمّم مخططاً يبيّن سلسلة التفاعلات المستخدمة في تحضير الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$; باستخدام الإيثان CH_3CH_3 .
- أكتب معادلة تحضير الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ، صناعياً من تخمر سكر الغلوكوز.
- أكتب معادلة التحضير الصناعي للإيثانال CH_3CHO .
- أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير البروبانون 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 مرّكز.
- أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$; باستخدام الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ بالإضافة إلى المواد الآتية: إيثر، $\text{PCC/CH}_2\text{Cl}_2$, HBr , Mg
- أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2- ميثيل-2- بيوتانول $\text{CH}_3\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{OH}}{\text{C}}}\text{CH}_2\text{CH}_3$ إذا توافرت المواد الآتية في المختبر: الإيثين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$, HBr , Mg , H_2SO_4 , H_2O , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$, إيثر، $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$ ، إذا توافرت المياثيل CH_3 ، والمواد الآتية: NaOH , Cl_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$, H_2SO_4 مرّكز.
- أستنتج: مركب عضوي A؛ يتكون من ثلاثة ذرات كربون، يتفاعل مع الصوديوم مُطلقاً غاز الهيدروجين H_2 ، وعند أكسدته 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، أستنتاج الصيغة البنائية للمركبات A, B, C.



11. أدرس المخطط الآتي، وأستنتاج صيغ المركبات العضوية: R, D, C, B, A.



12. أدرس المخطط الآتي، وأكتب الصيغ العضوية
لكل من المركبات : E ، D ، C ، B ، A

13. اختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة في ما يأتي:

1. يُحضر المركب إيثانوات الميثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ من تفاعل المركبين الآتيين:

- أ. $\text{CH}_3\text{CHO}/\text{CH}_3\text{OH}$
ب. $\text{CH}_3\text{COONa}/\text{CH}_3\text{OH}$
ج. $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{ONa}$
د. $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{OH}$

2. يُحضر البروبين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ بإحدى الطرق الآتية:

- أ. طريقة التكسير الحراري.
ب. احتزال الكيتون.
ج. الاستبدال في الألكان.
د. الاستبدال في الكحول.

3. يُتَّجَ المركب $\text{CH}_3\text{OCHCH}_3$ مباشرة من تفاعل المركبين:

- أ. $\text{CH}_3\text{Cl}/\text{CH}_3\text{CHONa}$
ب. $\text{CH}_3\text{OH}/\text{CH}_3\text{CHCl}$
ج. $\text{CH}_3\text{Cl}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{ONa}$
د. $\text{CH}_3\text{OH}/\text{CH}_3\text{CHONa}$

4. سلسلة التفاعلات الصحيحة لتحضير المركب $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ ، بدءاً من CH_3CH_3 هي:

- أ. استبدال - إضافة - أكسدة.
ب. استبدال - استبدال - احتزال.
ج. إضافة - استبدال - احتزال.
د. استبدال - استبدال - أكسدة.

5. تُحضر الألكينات صناعياً بالتكسير الحراري للألkanات ذات السلسل الطويلة. جميع الأزواج الآتية تتبع

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}
ج. C_4H_8 ، C_6H_{14}
د. C_2H_4 ، C_8H_{18}

6. أحد المركبات الآتية يُحضر بخطوة واحدة ابتداءً من 2- كلوروبيوتان $\text{CH}_3\text{CH}(\text{Cl})\text{CH}_2\text{CH}_3$ ، هو:

- أ. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$
ج. $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$
د. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$

الإثراء والتلوّح

تحضير حمض الفورميك من أكسدة الكتلة الحيوية

Preparation of Formic Acid from Biomass Oxidation

يعدّ حمض الفورميك أو حمض الميثانويك HCOOH من المواد الكيميائية المهمة في صناعات متعددة، منها: صناعة المنسوجات، والأدوية، والمواد الكيميائية الغذائية، وصناعة الجلود، والدباغة، ويُستخدم مادةً حافظةً ومضادةً 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.

ويُحضر حمض الفورميك بطرق عدّة أكثرها شيوغاً: التحلل المائي لميثانوات الميثيل، حيث يجري تحضيره صناعيًّا بتفاعل أول أكسيد الكربون مع الميثanol بوجود عامل مساعد مناسب وظروف مناسبة من الضغط ودرجة الحرارة مكوّناً ميثانوات الميثيل التي تتحلل في الماء ليتّبع حمض الميثانويك وكحول الميثanol، ويفصل الحمض، ثم يعاد استخدام الميثanol مرة أخرى لتكوين ميثانوات الميثيل، وهكذا.

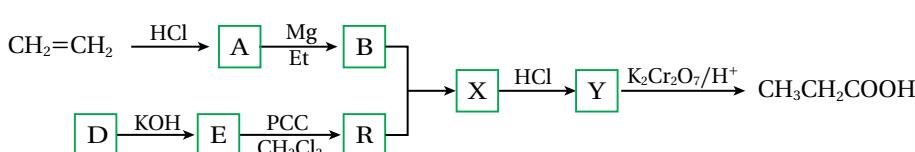
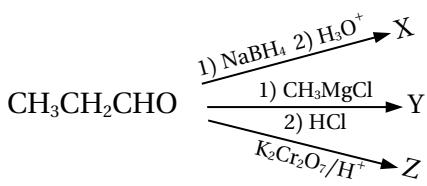
أما في الوقت الحاضر؛ فهناك دراسات متعددة ترتكز على الكتلة الحيوية **Biomass**، بوصفها مصدرًا للحصول على حمض الفورميك؛ نظرًا لوفرتها وتنديّ تكلفتها. يطلق مصطلح الكتلة الحيوية على المخلفات العضوية للمحاصيل المختلفة، مثل: قش القمح، ومخلفات الأخشاب، ونشارة الخشب، ومخلفات الدواجن.



تجري أكسدة الكتلة الحيوية تحت ظروف مختلفة كما في الشكل، فتحلل وتحول إلى حمض الفورميك؛ بوجود فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، والأكسجين O_2 ، بوصفهما عاملين مؤكسدين.

1. أوضح المقصود بـ: أ. التصبن. بـ. الإضافة الإلكتروفilia.
2. 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 إلى 2- بيوتين $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$.
 - إضافة الماء إلى 1- بيتين $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$ بوجود حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركّز.
 - إضافة كمية وافرة من كلوريد الهيدروجين إلى 1- بيوتاين $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CH}$.
 - 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- بتنانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ مع حمض H_2SO_4 المركّز.
 - تسخين 2- بروموميثيل بيوتان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CCH}_3$ ، مع محلول مركّز 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 مخفّف من H_2SO_4 .
 - تم أكسدة مركبين كحوليين أحدهما أوليّ والآخر ثانوي؛ باستخدام $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$ عالماً مؤكسداً، كيف يمكن استخدام محلول تولينز لتحديد أي الكحولين هو الكحول الأولي؟
 - إستر أعطي الرمز الإفتراضي A صيغته الجزيئية $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$ ؛ تكون 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 تكون الأستر A، وأبيّن الصيغة البنائية لكل من: الإستر A، والحمض الكربوكسيلي B، والعامل المساعد المستخدم.
 - يمكن للبروبانال $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ أن يتحوّل إلى ثلاثة مركبات عضوية مختلفة عن طريق التفاعلات الآتية:
 - أكتب الصيغة البنائية لكلاً من X، Y، Z.
 - أحدّد نوع التفاعل الذي يُكوّن المركب X.
 - أكتب معادلة التفاعل بين Y و Z بوجود حمض H_2SO_4 .

6. أستنتج: أدرس المخطط الآتي، وأستنتج صيغ المركبات العضوية المشار إليها بالرموز: Y, X, Z, E, D, R, A, B.



مراجعة الوحدة

7. أستنتاج: 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 ليتجز المركب B الذي بدوره يتفاعل مع كربونات الصوديوم الهيدروجينية NaHCO_3 مُطلقاً غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 , وعند أكسدة المركب D باستخدام $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$; يتكون مركب عضوي R لا يستجيب لتفاعل تولنر، أما عند تسخين المركب D مع محلول حمض الفوسفوريك H_3PO_4 يتتج مركب عضوي Y قادر على إزالة لون محلول البروم. أستنتاج الصيغ العضوية للمركبات Y A, B, C, D, R, Y

8. أستنتاج: مركب عضوي A، يتكون من ثلاث ذرات كربون. عند تفاعله مع الصوديوم يتتج المركب B مع انطلاق غاز الهيدروجين H_2 . وعند أكسدة المركب A باستخدام $(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+)$; يتتج 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 يتتج المركب العضوي D الذي يتفاعل مع المركب B ليتجز المركب E. أستنتاج الصيغ العضوية للمركبات E A, B, C, D, E

9. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 3-ببتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_2\text{CH}_3$, إذا توافرت في المختبر المواد الآتية:
 HBr , NaOH , Mg , $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$, الإيثر, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$, 1-كلوروبروبان

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, HBr , NaOH , Mg , H_2SO_4 , Br_2 , $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$

11. اختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. مركب الألوكسيد المستخدم في تكوين الإيثر هو: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCHCH}_3$

- أ. CH_3ONa .
 ب. $\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_3$.
 ج. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{ONa}$.
 د. CH_3CHCH_3 .

2. يُحضر المركب إيثوكسيد الصوديوم $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}$ من تفاعل:

- أ. CH_3COOH مع الصوديوم .
 ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع الصوديوم .
 ج. NaOH مع هيدروكسيد الصوديوم .
 د. NaOH مع هيدروكسيد الصوديوم .

3. عند تسخين المركب 2-بروبانول $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ مع حمض الكبريتيك H_2SO_4 يتتج:

- أ. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$.
 ب. $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$.
 ج. $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$.
 د. CH_3COCH_3 .

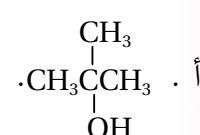
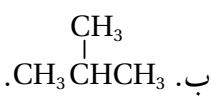
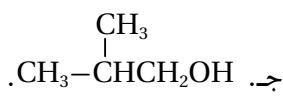
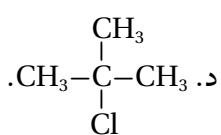
4. يتتج عن إضافة HBr إلى $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ المركب:

- أ. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$.
 ب. $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$.

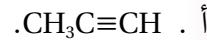
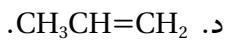
5. يستخدم محلول البروم للتمييز بين:

- أ. الألكان والكحول.
 ب. الألكان والكربونيل.
 ج. الألديهيد والكيتون.
 د. الألكان والحمض الكربوكسيلي.

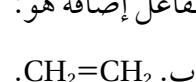
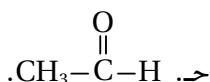
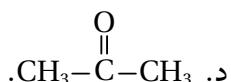
6. عند إضافة الماء H_2O إلى 2-ميثيل بروبين $CH_3C=CH_2$ في وسط حمضي ينتج:



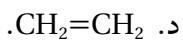
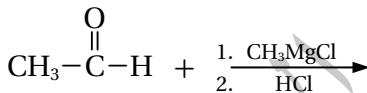
7. صيغة المركب A في التفاعل: A + 2HI $\rightarrow CH_3Cl_2CH_3$; هي:



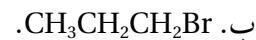
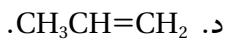
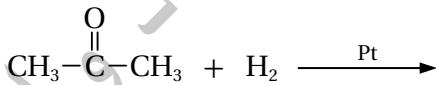
8. المركب الذي لا يحدث له تفاعل إضافة هو:



9. ناتج التفاعل الآتي هو:

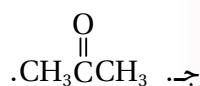
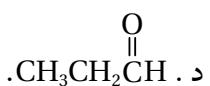
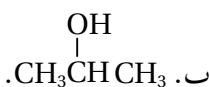
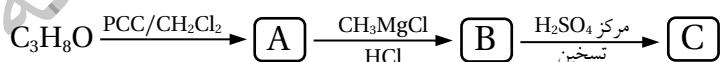


10. ناتج التفاعل الآتي هو:

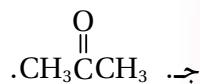
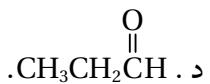
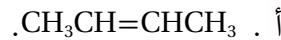
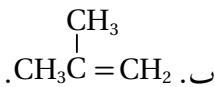


11. المخطط التالي يشير إلى سلسلة من التفاعلات العضوية تبدأ من مركب عضوي صيغته العامة C_3H_8O ، علمًا بأن

المركب العضوي A يتفاعل مع محلول تولنر، فإن الصيغة البنائية للمركب O هي:



12. الصيغة البنائية للمركب العضوي C، في سلسلة التفاعلات العضوية السابقة هي:



مراجعة الوحدة

13. يُحضر الألديهيد بإحدى الطرق الآتية:

- أ. أكسدة كحول ثانوي باستخدام $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$.
- ب. اختزال كحول ثانوي باستخدام $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$.
- ج. أكسدة كحول أولي باستخدام $\text{PCC}/\text{CH}_2\text{Cl}_2$.
- د. إضافة H_2O إلى الألكين بوجود H_2SO_4 .

14. يُحضر ثانوي إيثيل إيثر $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$ صناعياً بإحدى الطرق الآتية:

- أ. تسخين الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع هاليد الأل킬 الأولي.
- ب. تسخين هاليد الألkil الأولي مع الكحول.
- ج. تفكك الإستر في وسط قاعدي.
- د. تسخين الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع حمض الكبريتيك المركّز.

15. في التفاعل الآتي: $\text{A} + \text{X} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br} + \text{H}_2\text{O}$ ، فإن الصيغة الكيميائية لكل من A و X، هي:

- أ. $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3/\text{HBr}$
- ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3/\text{HBr}$
- ج. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}/\text{Br}_2$
- د. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}/\text{HBr}$

16. سلسلة التفاعلات الصحيحة لتحضير البروبانون CH_3COCH_3 بدءاً من 1- كلورو بروبان $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ هي:

- أ. استبدال - استبدال - أكسدة.
- ب. استبدال - حذف - إضافة - أكسدة.
- ج. استبدال - حذف - إضافة - حذف - أكسدة.
- د. استبدال - حذف - إضافة - احتزال.

17. يُحضر حمض الإيثانويك CH_3COOH صناعياً بإحدى الطرق الآتية:

- أ. هدرجة أول أكسيد الكربون CO .
- ب. تفاعل الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ مع أول أكسيد الكربون CO .
- ج. تفاعل الميثانول CH_3OH مع أول أكسيد الكربون CO .
- د. أكسدة الإيثanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ باستخدام PCC ، بوجود CH_2Cl_2 .

18. صيغة المركب العضوي الذي لا يتأكسد هي:

- أ. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
- ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$
- ج. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$
- د. $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$

19. يمكن تحضير المركب 1- بيوتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ بخطوة واحدة؛ باستخدام أحد المركبات الآتية:

- أ. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$
- ب. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$
- ج. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$
- د. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_3$

20. المركب الذي يُختزل فقط باستخدام LiAlH_4/Et ، ثم إضافة محلول مخفف من حمض الكبريتيك H_2SO_4 هو:

- أ. $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$
- ب. CH_3CHO
- ج. CH_3COCH_3
- د. CH_3COOH

مسرُد المصطلحات

- سرعة التفاعل الكيميائي **Rate of Chemical Reaction**: مقياس لقدر التغير في كمية مادة متفاعلة أو كمية مادة ناتجة في فترة زمنية محددة.
- سرعة التفاعل المتوسطة **Mean Rate (S)**: 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**: الأسس المرفوع إلية تركيز المادة المتفاعلة في قانون سرعة التفاعل، ويبين أثر تغير تركيز مادة متفاعلة على سرعة التفاعل.
- الرتبة الكلية للتفاعل **Overall Reaction Order**: مجموع رتب المواد المتفاعلة في قانون سرعة التفاعل.
- نظرية التصادم **Collision Theory**: حدوث تفاعل كيميائي يجب اصطدام جسيمات المواد المتفاعلة بعضها بعض، وامتلاكها طاقة تصادم كافية لتكسير الروابط بينها، وأن يكون اتجاه تصادم هذه الجسيمات صحيحا.
- التصادم الفعال **Effective Collision**: التصادم الذي يمتلك طاقة كافية ويكون اتجاهه صحيحا فيؤدي إلى حدوث التفاعل وتكون النواتج.
- المعقد المنتشر **Activated Complex**: حالة انتقالية غير مستقرة من تجمع الذرات، تمتلك أعلى طاقة، و يحدث فيها تكسير الروابط وتكونها، 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 وتكون روابط جديدة.
- الكيمياء الكهربائية **Electrochemistry**: أحد فروع الكيمياء، يهتم بدراسة التحولات بين الطاقة الكيميائية والكهربائية الناتجة عن تفاعلات التأكسد والاختزال والتطبيقات العملية المرتبطة بها.
- التأكسد **Oxidation**: فقد الإلكترونات أو زيادة عدد التأكسد.
- الاختزال **reduction**: كسب الإلكترونات أو نقصان عدد التأكسد.
- تفاعل التأكسد والاختزال **Redox Reaction**: تفاعل كيميائي تحدث فيه عملية التأكسد والاختزال معاً.
- عدد التأكسد **Oxidation Number**: الشحنة الفعلية لأيون الذرة في المركبات الأيونية، أما في المركبات الجزيئية؛ فيُعرف أنه الشحنة التي تكتسبها الذرة المكونة للرابطة في ما لو انتقلت إلكترونات الرابطة كلياً إلى الذرة التي لها أعلى سالبية 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 المخترل **Reducing agent**: المادة التي تختزل مادة أخرى في التفاعل الكيميائي؛ إذ يفقد إلكترونات تكتسبها المادة التي يختزلها وتحدث له عملية تأكسد.
- التأكسد والاختزال الذاتي **Autoxidation–Reduction Reaction**: سلوك المادة كعامل مؤكسد وعامل مخترل في التفاعل نفسه.
- الخلايا الكهروكيميائية **Electrochemical Cells**: أجهزة أو أدوات تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال مترتبة للطاقة الكهربائية أو مستهلكة لها.
- الخلايا الجلفانية **Galvanic Cells**: أجهزة أو أدوات تجري فيها تفاعلات تأكسد واختزال تلقائية مترتبة للطاقة الكهربائية.
- نصف الخلية **Half cell**: جزء من الخلية الجلفانية يحدث فيه نصف تفاعل تأكسد أو نصف تفاعل اختزال.
- القطرة الملحيّة **Salt bridge**: أنبوب زجاجي على شكل حرف U، يحتوي على محلول مشبع لأحد الأملاح يصل بين نصفي الخلية ويحافظ على تعادل شحنتها الكهربائية.
- جهد الخلية المعياري **Standard cell potential**: مقياس لقدرة الخلية على إنتاج تيار كهربائي، وهو القوة الدافعة الكهربائية المولدة 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 كهربائية؛ 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 زوجاً من الإلكترونات غير الرابطة، وينجذب للطرف الموجب للرابطة القطبية ويرتبط معه. ويوصف بأنه محب للشحنة الموجبة.
- **إلكتروفيل Electrophile:** الأطراف الموجبة للجزيئات، وهي أطراف محبة للإلكترونات تنجذب إلى منطقة الكثافة الإلكترونية السالبة؛ وذلك لاحتاجها إلى زوج إلكترونات.
- **إضافة إلكتروفيلية Electrophilic Addition:** انجذاب الإلكتروفيل إلى الإلكترونات الرابطة π من الرابطة الثنائية في الألكين.
- **قاعدة ماركوفينيكوف Markovnikov's Rule:** عند إضافة هاليد الهيدروجين HX إلى الألكين غير متماثل؛ فإن ذرة الهيدروجين ترتبط بذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين.
- **إضافة نيوكلويوفيلية Nucleophilic Addition:** انجذاب النيوكلويوفيل إلى ذرة الكربون الموجبة في مجموعة الكربونيل في الألديهيد 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 تحلل فيه ذرة أو مجموعة ذرات محل ذرة أو مجموعة ذرات أخرى في المركب العضوي.
- **جذر حر Free Radical:** ذرة أو مجموعة ذرات تمتلك إلكترونًا منفردًا، مما يجعله شديد النشاط.
- **استبدال نيوكلويوفيلي Nucleophilic Substitution:** تفاعل يرتبط فيه النيوكلويوفيل الذي يمتلك زوجاً 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 ، متنجًا الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي.
- **عملية التكسير الحراري Thermal Cracking:** عملية كيميائية يجري فيها تكسير مركبات الهيدروكربون ذات السلسل الطويلة إلى مركبات ذات سلسل أصغر.