





الكيمياء

الصف الثاني عشر - المسار الأكاديمي

الفصل الدراسي الثاني

كتاب الطالب



فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

بلال فارس محمود تيسير أحمد الصبيح

جميلة محمود عطية

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق ا<mark>لعناوين الآتية:</mark>

- - periodical feedback@nccd.gov.jo www.nccd.gov.jo



قرَّرت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2024/170)، تاريخ 2024/10/16 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2024/170)، تاريخ 2024/11/17 م، بدءًا من العام الدراسي 2024/2024 م.

- © HarperCollins Publishers Limited 2024.
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 796 - 6

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

بيانات الفهرسة الأولية للكتاب:
عنوان الكتاب الكيمياء، كتاب الطالب: الصف الثاني عشر، المسار الأكاديمي، الفصل الدراسي الثاني إعداد / هيئة الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج بيانات النشر عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج، 2025 رقم التصنيف 373,19 الواصفات / الكيمياء/ أساليب التدريس/ المناهج// التعليم الثانوي/ الطبعة الأولى يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه، ولا يعبّر 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	
	نايف محمد أمين مراشدة	
	تایف محمد امین مراسده	
	. (1)	
	——	
	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

لموضوع	الصفحة
لمقدّمة	4
لوحدة الخامسة: الكيمياء الحركية	5
لتجربة الاستهلالية: مفهوم سرعة التفاعل الكيميائي	7
لدرس الأول: سرعة التفاعلات الكيميائية	8
لدرس الثاني: قوانين سرعة التفاعلات	21
لدرس الثالث : نظرية التصادم والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل	32
لإثراء والتوسّع: تقليل تلف الأطعمة	47
براجعة الوحدة	48
لوحدة السادسة: الكيمياء الكهربائيّة	51
لتجربة الاستهلالية: تفاعل بعض الفِلِزّات مع حمض الهيدروكلوريك HCl	53
لدرس الأول: التأكسد والاختزال	54
لدرس الثاني: الخلايا الجلفانيّة	
لدرس الثالث: خلايا التحليل الكهربائي	
لإثراءُ والتوسّع: إعادة تدوير البطاريات	109
براجعة الوحدة	110
لوحدة السابعة: الكيمياء العضوية	115
لتجربة الاستهلالية: الكشف عن المجموعات الوظيفية في بعض المركبات العضوية	
لدرس الأول: تفاعلات المركبات العضوية؛ الإضافة والحذف	
عدرس الثاني: تفاعلات الاستبدال والتأكسد والاختزال	
قدرس الثالث: تحضير المركبات العضوية	
حو ر ن معتقب المنطق النهام الفورميك من أكسدة الكتلة الحيوية	
م رو بور على المار ا المار المار ال	
سر د المصطلحات سر د المصطلحات	182

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

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

وَيُعَدُّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحَلِّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المُتبَعة عالميًّا؛ لضهان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها حاجات طلبتنا والكوادر التعليمية.

وقد جاء هذا الكتاب مُحقِّقًا لمضامين الإطار العام للمناهج الأردنية والإطار الخاص لمبحث العلوم، ومعاييرها، ومُعتزِّ ومُؤشِّرات أدائها المُتمثِّلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الحادي والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعتزِّ -في الوقت نفسه - بانتهائه الوطني. وتأسيسًا على ذلك، فقد اعتُمِدت دورة التعلُّم الخهاسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطلبة الدور الأكبر في العملية التعلُّمية التعليمية، وتُوفِّر لهم فرصًا عديدةً للاستقصاء، وحَلِّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلًا عن اعتهاد منحي STEAM في التعليم الذي يُستعمَل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

يتألُّف الكتاب من ثلاث وحدات دراسية، هي: الكيمياء الحركية، والكيمياء الكهربائية، والكيمياء العضوية.

أُلِحِقَ بكتاب الكيمياء كتابٌ للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعد الطلبة على تنفيذها بسهولة، وذلك اعتهادًا على منحنى STEAM في بعضها، بدءًا بعرض الأساس النظري لكل تجربة، وبيان خطوات العمل وإرشادات السلامة، وانتهاءً بأسئلة التحليل والاستنتاج. وتضمّن الكتاب أيضًا أسئلة تفكير متنوعة؛ بُغْيَة تعزيز فهم موضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد.

ونحن إذ نُقدَّمُ هذه الطبعةَ منَ الكتاب، فإنّا نأمَلُ أن يُسهِمَ في تحقيق الأهداف والغايات النهائيّة المنشودة لبناء شخصيّة الطالب/ الطالبة، وتنمية اتجاهات حُبّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمرّ، فضلًا عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوّعة، والأخذ بملاحظات المعلّمين والمعلمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

Eld pil glindil

Kinetic Chemistry

الوحدة

5

. أتأمَّلُ الصورة

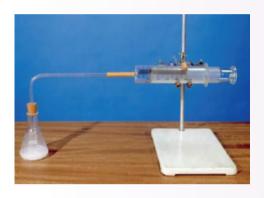
تتفاوت التفاعلات الكيميائية في زمن حدوثها، وتختلف سرعاتها تبعًا لذلك؛ فالصوديوم يتفاعل بسرعة كبيرة مع الماء كما يظهر في الصورة. هذه المشاهدة وغيرها؛ دفعت العلماء إلى البحث في اختلاف سرعة التفاعلات الكيميائية، وكيفية التحكم فيها لزيادة سرعتها أو إبطائها. فما المقصود بسرعة التفاعل الكيميائي؟ ولماذا تتفاوت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



وجهة استعلالية

مفهوم سرعة التفاعل الكيميائي

المواد والأدوات: دورق مخروطي حجمه mL 250 mL، مخبار مُدرَّج، حمض الهيدروكلوريك تركيزه M، 0.1 M، كربونات الكالسيوم «CaCO» ميزان حساس، محقن غاز، أنبوب زجاجي، سدّادة مطاطية، ساعة إيقاف.



إرشادات السلامة:

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

خطوات العمل:

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

الزمن (s)	0	15	30	45	60
حجم غاز 2O ₂ (mL)	0				

التحليل والاستنتاج:

- 1- كيف أستدل على حدوث تفاعل كيميائي؟
- 2- أكتب معادلة كيميائية موزونة للتفاعل الكيميائي.
- CO_2 خلال التفاعل الكيميائي مع الزمن.

مبرعة الثقافلات الكيميائية Rate of Chemical Reactions



الفكرةُ الرئيسة:

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

لتعلُّه: ◄ لتعلُّه:

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

المفاهيمُ والمصطلحات:

سرعة التفاعل الكيميائي

Rate of Chemical Reaction

السرعة المتوسطة Mean Rate

السرعة الابتدائية Initial Rate

السرعة اللحظية Instantaneous Rate

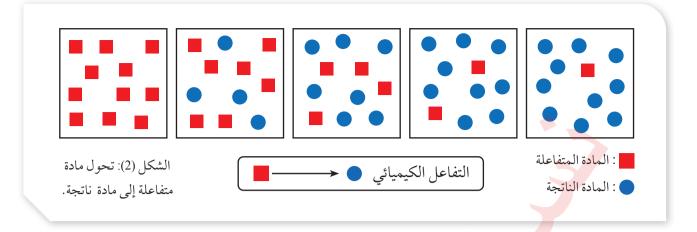
الشكل (1): احتراق الخشب.

مفهوم سرعة التفاعل Concept of Reaction Rate

يهتم فرع الكيمياء الحركية بدراسة التغير في سرعة التفاعلات الكيميائية والعوامل المؤثرة فيها. وتوصف التفاعلات الكيميائية بأنها سريعة أو بطيئة؛ تبعًا للزمن المُستغرَق في حدوثها، الذي يعتمد على خصائص المواد المتفاعلة وظروف التفاعل. يمكن وصف حركة الأجسام عن طريق سرعتها، فمثلًا: عند النظر إلى مؤشر عداد السرعة في السيارة، إذا كان يشير إلى 80 km/h؛ فإن هذه السرعة تسمى السرعة اللحظية، ويمكن حساب سرعة جسم متحرك بقسمة المسافة التي يقطعها على الزمن الذي استغرقه في قطع تلك المسافة، وتسمّى هذه السرعة المتوسطة. أما بالنسبة إلى التفاعل الكيميائي فإنه يمكن قياس زمن اختفاء إحدى المواد المتفاعلة أو ظهور إحدى المواد الناتجة، وبمعرفة كمية هذه المادة يمكن حساب سرعة تفاعلها.

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





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

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

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

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

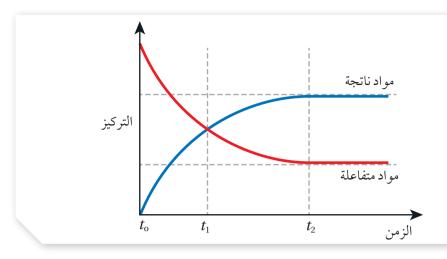
وبذلك يمكن تعريف سرعة التفاعل الكيميائي (Rate of Chemical Reaction (R) بأنها التغيّر في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة خلال مدة زمنية محددة، ويُعبَّر عنها بالمعادلة الرياضية الآتية:

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

حيث يشير الرمز (Δ) إلى التغير.

حساب سرعة التفاعل Calculating the Reaction Rate

تُحسَب سرعة التفاعل الكيميائي من التجربة العملية بدلالة نقصان تركيز إحدى المواد الناتجة خلال مدة زمنية محددة.



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

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

نمثلًا: في التفاعل الكيميائي العام الآتي:
$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

استهلاك A كما يأتى:

$$R=-rac{\Delta \left[ext{also}
ight] }{\Delta t}$$

$$R=-rac{\Delta \left[A
ight] }{\Delta t}$$

استهلاك (اختفاء) إحدى المواد المتفاعلة مثل A أو B، فمثلًا: يُعبَّر عن سرعة

أي أنّ:

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

 t_2 تركيز المادة المتفاعلة A عند الزمن A المتفاعلة عند الزمن A تركيز المادة المتفاعلة عند الزمن A

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، تُكتَب الإشارة السالبة في القانون؛ حتى يكون ناتج سرعة التفاعل قيمة موجبة. ويُعبَّر عن وحدة سرعة التفاعل بـ: [M/s]، أو [M/s].

كذلك يمكن حساب سرعة تكوين (إنتاج) مادة ناتجة مثل C أو C فمثلًا: يُعبَّر عن سرعة تكوين المادة C كما يأتي:

الربط بالفيزياء

 $R = \frac{\Delta \left[\text{مادة ناتجة}\right]}{\Delta t}$ جسّد اكتشاف أحمد زويل، الحائز على $R = \frac{[C]_2 - [C]_1}{t}$

تكون قيمة [C] موجبةً؛ لأن تركيز المادة الناتجة يزداد بمرور الزمن، $[C]_1$ فیکون ترکیز ها $[C]_2$ أکبر من ترکیز ها

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

عند مقارنة سرعة استهلاك المادة A مع سرعة تكوين المادة C؛ فإنه يمكن إيجاد علاقة بين سرع<mark>ة اس</mark>تهلاك A و سرعة تكوين C اعتمادًا على معاملاتهما في المعادلة الموزونة كما يأتي:

$$\frac{A}{a}$$
 سرعة تكوين $\frac{C}{a}$ عدد مولات $\frac{A}{a}$

فمثلًا: يتضح من المعادلة A o 3C أن تكوين 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 تساوى ثلث سرعة تكوين المادة C، ويُعبُّر عن هذه العلاقة كما يأتي:

A كاسرعة استهلاك
$$\frac{1}{3}$$
 سرعة استهلاك $\frac{1}{3}$ الله أن:
$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{1}{3} \frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$
 اعتمادًا على المعادلة الموزونة الآتية:

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

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

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

جائزة نوبل في الكيمياء عام 1999، ثورة في فهم التفاعلات الكيميائية، فقد تمكّن من تطوير تقنية ليزرية متطورة تتيح «تصوير» حركة الذرات داخل الجزيئات أثناء التفاعلات، وذلك على مقياس زمني بالغ القِصَر، هو الفيمتو ثانية (10-15 من الثانية).

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

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



Ilaîlb I

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

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

الحلّ:

$$-\frac{1}{4}\frac{\Delta\left[NH_{3}\right]}{\Delta t}=-\frac{1}{5}\frac{\Delta\left[O_{2}\right]}{\Delta t}=\frac{1}{6}\frac{\Delta\left[H_{2}O\right]}{\Delta t}=\frac{1}{4}\frac{\Delta\left[NO\right]}{\Delta t}$$

يتفاعل غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 مع غاز الفلور F_2 لتكوين غاز فلوريد النتريل NO_2 ؛ وفق المعادلة الموزونة الآتية: $2NO_{2(g)} + F_{2(g)} \rightarrow 2NO_2F_{(g)}$

- F_2 أكتب العلاقة التي تعبّر عن سرعة استهلاك 1.
- 2. أكتب العلاقة التي تعبّر عن سرعة تكوين NO₂F.
- $.F_2$ عن العلاقة بين سرعة تكوين NO_2F وسرعة استهلاك $.F_2$

الحلّ:

$$R = -\frac{\Delta[F_2]}{\Delta t}$$

 F_2 أكتب سرعة استهلاك

$$R = \frac{\Delta[NO_2F]}{\Delta t}$$

 NO_{2} آکتب سرعة تکوين

$$-\frac{\Delta[F_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[NO_2F]}{\Delta t}$$

 F_2 واستهلاك NO_2F أكتب العلاقة بين سرعة تكوين

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

3 Mill

يتحلل غاز هيدريد الفسفور PH₃، وفق معادلة التفاعل الآتية:

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

 $0.06 \, \mathrm{M/s}$ أحسب سرعة تكوين غاز الفسفور P_4 ، علمًا أن سرعة تكوين غاز الهيدروجين تساوي

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

 P_4 المطلوب: حساب سرعة تكوين غاز الفسفور

الحلّ:

 H_2 أكتب العلاقة بين سرعة تكوين الفسفور P_4 وسرعة تكوين

$$\frac{\Delta[P_4]}{\Delta t} = \frac{1}{6} \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t}$$
$$= \frac{1}{6} \times 0.06$$
$$= 0.01 \text{ M/s}$$

أعوّض القيم:

المعادلة: $\sqrt{$ أتحقّق: يتفاعل غاز الهيدروجين H_2 مع غاز النيتروجين N_2 وفق ظروف معينة لإنتاج الأمونيا N_3 ، ويُعبَّر عن ذلك بالمعادلة:

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

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

حساب سرعة التفاعل من الرسم البياني

Calculating rate of reaction from a graph

سرعة التفاعل المتوسطة Mean Rate

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

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

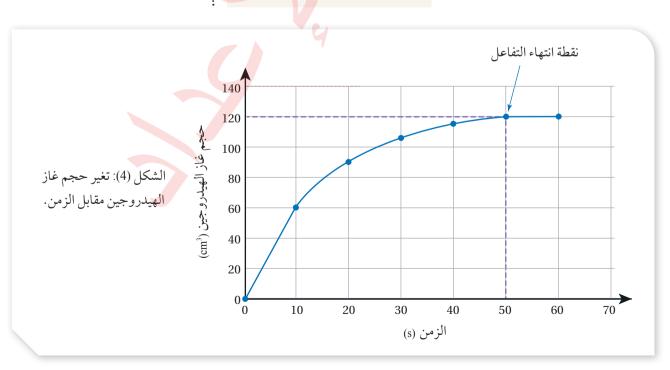
تكون سرعة التفاعل أكبر ما يمكن لحظة بدايته، ثم تقلّ كلما استُهلكت المواد المتفاعلة أكثر فأكثر، وبمرور الزمن تزداد كمية غاز الهيدروجين الناتج، ويمكن حساب السرعة المتوسطة (Mean Rate (S)، وهي التغير الكلّي لكمية المادة المتفاعلة أو الناتجة خلال الزمن المستغرق في ذلك. فمثلًا: في تفاعل المغنيسيوم Mg مع حمض الهيدروكلوريك HCl، أجد ناتج قسمة التغير الكلّي في حجم غاز الهيدروجين H_2 الناتج على الزمن المستغرق في ذلك. ويبين الشكل (4) أن الحجم النهائي للغاز الناتج يثبت ويساوي $120~{\rm cm}^3$ بعد مضي $120~{\rm cm}$ مشيرا إلى انتهاء التفاعل، وبذلك أحسب السرعة المتوسطة (S) للتفاعل كما يأتي:

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

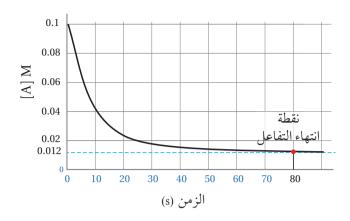
$$S = \frac{120 - 0}{50 - 0} = 2.4 \text{ cm}^3/\text{s}$$

ΔV التغير في حجم الغاز الناتج Δt التغير في الزمن

 ✓ أتحقَّق: أوضّح المقصود بالسرعة المتوسطة للتفاعل.



المثال 4



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

أحسب السرعة المتوسطة S لتفاعل A.

الحل:

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

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

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

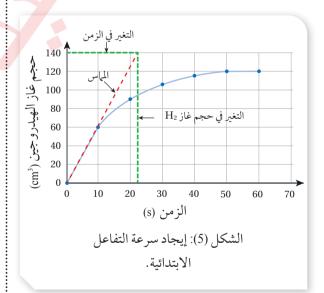
سرعة التفاعل الابتدائية Initial Rate

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 تراكيز المواد المتفاعلة أكبر ما يمكن، وتساوي هذه السرعة ميل المماس (G) عند النقطة التي تمثل كمية المادة المتفاعلة أو الناتجة عند الزمن صفر، حيث:

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

وتُمثّل Y التغيّر في حجم الغاز الناتج، وتمثل X التغير في الزمن. وبالرجوع إلى المنحنى في الشكل (5) يمكن حساب السرعة الابتدائية لتكوّن غاز H_2 كما يأتى:

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



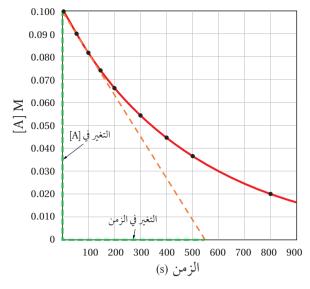
5 Mall

أحسب السرعة الابتدائية لاستهلاك A.

الحل:

ألاحظ 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 يأتى:

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

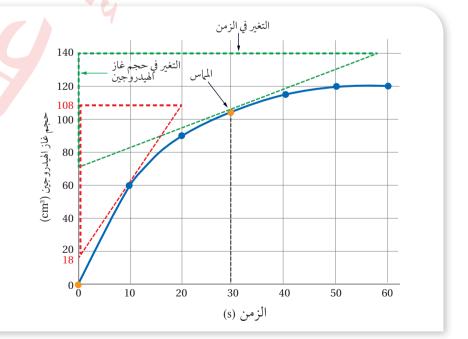


سرعة التفاعل اللحظية Instantaneous Rate

أما سرعة التفاعل عند أي لحظة زمنية معينة فتسمّى السرعة اللحظية (Instantaneous Rate وتُحسَب عن طريق رسم منحنى يُمثّل التغير في كمية مادة متفاعلة أو ناتجة مقابل الزمن، ثم رسم مماس للمنحنى عند النقطة المقابلة للزمن عند تلك اللحظة، وحساب الميل عندها، حيث يُمثّل السرعة اللحظية. فمثلًا: لحساب سرعة تكوّن غاز H_2 عند زمن H_3 0، أرسم مماسًا للمنحنى عند النقطة المقابلة للزمن H_3 0 كما هو موضّح في الشكل (6)، ثم أحسب ميل المماس كما يأتي:

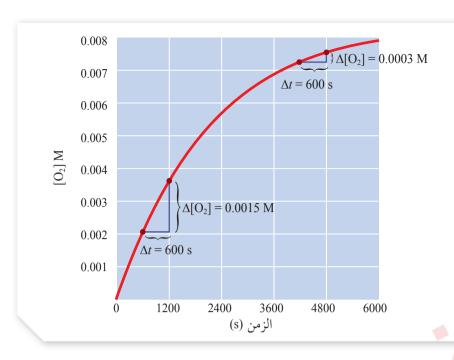
$$G = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{140 - 70}{58} = 1.207 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

أتحقَّق: بالرجوع إلى الشكل (6)، أحسب السرعة اللحظية عند زمن 10 s.



الشكل (6): إيجاد سرعة التفاعل اللحظية.

لماذا تكون سرعة التفاعل عند الزمن 30 s أقبل من سرعته الابتدائية؟



الشكل (7): حساب سرعة التفاعل خلال مدّة زمنية

سرعة التفاعل خلال فترات زمنية محددة Rate of Reaction within Time

يمكن حساب سرعة التفاعل بتغير تركيز إحدى المواد المتفاعلة أو الناتجة في فترات زمنية محددة، فمثلًا: عند تحلل غاز خامس أكسيد ثنائي النيتر وجين N_2O_5 لإنتاج غاز ثاني أكسيد النيتر وجين NO₂ وغاز الأكسجين O₂، وفق المعادلة الموزونة الآتية:

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

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

Time (s)	0	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400
$[O_2] \times 10^{-3} \mathrm{M}$	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:

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

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

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

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

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

$$R = \frac{0.0003 \text{ M}}{600 \text{ s}}$$
$$= 5 \times 10^{-7} \text{ M/s}$$

√ أتحقَّق: أحسب سرعة إنتاج غاز الأكسجين خلال المدة الزمنية s (3000 – 3000)



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

[E] M	الزمن s
0.006	5
0.002	9

يبيّن الجدول الآتي تركيز المادة E مقابل الزمن.

- 1. أتوقع: هل المادة E متفاعلة أم ناتجة؟ أفسر ذلك.
 - 2. أحسب سرعة التفاعل.

تحليل السؤال: المعطيات

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

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

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

الحلّ:

- 1. ألاحظ من الجدول أن تركيز المادة [E] قلّ من 0.006 إلى 0.002، عندما ازداد الزمن من عند زمن 55 إلى 98؛ أي أن التركيز يقل بمرور الزمن، وهذا يشير إلى أنها مادة متفاعلة.
 - 2. أطبّق العلاقة:

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

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

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

7 Mall

 ${
m CO_{(g)}+NO_{2(g)}}
ightarrow {
m CO_{2(g)}+NO_{(g)}}$: أحسب سرعة استهلاك ${
m CO}$ في المعادلة: ${
m CO}$ المعادلة: ${
m CO}_{2(g)}$ المعادلة: ${
m CO}_{2(g)}$ المعادلة: ${
m CO}_{2(g)}$ المعادلة: ${
m CO}_{2(g)}$ علمًا أن تركيز ${
m CO}_{2(g)}$ في بداية التفاعل ${
m M}_{2(g)}$ المعادلة: ${
m CO}_{2(g)}$ ثم أصبح تركيزه ${
m CO}_{2(g)}$ المعادلة: ${
m CO}_{2(g)}$ أن تركيز

تحليل السؤال: المعطيات

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

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

$$\Delta t = 20 s$$

المطلوب: أحسب سرعة استهلاك CO

لحلّ:

أكتب قانون سرعة التفاعل للمادة المتفاعلة:

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

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

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

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

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

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

الزمن S	0	10	20
$[N_2O_4]$ M	0.10	0.02	0.01
[NO ₂] M	0.00	0.16	0.18

 N_2O_4 في المدة الزمنية N $_2O_4$ أحسب سرعة استهلاك N_2O_4

.0 - 20) s في المدة الزمنية NO $_2$ أحسب سرعة تكوّن NO $_2$

$$[N_2O_4]_1 = 0.02 \, \mathrm{M}$$
 المعطيات: الفرع رقم (1).

$$[N_2O_4]_2 = 0.01 M$$

$$\Delta t = 10 s$$

 N_2O_4 المطلوب: أحسب سرعة استهلاك

الحلّ:

$$N_2O_4$$
 سرعة استهلاك

$$\begin{split} R &= -\frac{\Delta [N_2 O_4]}{\Delta t} = -\frac{([N_2 O_4]_2 - [N_2 O_4]_1)}{(t_2 - t_1)} \\ &= -\frac{(0.01 - 0.02)}{20 - 10} \\ &= 0.001 \text{ M/s} \end{split}$$

$$[NO_2]_1 = 0.16 M$$

$$[NO_2]_2 = 0.18 M$$

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

المطلوب: أحسب سرعة تكوّن NO2

الحلّ:

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

$$= 0.002 \,\mathrm{M/s}$$

أكرّر الخطوات كما في الفرع رقم (1).

المعادلة الآتية: $\sqrt{N_1}$ المعادلة الآتية: $\sqrt{N_2}$ المعادلة الآتية: $\sqrt{N_2}$ المعادلة الآتية: المعادلة الآتية: المعادلة الآتية: المعادلة الآتية:

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

أحسب سرعة تكوّن الأمونيا $^{\circ}$ NH، علمًا أن تركيز الأمونيا تغير من $^{\circ}$ 0.2 الى $^{\circ}$ 0.6 خلال فترة زمنية $^{\circ}$ 15.

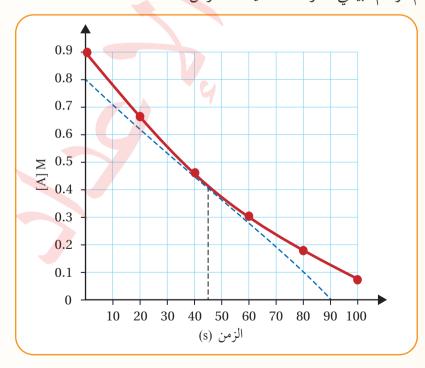
مراجعة الدرس

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

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

أُجيب عن الأسئلة الآتية:

- أ . أكتب معادلة التفاعل.
- ب. أحسب سرعة تكوّن المادّة الناتجة في الفترة الزمنية s (20-15).
 - ج. أحدّد زمن انتهاء التفاعل.
 - 4. أحسب باستخدام الرسم البياني السرعة اللحظية عند الزمن 45 s.



أختار رمز الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

- 1. في التفاعل الآتي: $F_2 + 2NO_2 \to 2NO_2$ إذا كانت سرعة استهلاك F_2 تساوى $O.2 \, M/s$ فإن سرعة إنتاج بو حدة (M/s) تساوى: NO_2F
 - حـ. 0.4 ب. 0.2 اً . 0.1 د. 0.6
- 2. يتفكَّك غاز $N_2O_{4(g)} o N_2O_{4(g)}$ بالحرارة مُكوِّنًا غاز N_2O_2 وفق المعادلة الكيميائية: $N_2O_{4(g)} o N_2O_{4(g)}$ إذا علمت أنَّ:
 - يز داد [NO₂] حتى يصل إلى 0.18 M خلال 20 s
 - $0.1 \, \mathrm{M}$ يساوى $N_2 \mathrm{O}_4$ يساوى -

فإنّ التركيز المو لارى لـ N_2O_4 بعد S_2O_4 يساوى:

- ب. 0.01 اً . 0.02 د. 0.2 حـ. 0.1
- $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 6H_2O_{(g)} + 4NO_{(g)}$.3 فإن العلاقة الصحيحة بين سرعة استهلاك إحدى المواد المتفاعلة وسرعة تكوين إحدى المواد الناتجة بدلالة التغير في التركيز خلال مدة زمنية محددة، هي:

$$\frac{1}{4} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} \cdot \mathbf{y}$$

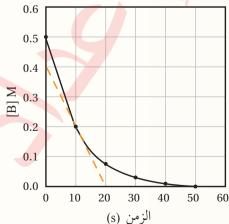
$$\frac{1}{4} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} \cdot \checkmark \qquad \frac{1}{3} \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} = \frac{1}{4} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t} \cdot \mathring{\mathsf{I}}$$

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

$$-\frac{1}{5} \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{6} \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} \cdot 2 \qquad -\frac{1}{6} \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = \frac{1}{4} \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} \cdot 2$$

- 4. في تفاعل ما، إذا كانت العلاقة بين سرعة تفاعل المادتين A و A: B المعادلة A فإن المعادلة A فإن المعادلة المعادلة عنه مناه إذا كانت العلاقة بين سرعة تفاعل المادتين A و A المادتين A و A المعادلة المعا الصحيحة للتفاعل الافتراضي، هي:

 - $3B \rightarrow 2A$. $\Rightarrow 2B \rightarrow 3A \rightarrow 2B$. $\Rightarrow 3A \rightarrow 2B$.
- 5. يمثل الشكل المجاور منحني سرعة التفاعل لتغير تركيز مادة متفاعلة B مع الزمن. إن السرعة اللحظية عند الزمن s 10 لتفاعل B بوحدة (M/s) تساوى:



- 0.04.
- ب. 0.05
- حـ. 0.02
- د . 0.01

قوانين سرعة التفاعلات

Reaction Rate Laws



الفكرةُ الرئيسة:

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

لتعلَّم: ◄ التعلَّم: ◄

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

المفاهية والمصطلحات:

رتبة التفاعل Reaction Order الرتبة الكُليّة للتفاعل

Overall Reaction Order

أثر التراكيز في سرعة التفاعل

The Effect of Concentrations on Reaction Rate

درست سابقًا كيفية حساب سرعة التفاعل الكيميائي؛ بمعرفة التغيّر في كمية إحدى المواد المتفاعلة المستهلكة، أو كمية إحدى المواد الناتجة خلال زمن معين. ويمكن أن تعتمد سرعة التفاعل على تركيز أكثر من مادة واحدة متفاعلة، وهذه المواد المتفاعلة لا يمكن تحديد أثرها في سرعة التفاعل من معادلة التفاعل الموزونة؛ إنما من التجارب العملية. أنظر الشكل (8) الذي يُبيّن تفاعلًا كيميائيًّا بين بير منغنات البوتاسيوم $KMnO_4$ وفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 .

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

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

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

ولتحويل علاقة التناسب إلى علاقة مساواة، يتم إدخال ثابت التناسب الذي يسمى ثابت سرعة التفاعل (k)، لنحصل على القانون العام لسرعة التفاعل كالآتي: $R = k \left[A \right]^{v}$

ويُعرَّف قانون سرعة التفاعل الكيميائي بأنه المعادلة الرياضية التي تحدد كيف تعتمد سرعة التفاعل على تراكيز المواد المتفاعلة. ويتم التوصل إلى قانون السرعة لتفاعل ما عن طريق التجربة العملية، ومنها تُحدَّد قيم كل من $(y \ ev)$.





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

رتبة التفاعل Reaction Order

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

ويُعبَّر عن قانون سرعة التفاعل بحاصل ضرب ثابت سرعة التفاعل k في تراكيز المواد المتفاعلة مرفوعة لقوّة تُسمّى رتبة التفاعل لكل مادة متفاعلة، ولا تظهر تراكيز المواد الناتجة في قانون سرعة التفاعل، فالتجارب العملية تُجرى في ظروف لا تسمح بحدوث التفاعلات العكسية. ويعتمد ثابت سرعة التفاعل k على درجة الحرارة، ولكل تفاعل ثابت سرعة k محدد تختلف قيمته عن الآخر.

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

يُطلَق على الرمز (x) رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة A، أما الرمز (y) فهو رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة B. وتعرَف رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة المستفاعلة المستفاعلة بأنها الأس المرفوع تركيزُها إليه في قانون سرعة التفاعل، وتبيّن أثر تغير تركيز المادة المتفاعلة في سرعة التفاعل. وتُحدَّد 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 الأولى لتلك المادة المتفاعلة، وهكذا. ويُطلَق على مجموع رتب المواد المتفاعلة x + y كون سرعة التفاعل الرتبة المُلِية للتفاعل على مجموع رتب المواد المتفاعلة على Overall Reaction Order

المثال 9

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

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

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

 $\mathbf{R} = \mathbf{k} \left[\mathbf{NO} \right]^2 \left[\mathbf{H}_2 \right]^1$

- 1. ما رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة NO?
- H_2 ما رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة H_2
 - 3. ما الرتبة الكُلية للتفاعل؟

الحل:

ألاحظ من قانون سرعة التفاعل أن:

- 1. الأسّ المرفوع تركيز المادة المتفاعلة NO إليه يساوي 2؛ أي أن رتبة المادة NO تساوي 2
 - 2. الأسّ المرفوع تركيز المادة المتفاعلة H_2 إليه يساوي 1؛ أي أن رتبة المادة H_2 تساوي 1
 - 2+1 = 3 : هي: 8 = 1 + 1 الرتبة الكلية تساوي مجموع رتبتي المادتين المتفاعلتين، وهي

يتحلل خامس أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_5 عند درجة حرارة معينة وفق معادلة التفاعل الآتية: $2N_2O_{5(g)} o 4NO_{2(g)} + O_{2(g)}$

إذا كان قانون السرعة لهذا التفاعل $R=k~[N_2O_5]^1$ ، وقيمة ثابت سرعة التفاعل k تساوي N_2O_5 وتركيز N_2O_5 وتركيز N_2O_5 يساوي N_2O_5 ، فأحسب سرعة تحلل N_2O_5 اللحظية N_2O_5

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 تحلل N2O₅.

الحلّ:

 $R=k\left[N_2O_5\right]^1$ قانون سرعة التفاعل

أعوض قيمة ثابت السرعة وقيمة التركيز، فأحصل على قيمة سرعة تحلل N₂O₅:

$$R = 5.9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \times 8.4 \times 10^{-3} \text{ M}$$
$$= 4.9 \times 10^{-6} \text{ M.s}^{-1}$$

√ أتحقّق: ما المقصود برتبة التفاعل للمادة المتفاعلة؟

تحدید رتبة التفاعل Determining the order of reaction

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

طريقة الرسم البياني Graphical Method

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

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

الرتبة الصفرية Zero Order

عندما يكون تركيز مادة متفاعلة مرفوعًا للأسّ صفر، فإن قيمته تساوي (1)؛ وهذا يعني أن تغير تركيز المادة V_{2} المادة V_{3} وفق التفاعل. فمثلًا: عند قياس سرعة تحلل أحادي أكسيد ثنائي النيتر وجين V_{3} وفق المعادلة الآتية:

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

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

ويبين الشكل البياني (9/b) علاقة خط مستقيم بين سرعة التفاعل مقابل التركيز، ويشير ذلك إلى أن سرعة التفاعل لا تتأثر بتركيز المادة المتفاعلة N_2 0، وبهذا يكون قانون السرعة لهذا التفاعل:

$$R = k$$

وذلك 1ن $1=[N_2O]^0$ ؛ فلا يُكتَب تركيز 1كو في قانون السرعة.

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

الرتبة الأولى First order

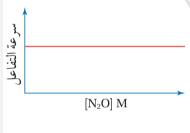
عندما يكون تركيز مادة متفاعلة مرفوعًا للأس (1)، فإن سرعة التفاعل تتناسب طرديًّا مع تركيز المادة المتفاعلة، مما يعني أن تغير تركيز المادة يؤدي إلى التغيّر نفسه في سرعة التفاعل، فمثلًا: نقصان تركيز المادة المتفاعلة إلى النصف يؤدي إلى نقصان سرعة التفاعل إلى النصف، وكذلك مضاعفة تركيزها يؤدي إلى مضاعفة سرعة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

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

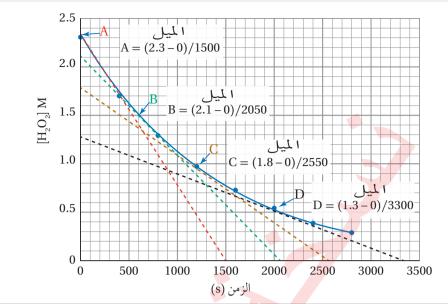
حيث وُجِد عمليًّا أن مضاعفة تركيز H_2O_2 تؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل؛ لذلك يعدّ هذا التفاعل من الرتبة الأولى بالنسبة للمادة المتفاعلة فوق أكسيد $R = k[H_2O_2]^1$ ويُعبَّر عن سرعته بالقانون: H_2O_2

أفكِّن أستنتج وحدة ثابت السرعة k المتفاعل من الرتبة الصفرية.





الشكل (9/b): سرعة تفاعل N₂O مقابل التركيز.



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

ويمكن التحقق أن التفاعل من الرتبة الأولى بتتبّع تغيّر تركيز H₂O₂ بمرور الزمن. حيث يُبيّن الشكل (10) ميل المماس عند تراكيز محددة من ${\rm H}_2{\rm O}_2$ في زمن محدد ودرجة حرارة ثابتة. ويعدّ شكل المنحني هذا مؤشرًا عامًّا لتفاعلات الرتبة الأولى كافة.

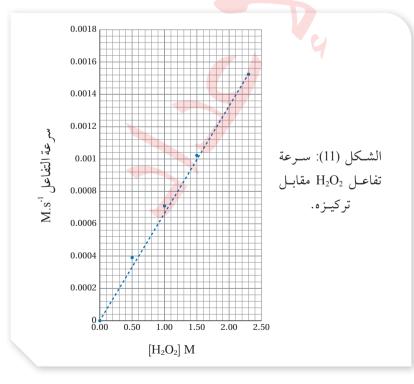
يتضح من الشكل أن الخطوط المنقطة A.B.C.D تمثل المماس عند تراكيز محددة، وبحساب ميل المماس يمكن حساب سرعة هذا التفاعل عند تلك

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

ويُبيّن الجدول (1) المجاور قِيَم سرعة تفاعل H2O₂ المحسوبة عند تراكيز محددة منه.

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

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



وبذلك يمكن رسم شكل بيانى يوضح سرعة التفاعل مقابل التركيز، كما هو مبيّن في الشكل (11)، إذ يظهر الشكل علاقة خط مستقيم متزايد، وهذا النمط ينطبق على هذا التفاعل وعلى تفاعلات الرتبة الأولى كافة؛ أى أنه إذا كانت العلاقة خطًا مستقيمًا متزايدًا بين تركيز المادة المتفاعلة وسرعة التفاعل؛ يعنى ذلك أن التفاعل من الرتبة الأولى.

طريقة السرعة الابتدائية The Initial Rate Method

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

 $aA + bB \rightarrow cC$ بافتراض إجراء ثلاث تجارب بتراكيز ابتدائية مختلفة لكل من المادتين المتفاعلتين A و B و B و B و B و B و B

التجربة	[A]M	[B]M	السرعة الابتدائية M.s
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: $^{V}[B]^{x}[B]^{x}$ ولتحديد قيمة الرتبة $^{V}[A]$ للمادة $^{V}[A]$ أقارن بين تركيز المادة $^{V}[A]$ وسرعة التفاعل في التجربة رقم (2) هو ضعف ثبات تركيز المادة $^{V}[A]$ وألاحظ أن تركيز المادة $^{V}[A]$ في التجربة رقم (1) وألاحظ أيضًا 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 $^{V}[A]$ أي أن قيمة $^{V}[A]$ تساوى $^{V}[A]$

أطبق الطريقة نفسها لتحديد قيمة رتبة y للمادة B، فأقارن تركيز المادة B مع سرعة التفاعل في التجربتين (1، 3) عند ثبات تركيز المادة A، وألاحظ أن تركيز المادة B في التجربة رقم (3)، وألاحظ أيضًا أن سرعة التفاعل التجربة رقم (3)، وألاحظ أيضًا أن سرعة التفاعل في التجربة رقم (1)؛ أي أن نسبة الزيادة في التجربة رقم (1)؛ أي أن نسبة الزيادة في سرعة التفاعل تساوي مُربَّع نسبة الزيادة في تركيز المادة وبذلك فإن التفاعل ثنائي الرتبة للمادة B؛ أي أن قيمة y تساوي 2. وبهذا أتوصل إلى قانون السرعة لهذا التفاعل:

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

ويبيّن الجدول (2) العلاقة بين رتبة التفاعل لمادة متفاعلة والتغيّرات في تركيز هذه المادة وسرعة التفاعل عند ثبات تراكيز المواد المتفاعلة الأخرى. وعند الحديث عن سرعة التفاعل يجب أن تُحدَّد بالضبط المادة المتفاعلة أو الناتجة التي اختيرت لدراسة أثر تغيّر تراكيز المواد المتفاعلة في سرعة تفاعلها (استهلاكها أو إنتاجها) عن طريق التجربة العملية.

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

مقدار تضاعف التركيز	مقدار تضاعف سرعة التفاعل R	رتبة التفاعل
2	لم تتغيّر	0
3	لم تتغيّر	0
2	$2 = 2^{1}$	1
3	$3 = 3^{1}$	1
2	$4 = 2^2$	2
3	$9 = 3^2$	2

يتفاعل ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 مع حمض الهيدروكلوريك HCl، وفق معادلة التفاعل الآتية: $NO_{2(g)} + 2HCl_{(g)} \rightarrow NO_{(g)} + Cl_{2(g)} + H_2O_{(g)}$

أُجريت ثلاث تجارب بتراكيز مختلفة عند درجة حرارة ثابتة؛ وحُسِبت سرعة استهلاك NO_2 الابتدائية لكل تجربة، وسُجلت النتائج؛ فكانت كما يظهر في الجدول الآتي:

رقم التجربة	$[NO_2]M$	[HCl]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}

- أكتب قانون سرعة التفاعل العام.
- 2. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة NO₂.
- 3. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة HCl.

حلّ:

- 4. أستنتج قانون السرعة لهذا التفاعل.
- 5. أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل k، وأحدد وحدته.
- $\frac{R_3}{R_1} = \frac{k[NO_2]^x [HCl]^y}{k[NO_2]^x [HCl]^y}$

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

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

 $2 = 2^{y}$

HCl وهي رتبة المادة y = 1

4. أستنتج قانون سرعة التفاعل:

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

5. أحسب قيمة ثابت السرعة من التجربة (1) مثلًاكما يأتى:

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

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

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

- 2. أجد قيمة الرتبة $_{\rm X}$ للمادة المتفاعلة $_{\rm NO_2}$ ، بمقارنة تركيز $_{\rm NO_2}$ مع سرعة التفاعل في التجربتين (1) و (2) عند ثبات تركيز $_{\rm HCl}$ ، حيث أقسم سرعة التفاعل $_{\rm R_2}$ على سرعة التفاعل $_{\rm R_2}$ كما يأتى:

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

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

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

$$2 = 2^{X}$$

$$NO_2$$
 وهي رتبة المادة $X = 1$

3. أجد قيمة الرتبة y للمادة المتفاعلة HCl؛ بمقارنة تركيز HCl مع سرعة التفاعل في التجربتين (1) و (3) عند ثبات تركيز المادة R_0 ، حيث أقسم سرعة التفاعل R_1 كما يأتى:

يتفاعل غاز أول أكسيد النيتروجين NO مع غاز الأكسجين O_2 مكوّنًا غاز ثاني أكسيد النيتروجين O_2 ، وفق المعادلة الآتية: $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$

وبقياس سرعة تكوّن NO_2 الابتدائية عند تراكيز ابتدائية مختلفة من NO و ودرجة حرارة معيّنة، سُجلت النتائج كما يظهر في الجدول الآتي:

رقم التجربة	[NO] M	$[O_2]M$	السرعة الابتدائية M.s
1	1×10^{-1}	2×10^{-1}	7×10^{-2}
2	2×10^{-1}	2×10^{-1}	$2.8 imes 10^{-1}$
3	1×10^{-1}	4×10^{-1}	$1.4\times10^{^{-1}}$

- 1. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة NO.
 - 0_2 أستنتج رتبة المادة المتفاعلة 0_2

الحلّ:

 لتحديد رتبة التفاعل للمادة NO، أقارن تركيزها مع سرعة التفاعل في التجربتين (1) و(2)، عند ثبات تركيز الأكسجين O2، فألاحظ أن تركيز NO تضاعف مرتين كما يأتى:

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

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) O_2 وألاحظ أن تركيز NO، وألاحظ أن تركيز تضاعف مرتين كما يأتي:

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

- 3. أستنتج قانون سرعة التفاعل.
- 0_2 أحسب سرعة استهلاك 0_2 في التجربة رقم (1).

وأيضًا تتضاعف السرعة مرتين كما يأتي:

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

وبهذا، فإن رتبة التفاعل للمادة O_2 تساوى 1

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

$$R = k \left[\right. O_2 \left. \right]^1 \left[\right. NO \left. \right]^2$$

 O_2 أكتب العلاقة بين سرعة استهلاك O_2 و سرعة تكوّن O_2 :

$$-\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t}$$

أرجع إلى التجربة (1) في الجدول، وأعوض عن سرعة تكون NO₂ كما يأتى:

$$-\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \times 7 \times 10^{-2}$$

سرعة استهلاك ٥٠:

$$-\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = 3.5 \times 10^{-2} \,\mathrm{M.s}^{-1}$$

في معادلة التفاعل الافتراضي: نواتج $A + B \rightarrow A$ شُجِّلت البيانات الخاصة بالسرعة الابتدائية لاستهلاك B عند درجة

 $M.s^{-1}$ لسرعة الابتدائية

 1×10^{-3}

 2×10^{-3}

				•
• ન	1 <	* . 1	. 1	
يانى.	حما	محدّدة	اره	حر
**				

- 1. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة A.
- 2. أستنتج رتبة المادة المتفاعلة B.
- 3. أستنتج قانون السرعة لهذا التفاعل.
- 4. أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل k، وأحدد وحدته.

لحلّ:

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

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

أعوّض قِيَم السرعة والتركيز.

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

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

	3		0.2		0.2			1	X 10		
	**	_		• •	(()			**	۶		
٠,	من التجرية	В	متفاعلة	ال	للمادة	V	تىة	الہ	اجد	.2	

0.1

0.1

.A عند ثبات تركيز المادة (3) (1)
$$\frac{1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = \frac{k(0.2)^1 (0.2)^y}{k(0.2)^1 (0.1)^y}$$

0.2

0.4

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

3. أستنتج قانون سرعة التفاعل:

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

4. أحسب ثابت سرعة التفاعل، وأستنتج وحدته:

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

14 11201

 $2ClO_{2(aq)} + 2OH^-_{(aq)} o ClO_2^-_{(aq)} + ClO_3^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ في التفاعل الآتي

ي مرات مع ثبات تركيز $^{\circ}$ $^{\circ}$

لحلّ:

أ . باستخدام العلاقة بين رتبة التفاعل لمادة متفاعلة ومقدار تضاعف تركيز هذه المادة وأثره في سرعة التفاعل عند ثبات تراكيز المواد المتفاعلة الأخرى، أستنتج أن:

 $2 = ClO_2$ رتبة التفاعل بالنسبة إلى المادة

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

لأن مضاعفة تركيز 2 ClO (3 مرات) مع ثبات تركيز $^{-}$ OH أدّت إلى مضاعفة سرعة التفاعل بمقدار 2 (3) مرة. في حين أن مضاعفة تركيز $^{-}$ OH مرتين مع ثبات تركيز 2 ClO أدّت إلى مضاعفة سرعة التفاعل بالمقدار نفسه.

 $R = k[ClO_2]^2[OH^-]^1$. قانو ن سرعة التفاعل

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

مراجعة الدرس

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

2. أوضّح المقصود بالرتبة الكلية للتفاعل.

3. يتفاعل أول أكسيد النيتروجين NO والبروم Br_2 عند درجة حرارة C 273 حسب المعادلة الآتية:

$$2NO_{(g)} + Br_{2(g)} \rightarrow 2NOBr_{(g)}$$

وبقياس سرعة تكون NOBr الابتدائية عند تراكيز ابتدائية مختلفة من NO و Br₂؛ كانت بيانات التفاعل كما يأتي:

رقم التجربة	[NO] M	$[Br_2]M$	$ m M.s^{-1}$ السرعة الابتدائية
1	0.1	0.2	24
2	0.2	0.2	96
3	0.1	0.5	60

أ. أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة NO.

ب. أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلةBr₂.

ج. أ**ستنتج** قانون السرعة لهذا التفاعل.

د. أحسب قيمة ثابت سرعة التفاعل، وأحدد وحدته.

 $80.01~\mathrm{M}$ يساوي Br_2 يساوي NO يساوي تركيز NO عندما تركيز NO عندما تركيز

T + E + D o + C في التفاعل الافتراضي: نواتج

شُجّلت بيانات خمس تجارب لقياس السرعة الابتدائية لاستهلاك T عند درجة حرارة ثابتة كما يأتي:

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

أ. أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة T.

ب. أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة E.

ج. أستنتج رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة D.

د. أستنتج قانون سرعة هذا التفاعل.

ه. أحسب تركيز المادة D في التجربة الأخيرة.

5. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

- $2NO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightarrow N_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$: أدرس العبارتين الآتيتين المُتعلِّقتين بالتفاعل 1
 - وحدة قياس ثابت سرعة التفاعل k هي: ($M^{-2}s^{-1}$).
 - سرعة استهلاك H_2 تزداد مرتين عندما يزداد $[H_2]$ مرتين.
 - بناء على ذلك فإنّ قانون سرعة التفاعل، هو:
- $R = k[NO]^2 [H_2]^2$. $R = k[NO]^2 [H_2]$ $R = k[NO][H_2]^2$. $R = k[NO][H_2]$.

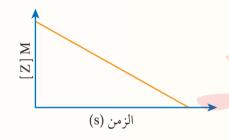
2. في التفاعل الآتي:

الرقم	[CH ₃ CH ₂ Cl]M	[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}

CH₃CH₂Cl + NaOH → CH₃CH₂OH + NaCl قيست السرعة الابتدائية لاستهلاك كلورو إيثان CH₃CH₂Cl لثلاث تجارب عند درجة حرارة ما، وتراكيز ابتدائية مختلفة، وسُجِّلت النتائج كما في الجدول المجاور. إنّ قيمة ثابت سرعة التفاعل تساوى:

$$2 s^{-1}$$
. د $0.02 M^{-1} s^{-1}$

$$2 M^{-1} s^{-1} . \cup 0.2 s^{-1} . \dagger$$



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

$$s^{-1}$$
 . \smile

 $M.s^{-1}$.

$$M^{-2}s^{-1}$$

 $M^{-1}s^{-1}$.

- 4. إذا كانت رتبة التفاعل لإحدى المواد المتفاعلة هي (2)، وازداد تركيز هذه المادة 3 أمثال تركيزها مع بقاء العوامل الأخرى ثابتة، فإن مقدار تضاعف سرعة التفاعل يساوى:
 - 2. 1 د. 9 جـ. 8 **3**.
- 5. في التفاعل الافتراضي: نواتج $\longrightarrow A$ إذا كانت سرعة التفاعل عند درجة حرارة معينة تساوي $A \longrightarrow A$ إذا كانت سرعة التفاعل عند درجة حرارة معينة تساوي $A \longrightarrow A$ وقيمة ثابت السرعة لهذا التفاعل k تساوي $^{-1}$ $^{-1}$ $^{-1}$ فإن تركيز المادة A بوحدة (M) يساوي:
- 9×10^{-1} . 3×10^{-2} . 9×10^{-2} . 10 9×10^{-2} .

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



الفلرةُ الرئيسة:

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

نتاجاتُ التعلّم:

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

المفاهيم والمصطلحات:

نظرية التصادم الفعال Effective Collision التصادم الفعال Activated Complex طاقة التنشيط Activation Energy

نظرية التصادم Collision Theory

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

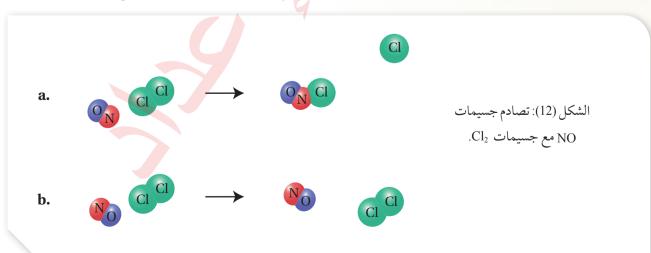
$$NO_{(g)} + Cl_{2(g)} \, \rightarrow \, NOCl_{(g)} + Cl_{(g)}$$

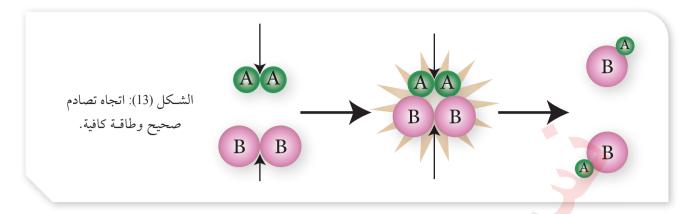
يوضح الشكل (12) طريقتين لتصادم الجسيمات بعضها ببعض، ولكن ليس كل تصادم يـؤدي إلى تكوين نواتـج، بل -فقط- عندما يكون اتجاه تصادم الجسيمات صحيحًا.

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 الكُليّة. يطلق على التصادم الذي يمتلك طاقة كافية ويؤدي إلى حدوث التفاعل وتكوين النواتج التصادم الفعال Effective Collision، ويتطلب هذا أن يكون تصادم الجسيمات المتفاعلة في الاتجاه الصحيح (الاتجاه المناسب)،



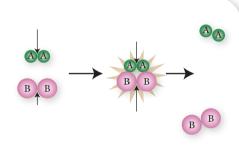


وأن تمتلك الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل. وفي هذه الظروف تتكسر الروابط بين جسيمات المواد المتفاعلة، وتتكون روابط جديدة في المواد الناتجة. فمثلًا: في المعادلة العامة: $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$ يجب أن تتصادم جزيئات $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$ في الاتجاه الصحيح كي يحدث التفاعل، وأن تتوافر الطاقة الكافية، أنظر الشكل (13) الذي يُبيّن تكوّن النواتج A_2 عندما تتصادم ذرّتا A_2 من الجزيء A_3 مع ذرتي A_3 من الجزيء A_3 .

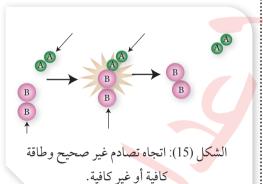
عندما يكون اتجاه تصادم جسيمات المواد المتفاعلة صحيحًا، ولكنها لا تمتلك الطاقة الكافية للتفاعل؛ فإن الجسيمات ترتد بعضها عن بعض عند تصادمها، ولا يحدث التفاعل، ولا تتكون النواتج، أنظر الشكل (14).

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).

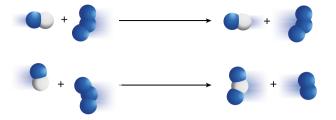
وعند حدوث التصادم الفعال، تتكوّن حالة تسمى المعقّد المنشّط Activated Complex وهي حالة انتقالية غير مستقرة من تجمع الذرات يبدأ فيها تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة ، ولها أعلى طاقة بسمى طاقة المعقّد المنشّط (H_c) ، وسرعان ما يتفكك المعقّد المنشّط مكوّنًا المواد الناتجة أو المتفاعلة مرة أخرى. ويوضح الشكل (16) المعقّد المنشّط المتكوّن من تفاعل الهيدروجين H_c مع اليود H_c .



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



المثال 4 ا



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

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

الحلّ:

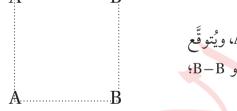
ألاحظ من الاحتمال الأول؛ أنه لم يتغير ترتيب الذرات الناتجة عن المتفاعلة؛ مما يعني أن اتجاه التصادم غير صحيح، في حين أن الاحتمال الثاني يعد اتجاهًا صحيحًا للتصادم الفعال؛ لأنه أدى إلى إعادة ترتيب الذرات في المواد الناتجة كما يتضح من الشكل.

15 Mall

أرسم المعقد المنشّط المتكوّن من التفاعل العام الآتى:

$$2AB \rightarrow A_2 + B_2$$

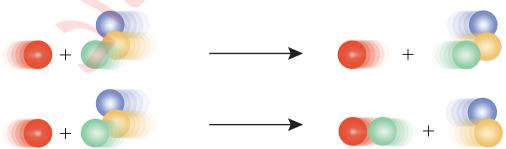


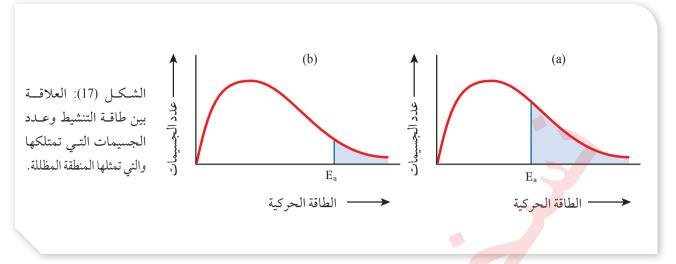


يحدث التصادم بين ذرتي A وذرتي B في الجسيمات A، ويُتوقَّع أن تنكسر كل رابطة B-A، وتتكوّن الرابطة بين A-A و B-B؛ فيكون المعقّد المنشّط كما يأتي:

√ أتحقَّق:

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





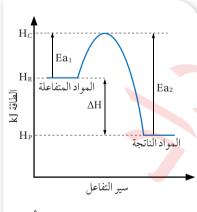
طاقة التنشيط (Ea) Activation Energy

تشترط نظرية التصادم امتلاك الجسيمات المتفاعلة طاقة كافية لحدوث التفاعل، ويُطلَق على هذه الطاقة طاقة التنشيط (Ea) (Ea) هي الحد الأدنى من الطاقة الحركية التي يجب أن تكتسبها الجسيمات المتصادمة وهي الحد الأدنى من الطاقة الحركية التي يجب أن تكتسبها الجسيمات المتصادمة كي تبدأ التفاعل وتكوّن المعقّد المنشّط. وعندما تكون طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل منخفضة؛ فهذا يعني أن هناك عددًا كبيرًا من الجسيمات يمكن أن تمتلك هذه الطاقة وتكوّن المعقّد المنشّط عند تصادمها في الاتجاه الصحيح، يتضح من الشكل (b) أن طاقة التنشيط في الشكل (a) أقل منها في الشكل (d) وبالتالي فإن عدد الجسيمات التي تمتلك هذه الطاقة أكبر فتكون سرعة التفاعل في الشكل (b) أكبر، ويزداد احتمال تكوّن النواتج، أما في الشكل (b) فألاحظ أن طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل عالية؛ وهذا يعني أن عددًا قليلًا من الجسيمات يمكن أن يمتلك طاقة كافية لتكوين المعقّد المنشّط؛ فتكون سرعة التفاعل أبطأ.

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

$$CO_{(g)} + NO_{2(g)} \quad {\color{red}\longleftarrow} \quad CO_{2(g)} + NO_{(g)}$$

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



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

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

التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل = طاقة المواد الناتجة – طاقة المواد المتفاعلة $\Delta H = H_P - H_R$

وتسمى التفاعلات التي تفقد طاقة حرارية: التفاعلات الطاردة للطاقة الحرارية. كما يتضح من الشكل (18) أن المواد المتفاعلة تكتسب الطاقة عند تصادمها لتكوين المعقّد المنشّط، وتسمى هذه الطاقة: طاقة تنشيط التفاعل الأمامي Ea_1 وفي هذه الحالة تتصادم جزيئات CO و CO، بالاتجاه الصحيح، ومع وجود كمية كافية من الطاقة يبدأ تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة، ومن ثمّ يتكوّن المعقّد المنشّط، ثمّ تتكوّن المواد الناتجة.

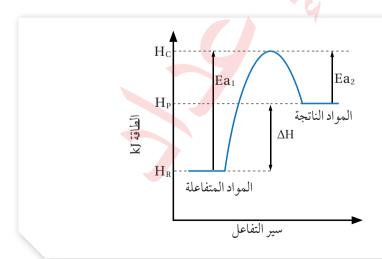
يسمى فرق الطاقة بين طاقة المواد الناتجة وطاقة المعقّد المنشّط H_C : طاقة تنشيط التفاعل العكسى Ea_2 ، وهي أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي.

وأيضًا يمكن التعبير عن التغيّر في المحتوى الحراري بدلالة الفرق بين طاقة تنشيط التفاعل العكسي Ea₂، حيث:

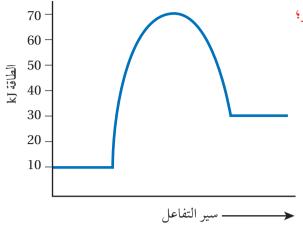
التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل= طاقة تنشيط التفاعل الأمامي – طاقة تنشيط التفاعل العكسي $\Delta H = Ea_1 - Ea_2$

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

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



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



أدرس منحنى تغير الطاقة للتفاعل الماصّ للطاقة المجاور؛ ثمّ أجد قيمة كلِّ مما يأتي (بوحدة kJ):

- 1. طاقة المواد المتفاعلة.
 - 2. طاقة المواد الناتجة.
- 3. طاقة المعقد المنشط.
- 4. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.
 - 5. طاقة تنشيط التفاعل العكسى.
- 6. التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل ΔH

الحلّ:

- 10 kJ .1
- 30 kJ .2
- 70 kJ .3
- 4. لحساب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي، أحسب الفرق بين طاقة المعقد المنشط وطاقة المواد المتفاعلة:
 طاقة تنشيط التفاعل الأمامي = طاقة المعقد المنشط طاقة المواد المتفاعلة

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

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

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

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

 $\Delta H = H_P - H_R$

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

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

 $\Delta H = Ea_1 - Ea_2$

 $\Delta H = 60 - 40$

= +20 kJ

في تفاعل ما، كانت طاقة المواد المتفاعلة 25 kJ، وكان التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل 45 kJ+، وطاقة تنشيط التفاعل العكسى 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 ماص للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

تحليل السؤال: (المعطيات)

 $H_R = 25 \text{ kJ}$

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

 $Ea_2 = 55 \text{ kJ}$

المطلوب:

الحلّ:

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

 $\Delta H = H_{\text{P}} - H_{\text{R}}$

 $+45 = H_P - 25$

 $H_{\text{\tiny P}} = 70 \; kJ$

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

 $Ea_2 = H_C - H_P$

 $55 = H_C - 70$

 $H_{\rm C} = 125 \, {\rm kJ}$

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

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

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

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

- 1. طاقة المواد المتفاعلة.
- 2. طاقة تنشيط التفاعل العكسي.
- 3. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

Factors Affecting Rate of Chemical Reaction

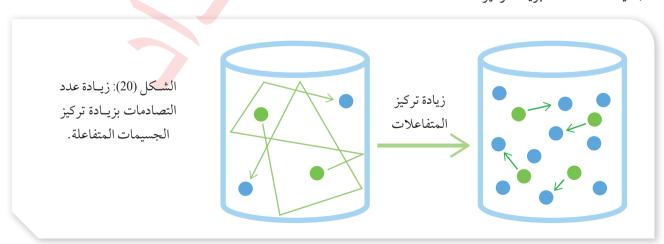
تتأثر سرعة التفاعل الكيميائي بمجموعة من العوامل التي يمكن التحكم بها لزيادة سرعة التفاعل أو إبطائها، فما هذه العوامل؟ وما أثرها في سرعة التفاعل؟

طبيعة المواد المتفاعلة The Nature of Reactants

تتفاعل بعض المواد أسرع من غيرها في الظروف نفسها تبعًا لطبيعتها ونشاطها الكيميائي، فمثلًا: الصوديوم أسرع تفاعلًا مع الماء مقارنة بالمغنيسيوم؛ لأن الصوديوم أكثر نشاطًا كيميائيًّا من المغنيسيوم، وأيضًا تفاعل المغنيسيوم مع محلول نترات الفضة أسرع من تفاعل النحاس؛ لأن المغنيسيوم أنشط كيميائيًّا من النحاس، وكذلك تفاعل محلول يوديد البوتاسيوم مع محلول نترات الفضة أسرع من تفاعل مسحوقه مع مسحوق نترات الفضة، وسرعة ظهور اللون الأصفر الناتج عن ترسيب يوديد الفضة AgI أكبر؛ لأن عدد التصادمات بين الأيونات حرّة الحركة في المحلول أكبر؛ فيزداد عدد التصادمات الفعالة، ومن ثمّ تكون سرعة التفاعل أكبر.

تركيز المواد المتفاعلة Concentration of Reactants

تؤدي زيادة تركيز المواد المتفاعلة إلى زيادة عدد الجسيمات في وحدة الحجم، في زداد عدد التصادمات الفعّالة بينها، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل. فمثلًا: تفاعل كتلة محددة من الخارصين Zn مع 20 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl، تركيزه 1M، يؤدي إلى انطلاق كمية من غاز الهيدروجين H_2 من التفاعل أكبر منها عند تفاعل كتلة الخارصين Zn نفسها مع 20 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl، تركيزه H_2 0 في الفترة الزمنية نفسها. وسرعة تفاعل المواد مع الأكسجين النقي H_2 1 أكبر من سرعة تفاعلها مع الهواء؛ لأن تركيز الأكسجين النقي أكبر من تركيزه في الهواء. أنظر الشكل (20) الذي يُبيّن زيادة عدد تصادمات المجسيمات المتفاعلة بزيادة تركيزها.



مساحة سطح المواد المتفاعلة Surface Area of Reactant

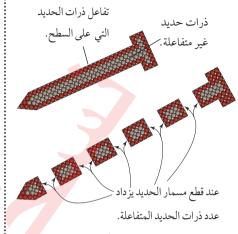
تؤدي زيادة مساحة سطح المواد الصُّلبة المُعرَّضة للتفاعل إلى زيادة عدد التصادمات الفعّالة؛ فتز داد سرعة التفاعل.

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

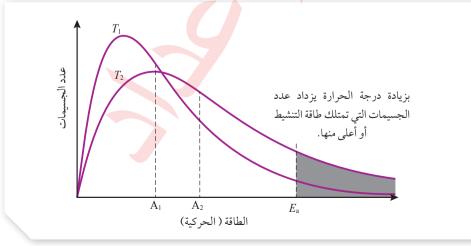
فمثلًا: تحترق نشارة الخشب بسرعة أكبر من احتراق قطعة الخشب ذات الكتلة نفسها، كما أن تفاعل برادة الحديد مع حمض الهيدر وكلوريك أسرع من تفاعل قطعة الحديد التي لها الكتلة نفسها.

درجة الحرارة Temperature

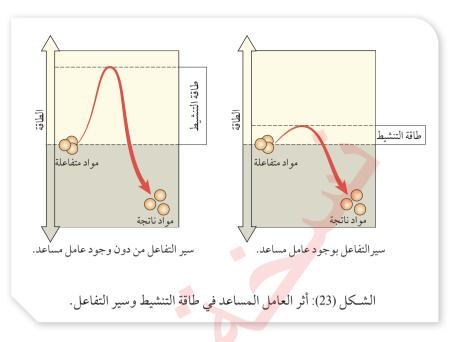
تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى رفع الطاقة الحركية لجسيمات المواد المتفاعلة، ومن ثمّ يزداد عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة تساوي طاقة التنشيط أو أعلى منها؛ فيزداد عدد التصادمات الفعّالة فتزداد سرعة التفاعل. ويمكن توضيح ذلك من الشكل (22) الذي يُبيّن توزيع الطاقة الحركية على الجسيمات عند درجتي حرارة T_2 و T_3 و T_4 و T_5 و T_6 و و T_6 و و المساحة تحت كل منحنى عدد الجسيمات عند درجة حرارة معينة، وبزيادة درجة الحرارة فإن متوسط الطاقة الحركية T_6 و المحسيمات عند درجة الحرارة T_6 أعلى من متوسط الطاقة الحركية المناعل و يكون عدد الجسيمات عند درجة حرارة T_6 أكثر من عددها عند درجة الحرارة T_7 و فتزداد سرعة اصطدام بعضها ببعض، ويزداد بذلك عدد التصادمات الفعّالة؛ مما يؤدى 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 .



العامل المساعد (الحفاز) Catalyst

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

أما الشكل (24)، فيوضّح تفاعلًا كيميائيًّا طاردًا للطاقة الحرارية، إذ يُمثّل الخط الخط المتصل مسار التفاعل من دون وجود عامل مساعد، في حين يُمثّل الخط المتقطع مسار التفاعل بوجود عامل مساعد، وألاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل بوجود العامل المساعد 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:

طاقة المعقّد المنشّط من دون عامل مساعد. $H_{\rm C}$

طاقة المعقّد المنشّط بو جو د عامل مساعد. H_c^*

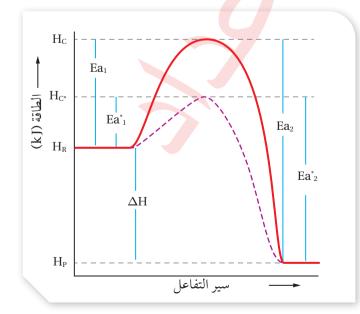
Ea₁ طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد. Ea_1^* طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد. Ea_2 طاقة تنشيط التفاعل العكسي من دون عامل مساعد. Ea_2^* طاقة تنشيط التفاعل العكسي بوجود عامل مساعد. Ea_2^* للتغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل.

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

الربط بالهندسة

تتفاعل مكونات الخلطة الإسمنتية (الخرسانة) وتتصلّب بسرعة صيفًا؛ 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 بنسب محددة إلى الخلطة لزيادة سرعة تصلبها أو إبطائها؛ ضمن فترة زمنية محددة تبعًا لمواصفات قياسية. وبهذا يضاف كلوريد الكالسيوم إلى الخلطة لزيادة سرعة تصلبها في فصل الشتاء، في حين يضاف الجبس إلى الخلطة لإبطاء سرعة تصلّبها في فصل الصيف.

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

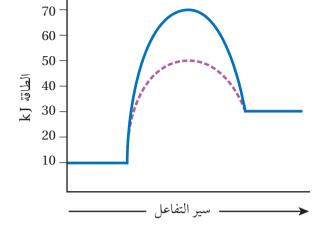


Ilâll 81

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

أستنتج من الشكل، (بوحدة kJ):

- H_R طاقة المواد المتفاعلة H_R
 - 2. طاقة المواد الناتجة H_P
- Ea_1 عامل مساعد الأمامي من دون عامل مساعد .3
 - $\mathbf{H_{c}}^{*}$ طاقة المعقّد المنشّط بوجود العامل المساعد $\mathbf{4}$
- \mathbf{Ea}^*_1 طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد .5
- 6. طاقة تنشيط التفاعل العكسى من دون عامل مساعد Ea2
- Ea^*_2 طاقة تنشيط التفاعل العكسى بوجود عامل مساعد .7
 - ΔH التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل 8.



الحلّ:

- $H_{\text{R}} = 10 \, \text{kJ} \cdot .1$
- $H_P = 30 \, kJ .2$
- 3. أحسب طاقة تنشيط التفاعل الأمامي من دون عامل مساعد، وذلك بطرح طاقة المواد المتفاعلة من طاقة المعقّد المنشّط من دون عامل مساعد:

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

- 4. طاقة المعقّد المنشّط بوجود العامل المساعد = 50 kJ
- 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 المعقّد المنشّط من دون عامل مساعد:

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

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

$$Ea^{*}_{2} = H_{C^{*}} - H_{P} \ = \ 50 - 30 = 20 \ kJ$$

8. أحسب التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل، وذلك بإيجاد الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة والمواد الناتجة: $\Delta H = H_P - H_R = 30 - 10 = +20 \, \mathrm{kJ}$

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

- .Ea $_2$ طاقة التنشيط للتفاعل العكسى من دون عامل مساعد -1
- 2- طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد Ea*1.
- H_{C} عاقة المعقّد المنشّط للتفاعل من دون عامل مساعد 3
 - 4- طاقة المواد الناتجة H_P.

الحلّ:

- $Ea_2 = 150 \, kJ 1$
- $Ea^*_1 = 10 \text{ kJ} -2$
- $H_C = 180 \text{ kJ} -3$
- $Hp = 30 \, kJ 4$

التفاعلات في الخلايا، إذ تخفّض طاقة التنشيط للتفاعل، ويعود ذلك إلى أن كثيرًا من التفاعلات في أجسام الكائنات الحية لا تحدث بالسرعة الكافية للمحافظة على الحياة إلا بوجود الأنزيمات. فمثلا: أنزيم السكريز يحفز التحلل المائي لمحلول سكر السكروز لتكوين

سكريات الفركتوز والجلوكوز؟

لإمداد الجسم بالطاقة اللازمة

للقيام بالأعمال الحيوية.

١/ الربط بعلم الأحياء

وهب الله تعالى بعض الخلايا

في أجسامنا القدرة على إنتاج

الأنزيمات؛ فبعضها يعمل بوصفه

عوامل مساعدة في تسريع حدوث

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

- 1. طاقة تنشيط التفاعل العكسى من دون عامل مساعد.
- 2. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود العامل المساعد.
 - 3. التغيّر في المحتوى الحراري.
 - 4. هل التفاعل ماص للطاقة الحرارية أم طارد لها؟

النجيبة 2

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

المواد والأدوات:

محلولا حمض HCl، تركيز أحدهما 0.1M وتركيز الآخر 1 M ، حبّتان لهما الحجم نفسه من فلزّ الخارصين 2n ، محلول نشا، محلول اليود 1_2 ، ثاني أكسيد المنغنيز 1_2 ، 1_3 ، محلول فوق أكسيد الهيدروجين 1_2 ، حمام مائي ساخن (درجة 1_3)، مخبار مدرّج، كأس زجاجية عدد 1_3 سعة 1_3 ، ملعقة تحريك.

إرشادات السلامة:

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

خطوات العمل:

- 1- أقيس 15 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl، تركيزه 1M باستخدام المخبار المدرج، وأضعها في الكأس الزجاجية. وأكرر العملية مع محلول HCl تركيزه M 0.1 في كأس زجاجية أخرى.
 - 2- أضع حبّة من فلزّ الخارصين في كلّ من الكأسين الزجاجيتين في الوقت نفسه، وأسجل ملاحظاتي.
 - 3- أقيس: أحضر كأسين زجاجيتين، وأضع في كل منهما 10 mL من محلول النشا.
- 4- أضع إحدى الكأسين في الحمام المائي الساخن، والكأس الأخرى في الحمام المائي البارد، وأتركهما مدة min 5.
 - 5- أضيف إلى كل من الكأسين mL من محلول اليود I_2 ، وأحرك بحذر، وأسجل ملاحظاتي.
- 6- أقيس $20 \, \text{mL}$ من محلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، وأضعها في كأس زجاجية، وأراقب المحلول بضع ثوان، ثم أضيف إلى المحلول في الكأس ملعقة صغيرة من ثاني أكسيد المنغنيز MnO_2 . أسجل ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج

- 1- أصف أثر تغير تركيز حمض HCl في سرعة تصاعد غاز الهيدروجين.
- 2- أقارن بين سرعة تغيّر اللون في محلول النشا في الكأسين البارد والساخن بعد إضافة محلول اليود.
- H_2O_2 التغيّر الحاصل بعد إضافة ثاني أكسيد المنغنيز MnO_2 إلى محلول فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 .
 - 4- أكتب معادلة تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، بوجود العامل المساعد.

مرلجمة الدرس

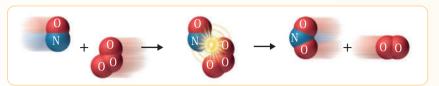
- 1- الفكرة الرئيسة: أوضّح كيف تفسر نظرية التصادم حدوث التفاعل الكيميائي.
 - 2- أوضّح المقصود بكل من: المعقّد المنشّط، طاقة التنشيط للتفاعل.
 - 3- أفسّر أثر كل مما يأتي في سرعة التفاعل الكيميائي:
 - تركيز المواد المتفاعلة، درجة الحرارة، مساحة سطح المواد المتفاعلة.
 - 4- أستنتج من البيانات الواردة في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

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

- أ. قيمة طاقة المواد المتفاعلة.
- ب. قيمة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي بوجود عامل مساعد.
- جـ. قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي من دون عامل مساعد.
 - د. قيمة طاقة المعقّد المنشّط للتفاعل من دون عامل مساعد.
 - هـ. هل التفاعل ماصّ للطاقة الحرارية أم طارد لها؟ 🤪
 - و. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي بوجود عامل مساعد.
- 5. ما تأثير العامل المساعد في كل من: طاقة المواد المتفاعلة، طاقة تنشيط التفاعل العكسي، طاقة المعقّد المنشّط،
 التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل، زمن حدوث التفاعل.
- 6. في التفاعل الافتراضي: $A + B \rightarrow C + D + 80 \, kJ$ وطاقة التنشيط للتفاعل الأمامي 55 k وطاقة الموادّ الناتجة b الأمامي 15 b ممّا يأتي بوحدة b ممّا يأتي بوحدة (b):
 - أ. طاقة التنشيط للتفاعل العكسي.
 - ب. طاقة المعقد المنشط.

7. أختار 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:

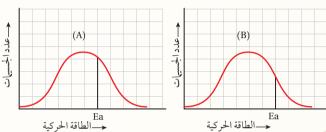
$$2NO + O_3 \rightarrow N_2O_5 \ . \smile$$

$$O_2 + NO_2 \rightarrow NO + 2O_2$$
 .

$$O_3 + NO_2 \rightarrow NO + 2O_2$$
 . .

$$O_2 + 2NO_2 \rightarrow 2NO_3$$
.

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$
 .



2. يبيّن الشكل المجاور طاقة التنشيط وعدد الجسيمات التي تمتلكها لتفاعلين افتر اضيين لهما الرمزان الافتراضيان (B ، A). فإن إحدى العبارات الآتية صحيحة:

- أ . سرعة التفاعل A أقل من سرعة التفاعل B.
- ب. عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة كافية لتكوين المعقّد المنشّط في التفاعل B أكبر منها في التفاعل A.
 - ج. طاقة التنشيط للتفاعل A أكبر من طاقة التنشيط للتفاعل B.
 - د . الفرق بين طاقة المواد المتفاعلة وطاقة المعقّد المنشّط للتفاعل A أقل منه في التفاعل B.
- 3. في تفاعل لقطعة من الصوديوم Na وقطعه من الألمنيوم Al لهما الكتلة نفسها مع حمض الهيدروكلوريك HCl المُخفُّف، 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. طبعة المادة.

د . درجة الحرارة.

جـ. تركيز المادة.

- 4. تؤدّى إضافة العامل المساعد للتفاعل الكيميائي إلى انخفاض:
- أ. قيمة التغيّر في المحتوى الحراري ΔH . ب. طاقة وضع المواد المتفاعلة.

د. طاقة وضع المواد الناتجة.

ج. طاقة التنشيط للتفاعل.

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

طاقة تنشيط التفاعل الأمامي KJ ، وطاقة المعقّد المنشّط 140 kJ ، فإن قيمة طاقة المواد الناتجة kJ تساوى:

ب. 80

رًا . 70

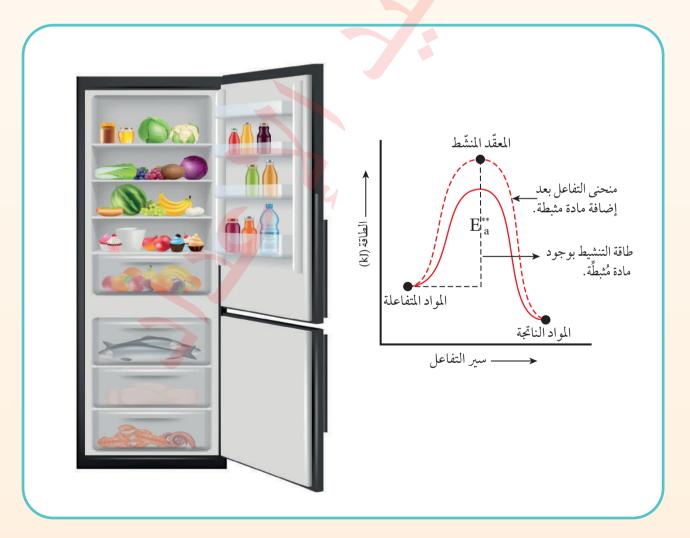
د . 120

ح. 90

الإثراءُ والتوسُّعُ

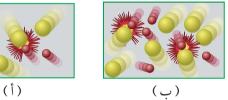
تقليل تلف الأطعمة

تزداد سرعة التفاعل بزيادة درجة الحرارة؛ فعند إعداد الطعام نزيد درجة الحرارة لإنضاجه. ولكن ترك الأطعمة في درجة حرارة الغرفة مدّة طويلة يؤدي إلى تلفها؛ بسبب حدوث تفاعلات كيميائية، فالتفاعلات الكيميائية التي تسبب تلف الأطعمة تكون أسرع كثيرًا عند درجة حرارة الغرفة منها عند وضع الأطعمة في الثلاجة. وبهذا تكون المحافظة على الأطعمة من التلف بحفظها في الثلاجة لضبط التفاعلات التي تحدث وتسبب تلفها. وكذلك بإضافة المواد الحافظة، ففي الصناعات الغذائية بوجه عام تُستخدم طرائق مختلفة لحفظ الأطعمة، منها التجميد والتجفيف، أيضًا تُستخدم مواد تسمى المُثبًطات Inhibitors، وهي مواد تقلل من سرعة التفاعل عن طريق زيادة طاقة التنشيط، ومن أمثلتها: المواد الحافظة، وهي مواد مضادة للأكسدة؛ لأن الأكسدة تسبب تلف الأطعمة ولاسيما تلك التي تحتوي على الدهون مثل الأجبان. واستعمال المواد الحافظة آمن في المنتجات الغذائية، وتزيد من مدة صلاحية الغذاء، ومن أنواع المواد الحافظة: مضادات البكتيريا، وهي مركّبات كيميائية لها رموز وأرقام، مثل المركّب صلاحية الغذاء، ومن أنواع المواد الحافظة : مضادات البكتيريا، وهي مركّبات كيميائية لها رموز وأرقام، مثل المركّب حديد الغذائية، ويديد من مدة الغذائية، وكسيد الكبريت SO₂ في تركيبه الأساسي ويُستخدَم في حفظ الفواكه.



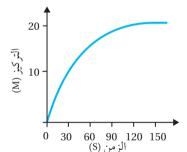
مراجعة الوحدة

- 1. أوضّح المقصود بكل من: الرتبة الكلية للتفاعل، سرعة التفاعل الكيميائي.
 - 2. أفسّر ما يأتى:
 - 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.
 - $A_{(g)} + 2B_{(g)} \rightarrow 3C_{(g)}$.4 في التفاعل الافتراضي الآتي: $C_{(g)} = 0.12~{\rm M.s}^{-1}$ ليسب سرعة تكوين $C_{(g)} = 0.12~{\rm M.s}^{-1}$



يُمثّل الشكلان (أ) و (ب) تفاعلًا ما في ظرفين مختلفين.
 أستنتج أي الشكلين يُمثّل التفاعل الأسرع، وأحدد العامل المؤثر في سرعة هذا التفاعل.

- 6. يُمثّل الرسم البياني العلاقة بين الزمن وتركيز مادة في تفاعل كيميائي.
 - أ. أحدّد الزمن اللازم لإتمام التفاعل.
 - ب. أحسب سرعة التفاعل في المدة الزمنية (s) -00).
 - ج. أستنتج هل المادة متفاعلة أم ناتجة.



التركيز (M)

2

الزمن 8

0

2

5

A+B o 1. أستنتج قانون سرعة التفاعل من المعلومات الواردة في الجدول الآتي للتفاعل: نواتج

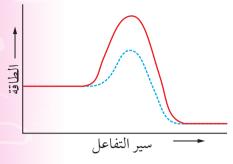
التجربة	[A] M	[B] M	${\sf M.s}^{-1}$ السرعة الابتدائية
1	0.01	0.02	0.1
2	0.02	0.02	0.4
3	0.01	0.04	0.2



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



مراجعة الوحدة



[A] M

9. يُمثّل الشكل الآتي سير تفاعل بوجود عامل مساعد، ومن دون عامل مساعد، أحدّد على الشكل كلّا من:

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

10. جمعت البيانات الافتراضية الآتية للتفاعل: X + Y → XY ، إذا علمت أنّ العلاقة بين سرعة تفاعل المادة X وتركيزها علاقة

[X] M السرعة الابتدائية M/s التحرية [Y] M 0.1 0.1 0.1 0.2 0.1 0.4 3 0.2 0.2 W

[B] M

خطّ مستقيم متزايد، فأجيب عن الأسئلة الآتية: أ. أكتب قانون سرعة التفاعل.

ب. أجد قيمة (k) ووحدته.

ج. أحسب قيمة السرعة الابتدائية W في التجربة 3.

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

أ . أكتب قانون سرعة التفاعل.

ب. أجد قيمة (k)، ووحدته.

12. أختار رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

السرعة الابتدائية لإنتاج M/s D 0.04 0.03 0.04 0.03 0.08 0.08 0.03 0.24 0.03 0.12 3 0.08 0.04 0.08 0.04 0.06 0.12

[C] M

 1 . في التفاعل الافتر اضي: 2 2 2 2 2 إذا كانت رتبة التفاعل للمادة 2 3 وثابث السرعة 2 2 فإن رتبة التفاعل للمادة B تساوى:

> جـ. 2 د. 3

ب. يقلل من طاقة المعقد المنشط.

1. ي أ . صفرًا.

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

أ . يزيد من طاقة التنشيط للتفاعل.

د. يزيد من طاقة النواتج. ج. يقلل المحتوى الحراري للتفاعل.

3. عند زيادة مساحة سطح المادة المتفاعلة المُعرَّض للتفاعل عند الظروف نفسها، فإن العبارة الصحيحة: أ. تقلُّ سرعة التفاعل. ب) يزداد التركيز. ج. تزداد عدد التصادمات الفعَّالة. د. تقلُّ درجة الحرارة.

4. إذا كانت طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي KJ و70 لا التغيّر في المحتوى الحراري 50 kJ - ؛ فإن طاقة التنشيط للتفاعل العكسي تساوى بوحدة [k]:

> د. 120 ج. 70

د . تقليل متوسط الطاقة الحركية.

ب. تقليل سرعة التفاعل.

ب. 50

5. تؤدى زيادة درجة حرارة التفاعل إلى:

أ . زيادة طاقة التنشيط.

ج. زيادة عدد التصادمات الفعّالة.

49

مراجعة الوحدة

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

$$R = k [A]^2$$
 . د

$$R = k [A]^{2} [B]^{1}$$
 ...

$$R = k [B]^2 . I$$

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 تساوى:

أ. درجة الحرارة.

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

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

ب. طبيعة المتفاعلات. جـ. التركيز.

* في تجربة ما، تمّ الحصول على البيانات الآتية عند درجة حرارة مُعيّنة لتفاعل مادتين A و B وسُجّلت في الجدول المجاور. أتأمل الجدول ثمّ أجيب عن الفقرتين (9، 10) الآتيين:

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

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

$$0.01 = [B]$$
، $0.08 = [A]$. \cup

$$0.07 = [B]$$
, $0.03 = [A]$.

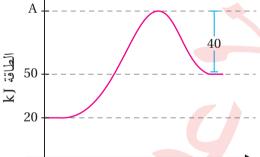
$$0.08 = [B]$$
, $0.09 = [A]$.

$$0.02 = [B]$$
, $0.04 = [A]$.

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

ما قيمة كلّ مما يأتي:





سير تفاعل ما

- أ. طاقة المعقّد المنشّط.
- ب. التغيّر في المحتوى الحراري.
- ج. طاقة تنشيط التفاعل الأمامي.
- د. إذا أضيف عامل مساعد كتلته g 3، وانخفضت طاقة المعقد المنشّط بمقدار 10 kJ، فما قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بعد إضافة العامل المساعد؟
 - ه. ما كتلة العامل المساعد بعد انتهاء التفاعل؟

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

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

الوحدة

6

Electrochemistry



أَتَأُمُّلُ الصورة

طوَّرت وكالة ناسا الفضائيّة وقودًا صُلبًا مكوَّنًا من فوق كلورات الأمونيوم NH_4ClO_4 ومسحوق الألمنيوم $AlCl_3$ و الألمنيوم $AlCl_3$ وكلوريد الألمنيوم $AlCl_3$ وكلوريد الألمنيوم $AlCl_3$ وكلوريد الألمنيوم $AlCl_3$ ويصل التفاعل إلى درجة حرارة C0 (276) فتتمدَّد الغازات بسرعة، فيؤدي ذلك إلى دفع الصاروخ وانطلاقه من مِنصّة الإطلاق بفضل تفاعلات التأكسد والاختزال. فما المقصود بتفاعلات التأكسد والاختزال؟ وما التطبيقات العمليّة المرتبطة بها؟



تفاعل بعض الفلزّات مع حمض الهيدروكلوريك HCl

الموادّ والأدوات: شريط مغنيسيوم طوله cm 6 حبيبات الخارصين Zn، حبيبات الألمنيوم Al، سلك نحاس Cu، محلول حمض الهيدروكلوريك HCl، تركيزه (M)، أنابيب اختبار عدد (4)، حامل أنابيب الاختبار، مخبار مُدَرَّج، ورق صنفرة. إرشادات السلامة:

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

خطوات العمل:

- 1 أُحضر 4 أنابيب اختبار نظيفة وجافة، وأرقِّمُها من (1-4)، وأضعها على حامل الأنابيب.
- 2 أقيس. أضعُ باستخدام المخبار المُدَرَّج 10 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl في كل أنبوب.
- 3 أُلاحظ. أُنظِّفُ شريط المغنيسيوم جيدًا باستخدام ورق الصنفرة، ثم أضعه في أنبوب الاختبار رقم (1) وأرجُّه بلطف. هل حدث تفاعل؟ ما الدليل على حدوثه؟ أُسَجِّلُ ملاحظاتي في جدول البيانات.
- 4 أُجَرِّب. أُكَرِّرُ الخطوات السابقة باستخدام حبيبات الخارصين وحبيبات الألمنيوم وسلك النحاس. هل حدث تفاعل؟ هل تختلف الفلزات في نشاطها في التفاعل مع الحمض؟ أُسَجِّلُ ملاحظاتي في جدول البيانات.
- أَنْظِّمُ البيانات. أُسَجِّلُ ملاحظاتي حول تفاعل الفلزّات المستخدمة مع حمض HCl في الجدول الآتي: جدول السانات:

التحليل والاستنتاج:

- 1- أُحَدِّدُ الفلزات التي تفاعلت مع حمض الهيدروكلوريك . HCl
- 2- أُرْتِّبُ الفلزَّات حسب نشاطها في تفاعلها مع الحمض.
- 3- أكتبُ معادلات كيميائيّة موزونة للفلزّات التي تفاعلت مع الحمض.
- 4- أُحَدِّدُ التغيُّرُ الذي طرأ على شحنة كل فلزَّ في التفاعلات السابقة. ما نوع التفاعل؟

النشاط	تصاعد غاز _. H	حدوث تفاعل	الفلزّ
أنشط، أقل نشاطًا، لم يتفاعل	نعم، لا	نعم، لا	
			Mg



مفهوم التأكسد والاختزال Oxidation and Reduction Concept

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

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

 $2Fe_2O_{3(s)} + 3C_{(s)} {\:\rightarrow\:} 3CO_{2(g)} + 4Fe_{(s)}$

يوضِّح التفاعل الآتي:

فالتأكسد حدث للكربون لأنه ارتبط بالأكسجين، أمّا الاختزالُ فقد حدث عند نزع الأكسجين من أُكسيد الحديد III. أنظرُ الشكل (1) الذي يبيّنُ الحديد الناتج عن عملية الاختزال.



الفكرةُ الرئيسة:

تفاعلا التأكسد والاختزال متلازمان؟ إذ تُحَدَّدُ المادَّةُ التي تأكسدت والمادَّةُ التي اختُرلت عن طريق التغيُّر في أعداد التأكسد، ويمكن موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل.

لتعلُّم: التعلُّم:

- أُوضّح مفاهيم التأكسد والاختزال، وعدد التأكسد، والعامل المؤكسد، والعامل المختزل، والتأكسد والاختزال الذاتي.

- أُحدّد عدد التأكسد لذرات العناصر في المواد المختلفة.

- أُوازن معادلات التأكسـد والاختـزال بطريقـة نصـف التفاعـل.

المفاهية والمصطلحات:

الكيمياء الكهربائية Electrochemistry التأكسد Oxidation Reduction

تفاعل التأكسد والاختزال Redox Reaction معدد التأكسد Oxidation Number

Oxidising Agent العامل المؤكسد

Reducing Agent العامل المختزل

التأكسد والاختزال الذاتي

Autoxidation-Reduction Reaction

الشكل (1): الحديد الناتج عن عملية الاختزال.

ومع مرور الوقت، تطوّر مفهوم التأكسد والاختزال ليشمل تفاعلاتٍ أخرى لا تتضمَّن التفاعل مع الأكسجين، فعُرّف التأكسد Oxidation بأنه فَقْدُ المادة للإلكترونات خلال التفاعل الكيميائي، أمّا الاختزال Reduction فهو كسبُ المادة للإلكترونات خلال التفاعل الكيميائي. وَتُعَدُّ عمليتا التأكسد والاختزال متلازمتين؛ تحدث إحداهما مع حدوث الأخرى، ويسمّى التفاعل الذي تحدث فيه عمليتا التأكسد والاختزال معًا تفاعل تأكسد واختزال Redox Reaction.

فمثلًا: يتفاعل الكالسيوم مع غاز الكلور حسب المعادلة:

$$Ca_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow CaCl_{2(s)}$$

يلاحظ أنَّ كلَّا من الكالسيوم والكلور في المواد المتفاعلة مُتَعادِلا الشحنة، وأنَّ مركَّبَ كلوريد الكالسيوم الناتج $CaCl_2$ مركَّبُ أيوني تكوَّن من اتحاد أيون الكالسيوم الموجب Ca^{+2} وأيوني الكلوريد السالبين Ca^{-1} حيث تكون أيون الكالسيوم نتيجة تأكسد ذرّة الكالسيوم بفقد إلكترونين واختزال ذرتي الكلور في جزيء الكلور Cl_2 بحيث تكسب كلُّ ذرّة منه إلكترونيا واحدًا. ولتوضيح ذلك؛ يمكن كتابة معادلة التفاعل السابقة على شكل نصفي تفاعل، حيث يوضِّح نصف التفاعل المفاعل عمليّة التأكسد، أو اكتسابها خلال عمليّة الاختزال كما يأتي:

$$Ca \rightarrow Ca^{2+} + 2e^{-}$$
نصف تفاعل/ تأکسد:

$$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$$
 نصف تفاعل/ اختزال:

ألاحظ أنَّ عدد الإلكترونات المفقودة خلال عمليَّة التأكسد يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة خلال عمليَّة الاختزال.

√ أتحقَّق:

-1 أُحَدِّدُ الذرّات التي تأكسدت أو -1 اختُرلت في التفاعلات الآتية: $2K_{(s)} + Br_{2(l)} \rightarrow 2KBr_{(s)}$ $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$

2- أكتبُ نصفَ تفاعل التأكسد ونصفَ تفاعل الآتي: تفاعل الاختزال للتفاعل الآتي $2H^+_{(aq)} + Zn_{(s)} \to Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$

يتفاعل الحديد مع محلول كبريتات النحاس II حسب المعادلة:

 $Fe_{(s)} \,+\, CuSO_{4(aq)} \,\rightarrow\, Cu_{(s)} \,+\, FeSO_{4(aq)}$

أُحَدِّدُ الذرة أو الأيون الذي تأكسد أو اختُزل في التفاعل، وأكتبُ أنصافَ تفاعلات التأكسد والاختزال.

الحل:

أكتبُ معادلة أيونيّة تمثّلُ التفاعل:

$$Fe_{(s)}+Cu^{^{2+}}{}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)}+Fe^{^{2+}}{}_{(aq)}$$

ألاحظ أن ذرة الحديد المتعادلة تأكسدت بفقد إلكترونين متحولة لأيون الحديد الموجب ${\rm Fe}^{2+}$ حسب المعادلة:

$$Fe_{(s)}
ightarrow Fe^{^{2+}}{}_{(aq)} \ + \ 2e^{^{-}}$$
 نصف تفاعل التأكسد:

وأمّا أيون النحاس +Cu2 فقد اختُزل بكسب إلكترونين مُتحوِّلًا لذرة النحاس المتعادلة، كما في المعادلة الآتية:

$$Cu^{^{2+}}{}_{(aq)} \, + \, 2e^- \,
ightarrow \, Cu_{(s)}$$
 نصف تفاعل الاختزال:

عدد التأكسد Oxidation Number

لا تقتصر تفاعلات التأكسد والاختزال على تكوين مركَّبات أيونيَّة فقط؛ بل تتضمَّن أيضًا تكوين مركَّبات جزيئيَّة ترتبط ذرّاتُ عناصرها بروابط تساهميَّة؛ إذ لا تحدث فيها عمليَّة فقدٍ وكسب للإلكترونات بشكل كُلِّي.

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

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

الرابطة بين ذرَّتي الهيدروجين رابطةٌ تساهميَّة غير قطبيَّة، وكذلك الرابطة بين ذرَّتي الكلور ذرَّتي الكلور، أمّا بالنسبة إلى كلوريد الهيدروجين فإنَّ الرابطة بين ذرَّتي الكلور والهيدروجين رابطةٌ تساهميَّة قطبيَّة، ولأنَّ السالبيَّة الكهربائيَّة للكلور أعلى من الهيدروجين يكون زوجُ الإلكترونات الرابطة بين الذرَّتين مُزاحًا باتجاه ذرّة الكلور دون أن يحدث له انتقال كُلِّي، فتظهر على ذرّة الهيدروجين شحنة جزئيَّة مالية، كما يوضِّح الشكل (2).

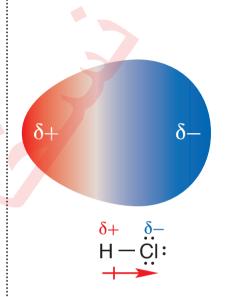
وبناء على ذلك وضع العلماء مفهومًا جديدًا للتأكسد والاختزال يشمل التفاعلاتِ التي لا يحدث فيها انتقالٌ كُلِّي للإلكتر ونات بين الذرّات، يمكن من خلاله تفسيرُ تفاعلات التأكسد والاختزال جميعها، وهو عدد التأكسد.

يعرَّفُ عددُ التأكسد Oxidation Number بأنه الشحنة الفعليَّة لأيون الذرّة في المركَّبات الأيونيَّة، أمّا في المركَّبات الجزيئيَّة (التساهمية) فيعرَّفُ بأنه الشحنة التي يُفترَض أن تكتسبها الذرّة المكوِّنة للرابطة التساهميَّة مع ذرّة أخرى في ما لو انتقلت الكتروناتُ الرابطة كُليَّا إلى الذرّة التي لها أعلى سالبيَّة كهربائيَّة. وبناء عليه؛ يكون عدد تأكسد الهيدروجين (1+) في جزيء HCl، وعدد تأكسد الكلور (1-).

قواعد أساسية لحساب أعداد التأكسد

Basic Rules to Assign Oxidation Numbers

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



الشكل (2): الرابطة التساهميَّة القطبيَّة في جزيء HCl.

الجدول (1): قواعد حساب أعداد التأكسد.

عدد التأكسد	مثال	قواعد أساسية لحساب أعداد التأكسد	الرَّقْمُ
0 0 0	$egin{array}{c} C \ N_2 \ S_8 \end{array}$	عدد تأكسد ذرّة العنصر الحُرِّ يساوي صفرًا، سواء وُجِدَ على شكل ذرّات أو جُزيئات.	1
+2 -2	Cu ²⁺ S ²⁻	عدد تأكسد الأيون أُحادي الذرّة يساوي شحنة هذا الأيون.	2

+1 HF في H في H الم
-1 BaH $_2$ في H
-2 H_2O في O -1 K_2O_2 في O O في O الأكاسيد، O في O
عدد تأكسد الفلور في جميع مركّباته يساوي (1-)، وعدد تأكسد الفلور في جميع مركّباته يساوي (1-)، أما إذا ارتبط الهيالوجينات I ،Br ،Cl في معظم مركّباتها يساوي (1-)، أما إذا ارتبط اللهيات الكهربائية أعلى فيكون اللهيات الكهربائية أعلى فيكون اللهيات الكهربائية أعلى فيكون اللهيات الكهربائية ال
مجموع أعداد التأكسد لجميع ذرّات أو أيونات العناصر المكوِّنة للمركَّب المتعادل يساوي صفرًا. ٤ مجموع أعداد التأكسد لجميع ذرّات العناصر المكوِّنة لأيون متعدِّد الذرّات يساوي شحنة هذا الأيون.

المثال 2

أُحَدُّهُ عدد التأكسد لذرّة عنصر الكبريت في المركّبات أو الأيونات الآتية:

 $HS^- (\rightarrow Na_2SO_4 (\rightarrow$

 \underline{SO}_2 (أ

الحل:

لحساب عدد التأكسد لذرّة العنصر المطلوب؛ أكتب الصيغة الكيميائيَّة للمركَّب أو الأيون، ثمَّ أُحدِّدُ بناءً على القواعد الواردة في الجدول أعدادَ تأكسد ذرّات العناصر المعلومة، ثمَّ أُطبَّقُ القاعدة رقم 7، أو القاعدة رقم 8 إذا كانت الصيغة تمثِّلُ أيونًا.

 \underline{SO}_2^{-2} (1

عدد ذرّات الأكسجين في المركّب 2، وعدد تأكسد كلِّ ذرّة أكسجين يساوي 2 – (حسب القاعدة 5)، وعدد ذرّات الكبريت في المركّب 1، والمطلوب حساب عدد تأكسد الكبريت فيه، (حسب القاعدة 7). ومن ثمّ، مجموع أعداد تأكسد لجميع العناصر الداخلة في تكوين المركّب جميعها يساوي صفرًا؛ أي أنّ:

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

(oxidation No of O \times No of atoms of O) + (oxidation No of S \times No of atoms of S) = 0

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

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

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

أي أنَّ عدد تأكسد الكبريت = 4+

 Na_2SO_4 (ب

ألاحظ أنَّ الصيغة تمثّل مركّبًا متعادلًا، وعليه، أُطّبُّ القاعدة 7:

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

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

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

+1 H<u>S</u>- (حـ

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

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

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

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

يلاحظ أنَّ لعنصر الكبريت في مركَّباته السابقة أعدادَ تأكسد (4+6+6+6+2-) بالترتيب؛ فيعني ذلك أنه قد يكون لذرّات العنصر الواحد أكثر من عدد تأكسد في مركَّباته أو أيوناته المختلفة.

3 dlall

أُحَدِّهُ عدد التأكسد لذرّة العنصر الذي تحته خطٌّ في المركّبات أو الأيونات الآتية:

 CaO_2 (د NH_4^+ (ح $Cr_2O_7^{2-}$ (ب

 $K\underline{MnO_4}$ ()

لحل:

 $K\underline{Mn}O_{4}$ ()

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

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

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

 $\underline{\operatorname{Cr}}_{2}^{-2} \operatorname{O}_{7}^{2-} (\, \downarrow \,)$

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

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

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

$$\underline{N}_{4}^{+1}$$
 (\Rightarrow

$$\begin{split} &\left(N_{\text{oxid H}}\,\times\,N_{\text{H atoms}}\right)\,+\,\left(N_{\text{oxid N}}\,\times\,N_{\text{N atoms}}\right)=\,+1\\ &\left(+1\,\times\,4\right)\,+\,\left(N_{\text{oxid N}}\,\times1\right)\,=\,+1\\ &N_{\text{oxid N}}\,=\,-3 \end{split}$$

$$CaO_2$$
 (2

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

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

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

✓ أتحقَّق: أُحدِّدُ عدد التأكسد لذرّة العنصر الذي تحته خطُّ في كلِّ منَ المركَّبات
 أو الأيونات الآتية:

 $\underline{P}_4 \cdot \underline{Cr}(OH)_3 \cdot \underline{PO_4}^{3-} \cdot \underline{Al}_{\underline{H}_3} \cdot \underline{FeCl}_3 \cdot \underline{HClO_4} \cdot \underline{H_3IO_6}^{2-}$

التغيُّر في أعداد التأكسد Changes of Oxidation Numbers

يُستفاد من حساب أعداد التأكسد في معرفة ذرّات أو أيونات العناصر التي تأكسدت أو اختُزلت في تفاعلات التأكسد والاختزال.

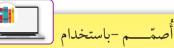
فمثلًا: يتفاعل النحاس مع محلول نترات الفضّة مكوِّنًا محلولَ نترات النحاس، وتترسَّبُ الفضّة وفقَ المعادلة الأيونيَّة الآتية:

$$2Ag^{^{+}}_{\;\;(aq)}\;+\;Cu_{(s)}^{}\;\rightarrow\;Cu^{^{2+}}_{\;\;(aq)}\;+\;2Ag_{(s)}^{}$$

لمعرفة الذرّات أو الأيونات التي تأكسدت أو اختُزلت تُحسَب أعداد التأكسد المعرفة الذرّات أو الأيونات التي تأكسدت أو اختُزلت تُحسَب أعداد التأكسد ويلاحَظ التغيُّر فيها. $^{+1}$ 0 $^{+2}$ 0 0 $^{+2}$ 0

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

في تفاعلات التأكسد والاختزال يدلَّ النقص في عدد التأكسد على حدوث عمليَّة اختزال، وتدلُّ الزيادة في عدد التأكسد على حدوث عمليَّة تأكسد؛ أي أنَّ أيونات الفضّة Ag^+ في التفاعل قد اختُزلت، أمّا ذرّات النحاس Cu فقد تأكسدت، ويمكن توضيح ذلك باستخدام أنصاف تفاعلات التأكسد والاختزال كالآتي: نصف تفاعل التأكسد/ زيادة في عدد التأكسد: $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow 2Ag_{(s)}$ نصف تفاعل الاختزال/ نقصان في عدد التأكسد: $2Ag^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow 2Ag_{(s)}$ أي أنَّ تغيُّرًا في أعداد التأكسد يحدث في تفاعلات التأكسد والاختزال؛ فزيادة أعداد التأكسد تحدث لذرّات أو أيونات العناصر التي تتأكسد، أمّا نقصان أعداد التأكسد في عدد التأكسد في قامال (4) يوضّح ذلك.



برنامج السكراتش (Scratch)عرضًا يُوضِّحُ مفهوم تَفاعل
التأكسُد والاختزال، وعلاقته
بالتَغير في أعداد التأكسد، وأمثِلة
عليه، ثمَّ أُشاركُهُ زملائي/
زميلاتي في الصفِّ.



أُحَدِّهُ الذرّات التي تأكسدت والذرّات التي اختُزلت في التفاعل الآتي:
$$SO_{2(g)}\,+\,Br_{2(aq)}\,+\,2H_2O_{(l)}\,\, o\,2HBr_{(aq)}\,+\,H_2SO_{4(aq)}$$

الحل:

1- أُحَدِّدُ أعداد التأكسد لجميع الذرّات في المواد المتفاعلة والناتجة:

$$^{+4-2}$$
 0 $^{+1-2}$ $^{+1-1}$ $^{+1+6-2}$ $^{+1}$ $^{-$

2- أُحَدِّدُ التغيُّرُ في أعداد التأكسد:

نقصان عدد تأكسد
$$_{0}$$
 من $_{0}$ إلى $_{0}$ اختزال $_{0}$ Br عدد تأكسد $_{0}$ Br عدد $_{0}$

أُلاحظ أن عدد تأكسد ذرّة الكبريت S قد تغيّر من S قد تغيّر من S أي أنه زاد بمقدار S ومن ثُمَّ فإنَّ الكبريت تأكسد، وكذلك عدد تأكسد ذرة البروم S تغيّر من S تغيّر من S أي أنه قلَّ بمقدار S لكلِّ ذرّة بروم، ومن ثَمَّ فإنَّ البروم اختُزِل، كما أُلاحظ عدم تغيُّرِ أعداد تأكسد كلِّ من ذرات الهيدروجين والأكسجين أي أنه لم يحدث لهما تأكسد أو اختزال في التفاعل، فالذرّة التي تأكسدت هي الكبريت في SO_2 والذرّتان اللتان اختُزِلتا هما ذَرّتا البروم في SO_2 .

◄ أتحقَّق: أُحَدِّدُ الذرات التي تأكسدت والذرّات التي اختُزلت اعتمادًا على
 التغيُّر في أعداد التأكسد في التفاعلات الآتية:

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

$$SiCl_{4(l)} + 2Mg_{(s)} \rightarrow 2MgCl_{2(s)} + Si_{(s)}$$

$$-2$$

التأكسد: الاختزال: كسب إلكترونات الشكل (3): عمليتا التأكسد والاختزال.

العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة

Oxidizing Agents and Reducing Agents

يعرَّفُ العاملُ المؤكسد Oxidizing Agent أنه المادةُ التي تُؤكسد مادةً أخرى في التفاعل الكيميائي؛ فيكتسب إلكترونات من المادة التي يُؤكسدها، وتحدث له عمليَّة اختزال. ومن الأمثلة على العوامل المؤكسدة: F₂، K₂Cr₂O₇, KMnO₄.

ويعرَّفُ العاملُ المختزل Reducing Agent أنه المادةُ التي تَختزل مادةً أخرى في التفاعل الكيميائي؛ إذ يفقد إلكترونات تكسبها المادةُ التي يَختزلُها، وتحدث له عمليَّة تأكسد. ومن الأمثلة على العوامل المختزلة: NaBH4 · LiAlH4.

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

المثال 5

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

 $2Al_{(s)} \, + \, Fe_2O_{3(s)} \, \to \, 2Fe_{(l)} \, + \, Al_2O_{3(s)} + heat$

أُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل.

الحل:

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

2- أُحَدِّدُ التغيُّرُ في أعداد التأكسد:

زيادة في عدد تأكسد Al من 0 إلى +3 تأكسد +3 0 +3 $2Al_{(s)}$ + $Fe_2O_{3(s)}$ \rightarrow $2Fe_{(l)}$ + $Al_2O_{3(s)}$ نقصان عدد تأكسد +3 من +3 من +3 اختزال

 ${
m Fe}^{3+}$ أي أنها تأكسدت، أمّا عددُ تأكسد ذرات الألمنيوم Al زاد ($0 \to 8+$)؛ أي أنها تأكسدت، أمّا عددُ تأكسد أيونات الحديد

(-2) فقد قلَّ (+3)؛ أي أنها اختُزِلت، في حين لم يتغيَّر عدد تأكسد الأكسجين (+3)؛ أي أنها اختُزِلت، في حين لم يتغيَّر عدد تأكسد الأكسجين (+3).

3- أُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل:

لأنَّ ذرات الألمنيوم Al تأكسدت واختزَلت أيونات الحديد (Fe3+) في Fe2O3؛ فهو عامل مختزل، أمَّا أيوناتُ (Fe_2O_3) III فأكسدت ذرّات الألمنيوم وحدثت لها عمليَّة اختزال؛ لذلك يُعَدُّ أكسيدُ الحديد عاملًا مؤكسدًا. يلاحظ أنه على الرغم من أنَّ أيونات الحديد (Fe³+) فقط هي التي اختُزلت في التفاعل؛ فإنَّ المركَّب وFe2O3 كاملًا يُعَدُّ عاملًا مؤكسدًا، وهو ما ينطبق على تفاعلات التأكسد والاختزال كافَّة؛ حيث يُعَدُّ المركَّبُ الذي تتأكسد إحدى ذرّاته عاملًا مُختزلًا، والمركَّبُ الذي تُختزل إحدى ذرّاته عاملًا مؤكسدًا.

Maill 8

أُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل الآتي: $PbO_{(s)} + CO_{(g)} \rightarrow Pb_{(s)} + CO_{2(g)}$

الحل:

أُحدِّدُ أعداد التأكسد لجميع الذرّات في التفاعل:

أُحَدِّدُ التغيُّرُ في أعداد التأكسد:

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

$$\stackrel{+2}{\text{PbO}_{(s)}} + \stackrel{+2}{\text{CO}_{(g)}} \rightarrow \stackrel{0}{\text{Pb}_{(s)}} + \stackrel{+4}{\text{CO}_{2(g)}}$$

نقصان عدد تأكسد Pb من 2+ إلى 0/ اختزال

ألاحظ نقصان عدد تأكسد أيون الرصاص من $(2+ id) \rightarrow PbO \rightarrow pbO \rightarrow PbO$ أي أنه اختُزل، وزيادة عدد تأكسد ذرة الكربون من (2+ في CO_2 +4 في CO_2)؛ أى أنها تأكسدت، أمّا عددُ تأكسد الأكسجين فلم يتغيَّر، ومن ثَمَّ فإنَّ CO عاملٌ مُختزل؛ لأنه اختزل الرصاص في PbO و PbO عاملٌ مؤكسد ؛ لأنه أكسد . الكربون في CO.

√ أتحقَّة:

1- هل يحتاج حدوث التحوُّلات الآتية إلى عامل مؤكسد أم عامل مُختزل؟ أُفُسِّرُ إجابتي.

$$\mathrm{Mn^{2+}} \rightarrow \mathrm{MnO_2}$$
 (\rightarrow $\mathrm{Sn^{2+}} \rightarrow \mathrm{Sn^{4+}}$ (\rightarrow $\mathrm{I_2} \rightarrow \mathrm{2I^-}$ (†

2- أُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل الآتي:

$$H_{2(g)} \ + \ CuO_{(s)} \ \to \ Cu_{(s)} \ + \ H_2O_{(l)}$$

الربطُ مع الحياة

تتعرَّضُ القطعُ الفضيَّة للسواد معَ الزمن؛ بسبب تكوُّنِ مادَّة كبريتيــد الفضّــة Ag₂S على سطحها الخارجي. ويمكنُ إزالةُ هذه الطبقة بوَضع هذه القِطع الفضيّة في ورق من الألمنيوم في وعاء يحتوي على محلول كربونات الصوديوم وملح الطعام، وتسخينه؛ فتتأكسد ذرات الألمنيوم وتَختَزِل أيونات الفضة حسب المعادلة:

 $3Ag_2S + 2Al \rightarrow 6Ag + 3S^{2-} + 2Al^{3+}$ فتستعيد القطع الفضية لمعانها وبريقها.



التأكسد والاختزال الذاتي Autoxidation-Reduction Reaction

تتضمَّنُ تفاعلات التأكسد والاختزال وجود عامل مؤكسد وعامل مُختزل، ولكن وُجد في بعض التفاعلات أنَّ المادة نفسَها تسلك عاملًا مؤكسدًا وعاملًا مُختزلًا في التفاعل نفسه، ويسمّى تفاعل تأكسد واختزال ذاتي Reaction Autoxidation—Reduction. فمثلًا: يتحلَّلُ فوق أكسيد الهيدر وجين H₂O₂ حسب المعادلة:

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

أُحَدِّدُ أعداد التأكسد لجميع الذرّات في التفاعل كالآتي: $\frac{1}{1}$

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

ألاحظ عدم تغيُّر عدد تأكسد الهيدروجين؛ أمَّا الأكسجين فقد اختُزل وقلَّ عدد تأكسده من (1- في H_2O_2 إلى 2- في H_2O_2)، فيكون H_2O_2 عاملًا مؤكسدًا، كما تأكسد الأكسجين وزاد عدد تأكسده من (1- في H_2O_2 إلى 0 في O_2)، فيكون O_2 عاملًا مُختزلًا؛ ولأن التأكسد والاختزال حدثا للعنصر نفسه وهو الأكسجين في O_2 ؛ فالتفاعلُ يمثلُ تأكسدًا واختزالًا ذاتيًّا.

التحقق . أُحَدِّدُ المعادلات التي التي تمثّل تفاعلَ تأكسد واختزال ذاتي: تمثّل تفاعلَ تأكسد واختزال ذاتي: $2ClO_{3\ (aq)}^{-} \rightarrow ClO_{4\ (aq)}^{-} + ClO_{2\ (aq)}^{-}$ († $H_2SO_{4(aq)} + Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + SO_{4\ (aq)}^{2-} + H_{2(g)}$ (ب $2CuCl_{(aq)} \rightarrow CuCl_{2(aq)} + Cu_{(s)}$ (ج

7 dlâdl

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

 $2NaOH_{(aq)} + Cl_{2(g)}
ightarrow NaCl_{(aq)} + NaClO_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ أُبِيِّنُ، لماذا يُعَدُّ التفاعل أعلاه مثالًا على تفاعلات التأكسد والاختزال الذاتي.

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

$$2 \overset{+1}{O} \overset{-2}{O} \overset{+1}{O} \overset{-1}{O} \overset{+1}{O} \overset{-1}{O} \overset{+1}{O} \overset{-1}{O} \overset{+1}{O} \overset{+1}{O} \overset{+1}{O} \overset{-2}{O} \overset{-2}{O}$$

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

أُحَدِّدُ التغيُّرَ في أعداد التأكسد:

ألاحظ حدوث تأكسد لذرّة كلور وزيادة عدد تأكسدها (من صفر في Cl_2 إلى 1+ في ClO)، وبذلك فإن Cl_2 سلك كعامل مُختزل، وكذلك حدث اختزالٌ لذرّة الكلور الثانية وقلَّ عدد تأكسدها (من صفر في Cl_2 إلى 1- في Cl_2)، وبذلك فإنّ Cl_2 سلك كعامل مؤكسد؛ أي أنَّ التأكسد والاختزال حدثا للعنصر نفسه في التفاعل. وعليه؛ فإنَّ التفاعل يمثِّل تفاعل تأكسد واختزال ذاتي.

موازنة معادلات التأكسد والاختزال Balancing Redox Equations

تحقق معادلة التأكسد والاختزال الموزونة قانون حفظ الكتلة؛ ممّا يعني أنَّ أنواع ذرّات العناصر المكوِّنة للمواد المتفاعلة وأعدادها مماثلةٌ لها في المواد الناتجة. وكذلك تحقق قانون حفظ الشحنة؛ أي أنَّ مجموع شحنات المواد المتفاعلة مساولم لمجموعها في المواد الناتجة، ويتحقق ذلك عندما يكون عددُ الإلكترونات المكتسبة في أثناء تفاعل الاختزال مساويًا لعدد الإلكترونات المفقودة خلال تفاعل التأكسد.

فمثلًا: في معادلة التفاعل الآتية:

$$Mg_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

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

موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل

Balancing Redox Equations Using Half-Reactions

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



أوازن معادلة التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل:

$$Sn^{2+}{}_{(aq)} + Fe^{3+}{}_{(aq)} \to Sn^{4+}{}_{(aq)} \, + \, Fe^{2+}{}_{(aq)}$$

خطوات الحل:

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

نصف تفاعل تأكسد (زاد عدد تأكسد Sn من 2
$$+
ightarrow +$$
)

نصف تفاعل اختزال (قلَّ عدد تأكسد Fe من
$$+2 \leftarrow +4$$
 نصف

$$Sn^{^{2+}} \ \rightarrow \ Sn^{^{4+}}$$

 $Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+}$

 $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$

$$Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$$

ألاحظ أنَّ عدد الذرّات متساوٍ في طرفي المعادلة لكل نصف تفاعل.

أوازن الشحنات:

 $2e^{-}$ ألاحظ في نصف تفاعل التأكسد أنه كي يصبح مجموع الشحنات متساويًا على طرفي المعادلة؛ يجب إضافة $Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e^{-}$ إلى طرف المواد الناتجة:

أمّا في نصف تفاعل الاختزال؛ فلا بدَّ من إضافة إلكترون واحد إلى طرف المواد المتفاعلة كي يصبح مجموع الشحنات $Fe^{3+} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$ على طرفي المعادلة متساويًا:

أساوي عدد الإلكترونات المكتسبة والمفقودة:

ألاحظ أنَّ عدد الإلكترونات المفقودة في نصف تفاعل التأكسد يساوي (2)، وأنَّ عدد الإلكترونات المكتسبة في نصف تفاعل الاختزال يساوي (1). ولمساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة يُضرَبُ نصفُ تفاعل الاختزال × 2

$$2 \,\times\, (\,Fe^{^{3+}}\,+\,e^{\scriptscriptstyle -}\,\rightarrow\,Fe^{^{2+}})$$

$$2Fe^{3+} + 2e^{-} \rightarrow 2Fe^{2+}$$

أجمع نصفى تفاعل التأكسد والاختزال:

$$2Fe^{^{3+}} \ + \ 2e^- \quad \rightarrow \quad 2Fe^{^{2+}}$$

$$Sn^{^{2+}} \ \to \ Sn^{^{4+}}{}_{(aq)} \ + \ 2e^{^-}$$

$$\frac{Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+}_{(aq)} + 2e^{-}}{2Fe^{3+} + Sn^{2+} \rightarrow 2Fe^{2+} + Sn^{4+}}$$

ويمكن التحقق من صحّة الموازنة بمقارنة أعداد الذرّات على طرفي المعادلة والتأكُّد من تساويها، والتأكُّد أنَّ المجموع الجبري للشحنات على طرفي المعادلة متساوٍ، معَ الانتباه إلى عدم ظهور الإلكترونات في المعادلة النهائيَّة.

> تحدث معظم تفاعلات التأكسد والاختزال في المحاليل المائيَّة في أوساط حمضيَّة أو قاعديَّة؛ لذلك فإنَّ خطوات موازنة معادلاتها تحتاج إلى خطوات إضافيَّة بحسب طبيعة الوسط، وهذا ما سيُوضَّح في الأمثلة اللاحقة.

موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل في وسط حمضي

عند حدوث تفاعل التأكسد والاختزال في وسط حمضي؛ فإنَّ الماء وأيونات الهيدروجين يكونان جزءًا 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:

$$Cr_2{O_7}^{2-}{}_{(aq)} + HNO_{2(aq)} \to \ Cr^{3+}{}_{(aq)} + NO_3^{-}{}_{(aq)}$$

خطوات الحل:

1- أقسم معادلة التفاعل إلى نصفى تفاعل، وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والناتجة:

$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$$

$$HNO_2 \rightarrow NO_3^-$$

2- أختار أحد نصفى التفاعل وأوازنه باتباع الخطوات الآتية:

$$Cr_2O_7^{2-} \rightarrow Cr^{3+}$$

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

$$Cr_{2}O_{7}^{2-} \rightarrow 2Cr^{3+}$$

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

ب. أُوازن ذرّات الأكسجين بإضافة عدد من جزيئات الماء H_2 0 إلى طرف المعادلة الذي يحتوي على عدد أقل من ذرّات الأكسجين بمقدار النقص فيها.

هنا، يُضافُ $7H_2O$ إلى الطرف الأيمن من المعادلة، فيصبح عدد ذرات الأكسجين متساوي على طرفيها: $Cr_2O_7^{2-} \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

ج. أُوازن ذرّات الهيدروجين بإضافة عدد من أيونات الهيدروجين +H إلى طرف المعادلة الذي يحتوي على عدد أقل من ذرّات الهيدروجين بمقدار النقص فيها.

هنا، يُضافُ $^+$ 14H إلى الطرف الأيسر من المعادلة، فيصبح عدد ذرّات الهيدروجين متساويًا على طرفيها: ${\rm Cr_2O_7^{2-}} + 14{\rm H}^+ \rightarrow 2{\rm Cr}^{3+} + 7{\rm H_2O}$

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

ألاحظ أنَّ المجموع الجبري للشحنات على الطرف الأيسر للمعادلة يساوي (+12)، أمَّا على طرفها الأيمن فيساوي (+6)؛ لذلك يُضافُ -6e إلى الطرف الأيسر، فيصبح المجموع الجبري للشحنات على طرفيها مساويًا (+6):

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O_{(+12-6)} = +6$$

ألاحظ أنَّ الإلكترونات أُضيفت إلى جهة المواد المتفاعلة؛ أي أنها مكتسبة؛ لذا فإنَّ المعادلة تمثّل نصف تفاعل الاختزال: $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

3- لموازنة نصف التفاعل الآخر؛ أُطَبِّقُ الإجراءات نفسَها في الخطوة (2):

$$HNO_2 \rightarrow NO_3^-$$

أ. أُوازن الذرّات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أنَّ عدد ذرّات النيتروجين متساوٍ على طرفي المعادلة: $NO_2 \rightarrow NO_3^-$

ب. أُوازن ذرّات الأكسجين؛ بإضافة ${\rm H_2O}$ إلى الطرف الأيسر من المعادلة:

 $HNO_2 + H_2O \rightarrow NO_3^-$

ج. أُوازن ذرّات الهيدروجين؛ بإضافة +3H إلى الطرف الأيمن من المعادلة:

 $HNO_2 + H_2O \rightarrow NO_3^- + 3H^+$

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

 $HNO_2 + H_2O \rightarrow NO_3^- + 3H^+$ $O(3)^{-1+3=+2}$ $O(3)^{-1+3=+2}$

 $HNO_2 \ + \ H_2O \ \rightarrow \ NO_3^- \ + \ 3H^+ \ + \ 2e^-$

ألاحظ أن الإلكترونات أضيفت إلى جهة المواد الناتجة؛ أي أنها مفقودة، لذا؛ فإن المعادلة تمثل نصف تفاعل تأكسد. وبذلك أصبح نصفا التفاعل متو ازنين كل على حِدَة:

 $HNO_2 + H_2O \rightarrow NO_3^- + 3H^+ + 2e^ Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O^-$

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

لذلك، سَيُضرب نصفُ تفاعل التأكسد بالرَّقْمِ (3) ليصبح عدد الإلكترونات المفقودة (-66) مساويًا لعدد الإلكترونات المكتسبة:

 $3 \times (HNO_2 + H_2O \rightarrow NO_3^- + 3H^+ + 2e^-)$

نصف تفاعل التأكسد:

 $3HNO_2 + 3H_2O \rightarrow 3NO_3^- + 9H^+ + 6e^ Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

نصف تفاعل الاختزال:

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

 $3HNO_2 + 3H_2Q \rightarrow 3NO_3^- + 9H^+ + 6e^-$ $5H^+ 4H_2O$ نصف تفاعل التأكسد:

 $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

نصف تفاعل الاختزال:

 $3HNO_2 + Cr_2O_7^{2-} + 5H^+ \rightarrow 3NO_3^- + 2Cr^{3+} + 4H_2O$

المعادلة الكليَّة:

✓ أتحقَّق. أوازن المعادلتين الآتيتين بطريقة نصف التفاعل في الوسط الحمضي،
 وَأُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في كلِّ منهما:

$$BrO_{3}^{-}{}_{(aq)} + C_{2}O_{4}^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow Br^{-}{}_{(aq)} + CO_{2(g)}$$
 -1

$$As_{(s)} + ClO_3^-_{(aq)} \rightarrow H_3AsO_{3(aq)} + HClO_{(aq)}$$
 -2

موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل في وسط قاعدي

ثُوازَن معادلات التأكسد والاختزال في وسط قاعدي بالخطوات نفسِها المتبَّعة في موازنتها في الوسط الحمضي، ثمَّ يُضاف عددٌ من أيونات الهيدروكسيد OH^- مساوٍ لعدد أيونات الهيدروجين H^+ في المعادلة الموزونة في الوسط الحمضي إلى طرفي المعادلة؛ حيث تتعادل أيوناتُ الهيدروجين H^+ مع أيونات الهيدروكسيد OH^- مكوِّنةً عددًا من جزيئات الماء OH^- ثمَّ تُختَصَرُ جزيئاتُ الماء في طرفي المعادلة أو تُجمع إذا كانت في الطرف نفسه، بحيث تظهر في أحد أطراف التفاعل الكلّيّ الموزونة؛ وبذلك نحصل على معادلة موزونة في الوسط القاعدي.

المثال 0 ا

أُوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي:

 $MnO_{4^{-}(aq)} \, + \, ClO_{2^{-}(aq)}^{-} \, \rightarrow \, MnO_{2(s)} \, + \, ClO_{4^{-}(aq)}^{-}$

خطوات الحل:

تُطَبُّقُ خطوات موازنة المعادلة في الوسط الحمضي نفسُها أولًا:

1- أقسمُ معادلة التفاعل إلى نصفى تفاعل، وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والناتجة:

 $MnO_4^{-} \ \to \ MnO_2$

 $ClO_2^- \rightarrow ClO_4^-$

2- أختارُ أحد نصفى التفاعل، وأُوازنه باتباع الخطوات الآتية:

 $MnO_4^- \rightarrow MnO_2$

أ. موازنة الذرّات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أنَّ عدد ذرات المنغنيز Mn متساوٍ على طرفي المعادلة: $MnO_4^- \rightarrow MnO_2$

 ${\rm MnO_4}^-
ightarrow {\rm MnO_2} + 2{\rm H}_2{\rm O}$ ب. أُوازن ذرّات الأكسجين؛ بإضافة $2{\rm H}_2{\rm O}$ إلى طرف المعادلة الأيمن:

جـ. أُوازن ذرّات الهيدروجين؛ بإضافة $^+4H^+$ إلى طرف المعادلة الأيسر، فيصبح عدد ذرّات H متساويًا على طرفيها: $MnO_4^- + 4H^+ \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$

د. أُوازن الشحنات؛ بإضافة ($3e^-$) إلى طرف المعادلة الأيسر، فيصبح المجموع الجبري للشحنات على طرفيها متساويًا: $MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$

 $ClO_2^- o ClO_4^-$ أُطَبِّقُ الخطوات الواردة في الخطوة (2) نفسِها في موازنة نصف التفاعل الآخر:

أ. أُوازن الذرّات، عدا الأكسجين والهيدروجين: يلاحظ أنَّ عدد ذرّات الكلور Cl متساوٍ على طرفي المعادلة: $ClO_2^- \rightarrow ClO_4^-$

 $ClO_2^- + 2H_2O \rightarrow ClO_4^-$ ب. أُوازن ذرّات الأكسجين؛ بإضافة $2H_2O$ إلى طرف المعادلة الأيسر:

 $ClO_2^- + 2H_2O \rightarrow ClO_4^- + 4H^+$ إلى طرف المعادلة الأيمن: $^+4H^+$ الله طرف المعادلة الأيمن: $^+4H^+$

د. أُوازن الشحنات؛ بإضافة ($^{4}e^{-}$) إلى طرف المعادلة الأيمن، فيصبح المجموع الجبري للشحنات على طرفيها متساويًا: $ClO_2^- + 2H_2O \rightarrow ClO_4^- + 4H^+ + 4e^-$ نصف تفاعل تأكسد:

 4×0 الاختزال 4×0 ونصف تفاعل الاختزال 4×0 ونصف تفاعل الاختزال 4×0 ونصف تفاعل الاختزال 4×0 (ClO₂⁻ + 2H₂O 4×0 ClO₄⁻ + 4H⁺ + 4e⁻) 4×0 نصف تفاعل تأكسد:

 $(MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O) \times 4$

نصف تفاعل اختزال:

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

$$3ClO_{2}^{-} + \dot{6}H_{2}O \rightarrow 3ClO_{4}^{-} + \dot{1}\dot{2}H^{+} + \dot{1}\dot{2}e^{-}$$

$$\frac{4 \text{MnO}_4^- + \cancel{16} \text{H}^+ + \cancel{12} \text{e}^- \rightarrow 4 \text{MnO}_2 + \cancel{8} \text{H}_2 \text{O}}{3 \text{ClO}_2^- + 4 \text{MnO}_4^- + 4 \text{H}^+ \rightarrow 3 \text{ClO}_4^- + 4 \text{MnO}_2 + 2 \text{H}_2 \text{O}}$$

5- أُضيف إلى طرفى المعادلة عددًا من أيونات OH^- مساويًا لعدد أيونات H^+ :

$$3ClO_2^- + 4MnO_4^- + 4H^+ + 4OH^- \rightarrow 3ClO_4^- + 4MnO_2 + 2H_2O + 4OH^-$$

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

$$3ClO_2^- + 4MnO_4^- + 4H^+ + 4OH^- \rightarrow 3ClO_4^- + 4MnO_2 + 2H_2O + 4OH^- + 4H_2O$$

7- أختصِر جزيئات الماء، بحيث تظهرُ في أحد طرفي معادلة التفاعل الكلّيّ الموزونة في وسط قاعدي.

$$3ClO_2^- + 4MnO_4^- + 4H_2O \rightarrow 3ClO_4^- + 4MnO_2 + 2H_2O + 4OH^-$$

 $2H_2O$

 $3ClO_2^- + 4MnO_4^- + 2H_2O \rightarrow 3ClO_4^- + 4MnO_2 + 4OH^-$

المعادلة الكليَّة:

المثال ا

$Br_{2(l)} \to Br_{(aq)}^- + BrO_{3(aq)}^-$: أُوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي: خطوات الحل:

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

يلاحظ وجود مادة متفاعلة واحدة فقط في المعادلة، هي Br_2 لذلك أستخدمُها في كلِّ من نصف تفاعل التأكسد $Br_2 \to Br^-$

 $Br_2 \rightarrow BrO_3^-$

 ${
m Br}_2
ightarrow {
m Br}^-$ 2- أختارُ أحد نصفي التفاعل، وأُوازنه باتباع الخطوات الآتية:

 ${
m Br}_2
ightarrow 2{
m Br}^-$. ${
m i}$ الذرّات البروم بضرب أيون البروميد ${
m Br}_2
ightarrow 2 imes 2 imes 2 imes 2 imes 3 imes$

ب. أُوازن الشحنات بإضافة (-2e) إلى طرف المعادلة الأيسر:

 $\mathrm{Br_2} + 2\mathrm{e}^- o 2\mathrm{Br}^-$ نصف تفاعل اختزال:

أَطَبُّقُ الخطواتِ نفسِها المتّبعة في موازنة الذرّات والشحنات في موازنة نصف التفاعل الآخر:

$$Br_2 \rightarrow BrO_3^-$$

$$Br_2 \rightarrow 2BrO_3^-$$

أ. موازنة الذرّات، عدا الأكسجين والهيدر وجين:

$$Br_2 + 6H_2O \rightarrow 2BrO_3^- + 12H^+$$

موازنة ذرّات الأكسجين والهيدر وجين:

$$Br_2 + 6H_2O \rightarrow 2BrO_3^- + 12H^+ + 10e^-$$

ج. موازنة الشحنات:

3- أُساوى عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة بضرب (نصف تفاعل الاختزال ×5)، فيصبح عدد الإلكترونات المكتسبة مساويًا لعدد الإلكترونات المفقودة، وتساوى (-10e).

$$5 \times (Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-)$$

$$5Br_2 + 10 e^- \rightarrow 10Br^-$$

نصف تفاعل الأختزال:

$$Br_2 + 6H_2O \rightarrow 2BrO_3^- + 12H^+ + 10e^-$$

نصف تفاعل التأكسد:

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

$$5Br_2 + 10e^- \rightarrow 10Br^-$$

$$Br_2 + 6H_2O \rightarrow 2BrO_3^- + 12H^+ + 10e^-$$

$$6Br_2 + 6H_2O \rightarrow 10Br^- + 2BrO_3^- + 12H^+$$

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

$$3Br_2 + 3H_2O \rightarrow 5Br^- + BrO_3^- + 6H^+$$

5- أُضيفُ ⁻60H إلى طرفي المعادلة:

$$3Br_2 + 3H_2O + 6OH^- \rightarrow 5Br^- + BrO_3^- + 6H^+ + 6OH^-$$

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

$$3Br_2 + 3H_2O + 6OH^- \rightarrow 5Br^- + BrO_3^- + 6H^+ + 6OH^-$$

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

$$3Br_2 + 3H_2O + 6OH^- \rightarrow 5Br^- + BrO_3^- + 6H_2O$$

$$3H_2O$$

$$3Br_2 + 6OH^- \rightarrow 5Br^- + BrO_3^- + 3H_2O$$

المعادلة الكليَّة:

◄ أتحقِّق. أُوازن المعادلتين الآتيتين بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي، وأُحَدِّدُ العاملِ المؤكسد والعاملِ المُختزلِ في كلِّ منهما:

$$CN^{-}_{(aq)} + AsO_{4}^{3-}_{(aq)} \rightarrow AsO_{2}^{-}_{(aq)} + OCN^{-}_{(aq)}$$
 -1

$$NiO_{2(s)} + S_2O_3^{2-}_{(aq)} \rightarrow Ni(OH)_{2(aq)} + SO_3^{2-}_{(aq)}$$
 -2

مراجعة الارس

- 1. الفكرة الرئيسة: تفاعلا التأكسد والاختزال متلازمان، يحدثان دائمًا معًا، أُفَسِّر ذلك.
- 2. أُوضِّحُ المقصودُ بكلِّ من: أ. عدد التأكسد. ب. التأكسد والاختزال الذاتي.
 - 3. أحسب عدد تأكسد العنصر الذي تحته خط في كل مما يأتي:

 BaO_2 ' H_2PO_4 " ' $LiAlH_4$ ' K_2SnO_2 ' $NaBiO_3$ ' N_2O_4

4. أُطّبِّق: أُحَدِّدُ الذرات التي تأكسدت والتي اختُزلت في التفاعلات الآتية:

 $1-2HNO_{3(aq)} + 6HI_{(aq)} \rightarrow 2NO_{(g)} + 3I_{2(s)} + 4H_2O_{(h)}$

 $2-2K_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 2KOH_{(aq)} + H_{2(g)}$

- 5. أُطِّبِّق: أدرسُ المعادلة الموزونة التي تمثُّلُ تفاعل N_2O_4 مع N_2H_4 لتكوين غاز N_2 وبخار الماء، ثمَّ أُجيبُ عن الأسئلة الآتية: $N_2O_{4(l)} + 2N_2H_{4(l)} \rightarrow 3N_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$
 - أ . أُحَدِّدُ التغيُّرَ في أعداد تأكسد ذرّات النيتروجين في التفاعل.
 - ب. هل تمثّل المعادلة تفاعل تأكسد واختزال ذاتي؟
 - ج. أُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل.
 - 6. أُحَدِّدُ المادة التي يمكن أن تسلك عاملًا مؤكسدًا والمادة التي يمكن أن تسلك عاملًا مُختزلًا:

 H^+ · Br^- · Na^+ · F_2 · H^- · Cu

7. أُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في التفاعل الآتي:

 $6Fe^{2+}_{(aq)} + Cr_2O_7^{2-}_{(aq)} + 14H^{+}_{(aq)} \rightarrow 6Fe^{3+}_{(aq)} + 2Cr^{3+}_{(aq)} + 7H_2O_{(l)}$

8. أُطِّبِّق. أُوازن أنصافَ التفاعلات الآتية بطريقة نصف التفاعل، وأُحَدِّدُ ما إذا كانت المادة تمثِّل عاملًا مؤكسدًا

 $1-\mathrm{HSO_3}^-_{(\mathrm{aq})} \to \mathrm{SO_4}^{2-}_{(\mathrm{aq})}$

أم عاملًا مُختزلًا: (الوسط الحمضي)

 $2 - \operatorname{CrO_4}^{2-}_{(aq)} \to \operatorname{Cr}(OH)_{3(aq)}$

(الوسط القاعدي)

- 9. أُطّبّق: أُوازن معادلات التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل، وأُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل في كلِّ منها:
- 1. $Cr_2O_{3(s)} + NO_3^-_{(aq)} \xrightarrow{OH^-} CrO_4^{2-}_{(aq)} + NO_2^-_{(g)}$
- 2. $Zn_{(s)} + HgO_{(s)} \xrightarrow{OH^{-}} ZnO_{2}^{2-}_{(aq)} + Hg_{(l)}$

7. عدد مولات الأيونات $^-$ OH اللازمة لموازنة التفاعل: $\mathrm{ClO_2}^- + \mathrm{O_2} \longrightarrow \mathrm{ClO_2}^- + \mathrm{O_2}$ في وسط

3 ._>

د . 4

7

قاعدى، هو:

2 .

1.1

الفلرةُ الرئيسة: **◄**

تتحوَّلُ الطاقة الكيميائيَّة إلى طاقة كهربائيَّة في الخليَّة الجلفانيَّة عن طريق تفاعل تأكسد واختزال تلقائي الحدوث، ويعتمد فرقُ الجهد الناتج على جهود الاختزال المعياريَّة للأقطاب المكوِّنة لها.

لتعلَّم: التعلُّم:

- أُحَدِّدُ أجزاء الخليّة الجلفانيّة ومبدأ عملها.
- أقيسُ عمليًّا القوّة الدافعة الكهربائيّة لعدة خلابا جلفانيّة.
 - أحسب جهد الخليّة الجلفانيّة.
- أوظف جهود الاختزال المعيارية في تحديد تلقائية تفاعلات التأكسد والاختزال، وقوة العوامل المؤكسدة والمختزلة.
- أتعرّف بعض التطبيقات العملية للخلايا الجلفانية.

المفاهية والمصطلحات:

الخلايا الكهروكيميائية

Electrochemical Cells

الخلايا الجلفانيّة Galvanic Cells

نصف الخليّة Half Cell

Salt Bridge القنطرة الملحيّة

جهد الخليّة المعياري

Standard Cell Potential

قطب الهيدروجين المعياري

Standard Hydrogen Electrode

جهد الاختزال المعياري

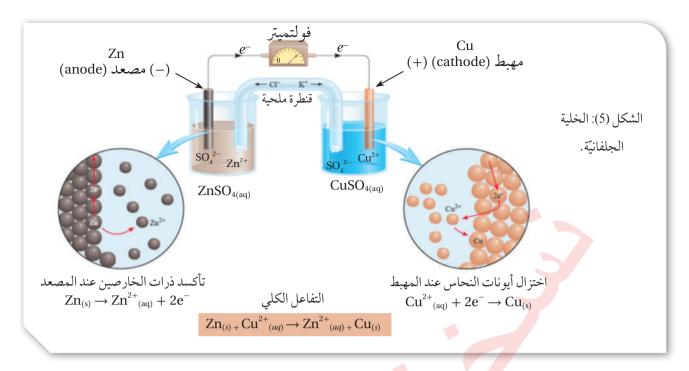
Standard Reduction Potential Spontaneity of Reaction تلقائيّة التفاعل

Electrochemical Cells الخلايا الكهر كيميائية

تسمّى الخلايا التي تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال منتجة للطاقة الكهربائيّة أو مستهلكة لها الخلايا الكهركيميائيّة Electrochemical Cells، وتقسم إلى نوعين: الخلايا الجلفانيّة، وخلايا التحليل الكهربائي. وفي هذا الدرس سأدرس الخلايا الجلفانيّة.

تُستخدَمُ الخلايا الجلفانيّة في مجالات واسعة في الحياة؛ فالبطّاريات بأنواعها، مثل البطّاريّة القابلة للشحن المستخدمة في الهواتف والحواسيب المحمولة، أنظرُ الشكل (4)، وخلايا الوقود هي خلايا جلفانيّة Galvanic Cells تحدث فيها تفاعلاتُ تأكسد واختزال تؤدي إلى إنتاج تيار كهربائي؛ أي تتحوّل الطاقة الكيميائيّة فيها إلى طاقة كهربائيّة. فما مكوِّنات الخليّة الجلفانيّة؟ وكيف يُحسب فرق الجهد الناتج عنها؟ وكيف يجري التنبُّؤ بإمكانيّة حدوث تفاعل التأكسد والاختزال فها؟





كيمياء الخلايا الجلفانيّة Chemistry of Galvanic Cells

تتكوّنُ الخليّة الجلفانيّة من وعاءين؛ يُسمّى كُلِّ منهما نصف خليّة البونات ويحتوي كل وعاء على صفيحة فِلزيّة مغموسة في محلول يحتوي على أيونات الفِلزّ؛ فنصف خليّة الخارصين تتكوّن من صفيحة خارصين معموسة في محلول يحتوي على أيونات الخارصين 2n² مثل محلول كبريتات الخارصين، محلول يحتوي على أيونات الخارصين 2n² مثل محلول كبريتات الخارصين، وَيُعبَّرُ عنها بالرمز 2n² المّا نصف خليّة النحاس فتتكوّن من صفيحة نحاس كمعموسة في محلول يحتوي على أيونات النحاس "Cu²، مثل محلول كبريتات النحاس، وَيُعبَّرُ عنها بالرمز 2u² الإسلاك) وتوصّل المحاليل بموصل آخر توصّل الأقطاب بموصل خارجي (الأسلاك) وتوصّل المحاليل بموصل آخر هو القنطرة الملحيّة المحلول ملحي مشبع، لا تتفاعل أيوناته مع الأيونات الموجودة في نصفي الخليّة الجلفانيّة أو مع الأقطاب فيها مثل KCl)، أنظر الشكل (5) الذي يوضح مكوِّنات الخليّة الجلفانيّة، ويُستخدَم جهاز فولتميتر لقياس فرق الجهد يون قطبي الخليّة.

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

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$$

وتنتقل الإلكترونات من قطب الخارصين Zn عبر الأسلاك إلى قطب النحاس Cu⁺² وتُخترَل متحوِّلةً إلى ذرّات

:مسب المعادلة تترسَّب على قطب النحاس، حسب المعادلة Cu
$$Cu^{^{2+}}{}_{(aq)}~+~2e^-~\rightarrow~Cu_{(s)}$$

ونتيجة تأكسد ذرّات الخارصين وتحوُّلها إلى أيونات الخارصين الموجبة Zn^{2+} يزداد تركيزها في نصف خليّة الخارصين مقارنة بتركيز أيونات الكبريتات السالبة SO_4^{2-} فيها، أما في نصف خليّة النحاس فيقلُّ تركيز أيونات النحاس السالبة Cu^{2+} مقارنة بتركيز أيونات الكبريتات السالبة بسبب اختزالها، ويؤدي الموجبة Lu^{2+} مقارنة بتركيز أيونات الكهربائية في الخليّة؛ لذا تُعادِل القنطرة الملحيّة الشحناتِ الكهربائيّة في نصفي الخليّة الجلفانيّة؛ حيث تتحرَّك أيونات الكلوريد السالبة Lu^{2+} من القنطرة الملحيّة إلى نصف خليّة الخارصين لمعادلة الزيادة في تركيز أيونات Lu^{2+} وتتحرَّك أيونات Lu^{2+} الموجبة إلى نصف خليّة النحاس لمعادلة أيونات Lu^{2+} النائدة.

يسمّى القطب الذي يحدث عنده تفاعل التأكسد المِصعد Anode؛ وهو قطبُ الخارصين Zn، وشحنتُهُ سالبة؛ لأنه مصدر الإلكترونات بسبب تأكسد ذرّاته، فتقل كتلتُه، أمّا القطب الذي يحدث عنده تفاعل الاختزال فيسمّى المِهبط Cathode؛ وهو قطب النحاس Cu، وشحنتُهُ موجبة؛ إذ تتحرَّك الإلكترونات نحوه، وتزداد كتلتُهُ نتيجة اختزال أيونات النحاس وترسّبها عليه.

أمّا المعادلة الكليّة في الخليّة الجلفانيّة؛ فهي مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:

$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$
 وقد عَبَّرَ الكيميائيون عن الخليّة الجلفانيّة بطريقة مُختصرة وسهلة لوصفها:

 $Zn_{(s)}|Zn^{2+}{}_{(aq)}\,\|\,\,Cu^{2+}{}_{(aq)}|Cu_{(s)}$ نصف خليّة الاختزال نصف خليّة التأكسد

القنطرة الملحيّة

يُبدأ بكتابة مكوِّنات نصف خليَّة التأكسد منَ اليسار، فتُكتب المادَّة التي يحدث لها تأكسدُ أوَّلاً، ثمَّ ناتجُ عملية التأكسد، ويفصل بينهما خط (|) كالآتي: $Zn_{(s)}|Zn^{2+}$ كم توازيان || يرمزان إلى القنطرة الملحيّة، ثمَّ تُكتب مكوِّنات نصف خليّة الاختزال، فتُكتب المادَّة التي يحدث لها اختزال، ثمَّ ناتجُ عمليّة الاختزال، وَيفصل بينهما خط (|) كالآتي: Cu^{2+} ($Cu_{(s)}$).

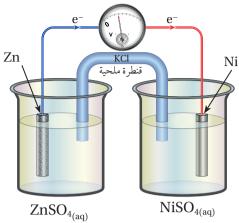
في الخلايا الجلفانية، قد تكون المواد المتفاعلة أيونات ذائبة في المحلول أو مواد غير موصلة أو غازية. في هذه الحالة، لا يمكن استخدام هذه الأيونات أو المواد مباشرة بوصفها أقطابًا كهربائية؛ لأنها ليست مواد صلبة موصلة للكهرباء. لحل هذه المشكلة، يُستخدَم قطب خامل (غير متفاعل) لتوفير سطح موصل يسمح بحدوث تفاعلات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



أُصمِّم -باستخدام [

برنامج مناسب لصناعة الأفلام - فيلم قصيرًا يُوضِّح مُكوِّنات الخليَّة الجلفانيَّة، مُكوِّنات الخليَّة الجلفانيَّة، ومبدأ عملها، وتحوُّلات الطاقة فيها، ثمَّ أُشاركه زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

المثال 2 المثال



أدرس الشكل المجاور، حيث يمثّل خليّة جلفانيّة مكوَّنة من نصف خليّة الخارصين Zn^{2+} Zn ونصف خليّة النيكل Ni²⁺|Ni، ثمَّ أُجيب عن الأسئلة الآتية:

- 1- أُحَدِّدُ كلًّا منَ المِصعد والمِهبط في الخليّة.
 - 2- أكتبُ نصفى تفاعل التأكسد والاختزال.
- 3- أُحَدُّدُ اتجاه حركة الأيونات الموجبة والسالبة من القنطرة الملحيّة.
 - 4- ما التغيُّر في كتلة كلِّ من قطبي النيكل والخارصين؟

خطوات الحل:

1- يُلاحظ من الشكل حركة الإلكترونات من قطب الخارصين باتجاه قطب النيكل؛ أي أنَّ الخارصين Zn يمثّل المِهبط. المِصعد، والنيكل Ni يمثّل المِهبط.

2- أكتبُ نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال:

 $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$

نصف تفاعل التأكسد:

 $Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Ni_{(s)}$

نصف تفاعل الاختزال:

3- تتحرَّك الأيونات السالبة $-Cl^-$ من القنطرة الملحيّة باتجاه نصف خليّة الخارصين $2n^{2+}$ وتتحرَّك الأيونات الموجبة K^+ من القنطرة الملحيّة إلى نصف خليّة النيكل Ni^{2+} Ni

4- تقلّ كتلة قطب الخارصين نتيجة تأكسد ذرّاته وتحوُّلها إلى أيونات Zn^{2+} تنتقل إلى المحلول، وتزداد كتلة قطب النيكل نتيجة اختزال أيوناته Ni^{2+} وترسّبها على القطب.

√ أتحقَّق:

في الخليّة الجلفانيّة التي يحدث فيها التفاعل الآتي:

 $Cr_{(s)} + 3Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Cr^{3+}_{(aq)} + 3Ag_{(s)}$

- 1- أكتتُ نصفى تفاعل التأكسد والاختزال.
- 2- أُحَدِّدُ كلَّا منَ المِصعد والمِهبط واتجاه حركة الإلكترونات في الدارة الخارجيّة.
 - 3- أُحَدِّدُ اتجاه حركة الأيونات السالبة عبرَ القنطرة الملحيّة.
 - 4- ما القطب الذي تزداد كتلته؟ ولماذا؟
 - 5- أكتبُ رمز الخليّة الجلفانيّة.

حهدُ الخلبّة الحلقانيّة الحلقانيّة

يُعَدُّ جهد الخليّة الجلفانيّة Cell Potential مقياسًا لقدرة الخليّة على إنتاج تيار كهربائي، وَيُقاس بالفولت، وهو القوَّة الدافعة الكهربائيّة المتولِّدة بين قطبي الخليّة بسبب فرق الجهد بين القطبين، حيث يزدادُ بزيادة ميل كلِّ من نصفي تفاعل التأكسد والاختزال للحدوث، وبالرجوع إلى خليّة (خارصين – نحاس) السابقة؛ ولمّا كان الخارصين أكثرَ نشاطًا منَ النحاس؛ فهو أكثر ميلًا للتأكسد من النحاس، فيولّد فرق الجهد الناشئ بين القطبين قوَّة دافعة كهربائيّة تدفع الإلكترونات إلى الحركة من النحاس على الخارصين أكثرُ ميلًا للاختزال. يُعبَّرُ عن ميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث بجهد الاختزال، ويُرمَز إليه بالرمز (Ereduction)، وَيُعبَّرُ عن ميل نصف تفاعل التأكسد للحدوث بجهد التأكسد، ويُرمَز إليه بالرمز (Execucion)، ويُعبَّرُ عن ميل نصف تفاعل التأكسد للحدوث بجهد التأكسد، ويُرمَز إليه بالرمز (Execucion).

يمتلك نصف الخليّة الذي يحدث فيه تفاعل الاختزال جهدَ اختزال أعلى من نصف الخليّة الذي يحدث فيه تفاعل التأكسد، والفرقُ بين جهود الاختزال لكلا التفاعلين يساوى جهد الخليّة:

جهد الخليّة = جهد الاختزال لنصف تفاعل المهبط - جهد الاختزال لنصف تفاعل $E_{cell} = E_{reduction(cathode)} - E_{reduction(anode)}$

أمّا عندما يُقاس جهد الخليّة في الظروف المعياريّة: درجة حرارة °25° وتركيز الأيونات يساوي 1M، وضغط الغاز يساوي 1atm؛ فيسمّى جهد الخليّة المعياري Standard cell potential، ويُرمَز إليه المعياري:

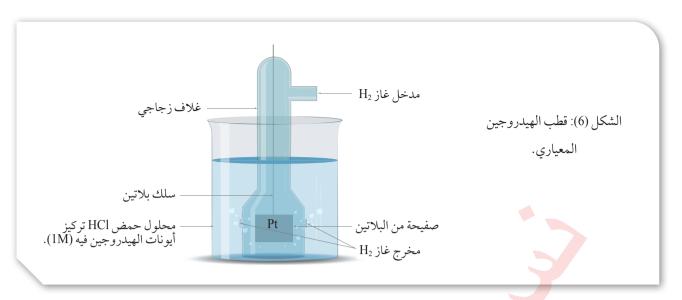
 $E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction(cathode)} - E^{\circ}_{reduction(anode)}$

 $E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{cathode} - E^{\circ}_{anode}$ ويمكن التعبيرُ عنها باختصار كالآتي:

وقد وُجد أنَّ جهد خليَّة (Zn - Cu) المعياري يساوي 1.1 فولت (1.1 V). ولكن؟ هل يمكن قياس جهد الاختزال لنصف خليَّة معيَّنة منفردًا؟ وكيف جرى التوصُّل إلى قِيَمِ جهود الاختزال للأقطاب المختلفة؟

جهدُ الاختزال المعياري Standard Reduction potential

لا يمكن قياس جهد نصف خليّة منفردة، ولكن عند وصل نصفي خليّة لتكوين خليّة جلفانيّة؛ يمكن قياس فرق الجهد بينهما أي جهد الخليّة؛ لذلك اختار العلماء قطبًا مرجعيًّا هو قطب الهيدروجين المعياري Standard Hydrogen electrode لقياس جهود اختزال أقطاب العناصر الأخرى، وقد اختير الهيدروجين؛ لأنَّ نشاطه الكيميائي متوسط بين العناصر، وقد اصطلح العلماءُ على أنَّ جهد الاختزال المعياري له يساوي (0.00 V).



يتكوَّن قطب الهيدروجين المعياري من وعاء يحتوي على صفيحة من البلاتين توفر سطحًا لحدوث التفاعل، وتكون مغموسة في محلول حمض الهيدروكلوريك HCl؛ تركيزُ أيونات الهيدروجين +H فيه Ml، ويُضَخّ غاز الهيدروجين إلى المحلول عند ضغط للغاز يساوي 1 ضغط جوي (1 atm) ودرجة حرارة 2°52، أنظرُ الشكل (6).

يمكن تمثيل التفاعل الذي يحدث في نصف خليّة الهيدروجين بالمعادلة الآتية: $2H^+_{(ag)} + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)} \quad E^\circ = 0.00 \, V$

يشير السهم المزدوج إلى أنّ نصف التفاعل منعكس؛ إذ يمكن لأيونات الهيدروجين أل تأكسد. الهيدروجين أل تأكسد. ولكن، كيف يُقاس جهد الاختزال المعياري لنصف خليّة ما باستخدام قطب الهيدروجين المعياري?

لتوضيح ذلك؛ تُكَوَّنُ خليّة جلفانيّة من نصف خلية الهيدروجين المعيارية ونصف خليّة الخارصين مثلًا في الظروف المعياريّة، كما في الشكل (7)؛ إذ يُلاحظ



أنَّ قراءة الفولتميتر (0.76 V)، وهي قراءة تمثّلُ فرق الجهد بين قطبي الخارصين والهيدروجين المعياريين، ولكي يُحدَّد جهد الاختزال المعياري للخارصين يجب تحديد المصعد والممهبط في الخليّة، حيث يُلاحظُ أنَّ اتجاه حركة الإلكترونات من قطب الخارصين باتجاه قطب الهيدروجين المعياريين؛ أي أنَّ قطب الخارصين عمليّة تأكسد، حسب المعادلة:

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

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

 $Zn_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$ $E^{\circ}_{cell} = 0.76 \, V$

لحساب جهد الاختزال المعياري للخارصين؛ تُستخدَم العلاقة:

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

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

 $E_{Zn}^{\circ} = -0.76 \,\text{V}$

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

القيمة السالبة لجهد الاختزال المعياري لقطب الخارصين تعني أنَّ أيونات الخارصين أقلُّ ميلًا للاختزال من أيونات الهيدروجين؛ لذلك اختُزِلَت أيونات الهيدروجين؛ لذلك اختُزِلَت أيونات الهيدروجين وتأكسدت ذرّاتُ الخارصين في التفاعل الذي حدث في الخليّة الجلفانيّة.

وَيُعَرَّفُ جِهدُ الاختزال المعياري Standard Reduction potential للقطب بأنه مقياسٌ لميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث في الظروف المعياريّة.

وكذلك؛ فإنَّ ذرّات الخارصين أكثر 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 ويعاكسُهُ في الإشارة.

جهد التأكسد المعياري = - جهد الاختزال المعياري $-E^{\circ}_{\text{reduction}} = E^{\circ}_{\text{oxidation}}$

 $Pt \mid H_{2(g)} \mid 2H^{+}_{(aq)} \mid Cu^{2+}_{(aq)} \mid Cu_{(s)}$ في الخليّة الجلفانيّة الممثلة بالرمز الآتي: $0.34 \, V = E^{\circ}_{cell} \,$ وأحسبُ جهد الاختزال المعياري للنحاس.

خطوات الحل:

نصف تفاعل الاختزال:

1- بالاعتماد على مخطط الخليّة الجلفانيّة؛ أحدّد نصفَ تفاعل التأكسد ونصفَ تفاعل الاختزال؛ حيث يمثّل قطب الهيدروجين المعياري نصفَ خليّة الاختزال.

$$Cu^{2+}_{(a0)} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$$

$$H_{2(g)} + Cu^{2+}_{(ag)} \rightarrow 2H^{+}_{(ag)} + Cu_{(s)}$$
 المعادلة الكُليّة:

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

$$0.34\,\mathrm{V} = \mathrm{E^{\circ}_{Cu}} - 0.00$$
 :بالتعويض فيها

$$E_{Cu}^{\circ} = 0.34 \, V$$
 E disconnected History Line (1998) E disconnected History (1998) E disc

جهد الاختزال المعياري للنحاس أكبر منه للهيدروجين؛ ، ويعني ذلك أنَّ أيونات النحاس أكثر ميلًا للاختزال من أيونات الهيدروجين؛ النحاس في التفاعل الذي حدث في الخليّة الجلفانيّة.

√أتحقَّة:

لديّ خليّة جلفانيّة مكوَّئة من نصف خليّة الهيدروجين $H^+|H_2|$ ونصف خليّة الكادميوم $Cd^{2+}|Cd$ المعياريين؛ أحسبُ جهد الاختزال المعياري للكادميوم إذا علمتُ أنَّ جهد الخليّة المعياري يساوي $0.4 \, V$ ونقصت كتلةً قطب الكادميوم بعد تشغيل الخليّة مدة من الزمن.

جدول جهود الاختزال المعياريّة Standard Reduction Potentials

استُخدِم قطبُ الهيدروجين المعياري في بناء خلايا جلفانيّة متعدِّدة، وعن طريق قياس جهودها المعياريّة؛ حُسِبَت جهودُ الاختزال المعياريّة للأقطاب المختلفة التي استُخدِمت فيها، واتفقَ الكيميائيون على كتابة أنصاف التفاعلات على شكل أنصاف تفاعل اختزال في الاتجاه الأمامي، وترتيبها وفقًا لتزايد جهود الاختزال المعياريّة في جدول شمِّى جدولَ جهود الاختزال المعياريّة، أنظرُ الجدول (2).

الجدول (2): جهو د الاختزال المعياريّة عند درجة حرارة ℃25.

				.20 0 575	عران المعيارية عند درجه	2,136. (-) 0311.
		ختزال	ب تفاعل الا	نصة		E° (V)
$\mathrm{Li}^{+}_{\;\;(\mathrm{aq})}$		+	e^{-}		$\mathrm{Li}_{(\mathrm{s})}$	-3.05
$K^{+}_{(aq)}$		+	e^{-}	$\overline{}$	$K_{(s)}$	-2.92
$Ca^{2+}_{(aq)}$		+	2e-	$\overline{}$	$Ca_{(s)}$	-2.76
Na ⁺ (aq)		+	e^{-}	$\overline{}$	$Na_{(s)}$	-2.71
${\rm Mg}^{2+}_{\rm (aq)}$		+	2e-		$Mg_{(s)}$	-2.37
$\mathrm{Al}^{3+}_{(aq)}$		+	3e-		$Al_{(s)}$	-1.66
Mn ²⁺ (aq)		+	$2e^{-}$	$\overline{}$	$Mn_{(s)}$	-1.18
$2H_2O_{(l)}$		+	2e-	← 20H [−]	+ H _{2(g)}	-0.83
$Zn^{2+}_{(aq)}$		+	2e-	$\overline{}$	$Zn_{(s)}$	-0.76
Cr ³⁺ (aq)	نز دا د ا	+	3e-	$\overline{}$	$\operatorname{Cr}_{(\mathrm{s})}$	-0.73
Fe ²⁺ (aq)	:9	+	2e-		$Fe_{(s)}$	-0.44
$\operatorname{Cd}^{2+}_{(aq)}$;o'	+	$2e^{-}$	←	$Cd_{(s)}$	-0.40
$\operatorname{Co}^{2+}_{(aq)}$	3	+	$2e^{-}$		$Co_{(s)}$	-0.28
$\mathrm{Ni}^{2+}_{(\mathrm{aq})}$	3	+	$2e^{-}$		$\mathrm{Ni}_{(\mathrm{s})}$	-0.23
Sn ²⁺ (aq)	قوة العوامل المؤ	+	$2e^{-}$		$\operatorname{Sn}_{(s)}$	-0.73 -0.44 -0.40 -0.28 -0.23 -0.14
Pb ²⁺ (aq)	كسدة	+	2e-	←	$Pb_{(s)}$	-0.13
Fe ³⁺ (aq)	7:0	+	3e-		$Fe_{(s)}$	-0.04
2H ⁺ (aq)		+	2e-	\longrightarrow	$H_{2(g)}$	0.00
$Cu^{2+}_{(aq)}$		+	2e-		$Cu_{(s)}$	0.34
$I_{2(s)}$		+	2e-	$\overline{}$	$2I^{-}_{(aq)}$	0.54
Fe ³⁺ (aq)		+	e-		Fe ²⁺ (aq)	0.77
$Ag^{+}_{(aq)}$		+	e-	\longrightarrow	$Ag_{(s)}$	0.80
$Hg^{2+}_{(aq)}$		+	2e-		$Hg_{(l)}$	0.85
$\mathrm{Br}_{2(\mathrm{l})}$		+	2e-		$2\mathrm{Br}^{-}_{\mathrm{(aq)}}$	1.07
$O_{2(g)}$	$+4H^{+}$	+	4e-	7	$2H_2O_{(l)}$	1.23
$\operatorname{Cr_2O_7}^{2-}_{(aq)}$	$+ 14H^{+}$	+	6e-	\longrightarrow 7H ₂ O _(I)	$+$ $2Cr^{3+}_{(aq)}$	1.33
$\mathrm{Cl}_{2(g)}$		+	2e-	\leftarrow	$2Cl^{-}_{(aq)}$	1.36
$\mathrm{Au}^{3+}_{(\mathrm{aq})}$		+	3e-		$Au_{(s)}$	1.50
$MnO_4^{(aq)}$	+ 8H ⁺	+	5e-	\longleftrightarrow 4H ₂ O _(l)	·	1.51
$F_{2(g)}$		+	2e-		$2F^{-}_{(aq)}$	2.87

* القيم الواردة في الجدول ليست للحفظ.

أُلاحظ أنّ أنصاف تفاعلات الاختزال في الجدول منعكسة، وأنّ الموادّ على يسار المعادلة تمثّل عوامل مؤكسدة تحدث لها عمليّة اختزال، في حين تمثّل الموادُّ على يمين المعادلة عوامل مُختزلة تحدث لها عمليّة تأكسد، كما أنَّ جهود الاختزال تزداد من أعلى إلى أسفل في الجدول. يُستفاد من جدول جهود الاختزال المعياريّة في حساب جهد الخليّة المعياري، والتنبُّؤ بتلقائيّة تفاعلات التأكسد والاختزال، إضافة إلى مقارنة قوّة العوامل المؤكسدة والمُختزلة.

حساب جهد الخلية المعياري

بمعرفة جهود الاختزال المعياريّة للأقطاب المُكوِّنة للخليّة الجلفانيّة؛ يمكن حساب $E^{\circ}_{cell}=E^{\circ}_{(cathode)}-E^{\circ}_{(anode)}$ جهد الخليّة المعياري حسب المعادلة الآتية: $E^{\circ}_{cell}=E^{\circ}_{(cathode)}$ و الأمثلة الآتية توضِّح ذلك.

المثال 4 ا

أحسبُ جهدَ الخليّة المعياري للخليّة الجلفانيّة التي يحدث فيها التفاعل الآتي:

$$Co^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)} \rightarrow Co_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)}$$

تحليل السؤال:

المعطيات: المعادلة الكُليّة للتفاعل.

المطلوب: حساب جهد الخليّة المعياري E°cell.

خطوات الحل:

1- أُحَدِّدُ نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال اعتمادًا على معادلة التفاعل الكُليّة:

$$Fe_{(s)} \, \to \, Fe^{^{2+}}{}_{(aq)} \, + \, 2e^{^-}$$

نصف تفاعل التأكسد:

$$\operatorname{Co}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow \operatorname{Co}_{(s)}$$

نصف تفاعل الاختزال:

2- أنقل من الجدول (2) نصفى تفاعل الاختزال، وجهود الاختزال المعياريّة لنصفى التفاعل السابقين:

$$Fe^{^{2+}}{}_{(aq)} \,+\, 2e^{^-} \Longleftrightarrow Fe_{(s)} \quad E^{^{s}}{}_{Fe} \,=\, -\, 0.44 \, V$$

$$\text{Co}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \iff \text{Co}_{(s)} \quad \text{E}^{\circ}_{Co} = -0.28 \text{ V}$$

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

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

15 Mall 81

خليّة جلفانيّة مكوَّنة من نصف خليّة الفضّة Ag+|Ag ونصف خليّة المغنيسيوم Mg²⁺|Mg في الظروف المعياريّة. بالرجوع إلى جهود الاختزال المعياريّة لكلِّ منهما في الجدول (2)؛ أكتب المعادلة الكلية الموزونة للتفاعل، وأحسب جهدَ الخليّة المعياري. تحليل السؤال:

المعطيات: تتكوَّن الخليَّة الجلفانيَّة من نصف خليَّة الفضة ونصف خليَّة المغنيسيوم في الظروف المعياريَّة. المعطوب: حساب جهد الخليَّة المعياري E°cel.

خطوات الحل:

1- أكتبُ نصفي تفاعل الاختزال لكلِّ من قطبي الفضّة والمغنيسيوم:

$$Ag^{+}_{(aq)} + e^{-} \Longrightarrow Ag_{(s)} \qquad E^{\circ}_{Ag} = 0.80 \text{ V}$$

$$Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \Longrightarrow Mg_{(s)} \qquad E^{\circ}_{Mg} = -2.37 V$$

2- أكتبُ نصفى تفاعل التأكسد والاختزال الحادثين في الخليّة الجلفانيّة.

ألاحظ أنَّ جهد الاختزال المعياري للفضّة أعلى منه للمغنيسيوم؛ أي أنَّ أيونات الفضّة +Ag أكثر ميلًا للاختزال من أيونات +Mg² لذلك فإنَّ قطب الفضّة Ag يمثّل الوهبط في الخليّة الجلفانيّة، حيث تُختزَل أيوناته؛ في حين يمثّل قطب المغنيسيوم Mg المصعد فيها، حيث تتأكسدُ ذرّاتُه، كما في المعادلات الآتية:

$${
m Mg}_{({
m s})}
ightarrow {
m Mg}^{2+}_{({
m aq})} \, + \, 2{
m e}^-$$
نصف تفاعل التأكسد:

$$Ag^{+}_{(aq)} + e^{-} \rightarrow Ag_{(s)}$$
 نصف تفاعل الاختزال:

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

$$Mg_{(s)} + 2Ag^{+}_{(aq)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$$

3- حساب جهد الخليّة المعياري E° و .E

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

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

أُلاحظُ أنَّ جهدَ الاختزال المعياري للفضّة لم يتأثر بضرب نصف تفاعل الاختزال بالمعامل (2)؛ لأنَّ جهد الاختزال يعتمد على نوع المادَّة وليس على كميَّتها (عدد مو لاتها).

المثال 6 آ

في الخليّة الجلفانيّة المُمثَّلة بالرمز الآتي:

$$Ni_{(s)}|Ni^{2+}_{(aq)}||Fe^{3+}_{(aq)},Fe^{2+}_{(aq)}|Pt$$

أحسب جهد الخليّة المعياري E°cell.

تحليل السؤال:

المعطيات: رمز الخلية الجلفانية.

المطلوب: حساب جهد الخليّة المعياري.

خطوات الحل:

1. أحدّد نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال اعتمادًا على مخطّط الخليّة الجلفانيّة:

نصف تفاعل التأكسد:

$$Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{^{2+}}{}_{(aq)} + 2e^{^-}$$

نصف تفاعل الاختزال:

$$Fe^{3+}_{(aq)} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$$

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

$$2Fe^{3+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow 2Fe^{2+}_{(aq)}$$

2. أنقل من الجدول (2) نصفى تفاعل الاختزال، وجهود الاختزال المعياريّة لنصفى التفاعل السابقين:

$$Fe^{3+}_{(aq)} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$$

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

$$Ni^{^{2+}}{}_{(aq)} + 2e^- \, \to \, Ni_{(s)}$$

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

3. أحسب جهد الخليّة المعياري E°cell.

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

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

أتحقَّ ق: خليّة جلفانيّة مكوَّنة من نصف خليّة الكروم Cr^{3+} ونصف خليّة النحاس Cu^{2+} المعياريين. بالرجوع إلى جهود الاختزال المعياريّة لكلِّ منهما في الجدول (2)؛ أحسبُ جهدَ الخليّة المعياري.

التجرية ا

مقارنة جهود بعض الخلايا الجلفانية

المواد والأدوات:

محاليل حجمُ كلِّ منها (100 mL) بتركيز (1 M) من كلٍّ منَ المركبات الآتية: كبريتات الخارصين $200 \, \text{mL}$ ، نترات الرصاص $200 \, \text{mL}$ ، نترات الألمنيوم $300 \, \text{mL}$ ، و (200 mL) من محلول كبريتات النحاس $300 \, \text{mL}$ ، تركيزُه الرصاص $300 \, \text{mL}$ ، نترات الألمنيوم ورق صنفرة ، فولتميتر ، أسلاك توصيل ، (1 M) مفيحة من كل منَ: الخارصين ، النحاس ، الرصاص ، الألمنيوم ، ورق صنفرة ، فولتميتر ، أسلاك توصيل ، أُنبوب على شكل حرف U ، محلول مشبع من كلوريد البوتاسيوم KCl ، قطن ، كؤوس زجاجيّة سَعة $300 \, \text{mL}$ عدد (4) ، ماء مُقَطَّر .

إرشادات السلامة:

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

خطواتُ العمل:

1- أقيس: أُحضِرُ كأسين زجاجيتين، وأضعُ mL 50 mL من محلول كبريتات النحاس في الكأس الأولى و 50 mL من محلول كبريتات النحاس في الكأس الثانية.



- 2- أُجَرِّب: أُنَظِّفُ صفيحتي النحاس والخارصين جيِّدًا باستخدام ورق الصنفرة، وأغسلهما بالماء المُقَطَّر، وأترُكُهُما تجفّان.
- 3- أُجَرِّب: أضَعُ صفيحة النحاس في الكأس الأولى وصفيحة الخارصين في الكأس الثانية، ثمَّ أوصلُ أسلاك التوصيل من طرف بالصفيحة ومنَ الطرف الآخر بالفولتميتر لكلا الصفيحتين، وأُلاحظُ: هل تحرَّكَ مؤشِّرُ الفولتميتر ؟
- 4- أُجَرِّب: أملاً الأنبوب الذي على شكل حرف U تمامًا بمحلول كلوريد البوتاسيوم المشبع، وأتأكَّد من عدم وجود فقاعات هواء فيه، ثمَّ أُغلقُ طرفيه بقليل من القطن.
- 5- أُلاحظ: أقلبُ الأنبوبَ بحيث يصلُ بين الكأسين (نصف خليّة النحاس ونصف خليّة الخارصين)، وأُلاحظ تحرُّك مؤشِّر الفولتميتر (إذا تحرَّك المؤشِّر بالاتجاه السالب أعكسُ الأسلاك الموصولة به)، وَأُسَجِّل قراءته في الجدول، أراقب الخلية عدة دقائق، وألاحظ التغيُّر في شدّة اللون الأزرق لمحلول كبريتات النحاس. علام يدل ذلك؟
- 6- أُجَرِّب: أُكَرِّر الخطوات السابقة باستخدام أنصاف الخلايا (نحاس ألمنيوم)، (نحاس رصاص)، ثم (رصاص ألمنيوم)، وأحرص على غمس كلِّ صفيحة في محلول مركَّبها، وأُحضِر القنطرة الملحيّة من جديد بعد غسل الأُنبوب وتجفيفه.
 - 7- أُنظِّمُ البيانات. أُسَجِّل قِيَمَ جهود الخلايا في الجدول الآتي: جدول البيانات

الخليّة	جهد الخليّة المقاس	جهد الخليّة المعياري V
نحاس - خارصين		1.1
نحاس - ألمنيوم		2.0

التحليل والاستنتاج:

- 1- أُحَدِّدُ المِصعد والمِهبط في كلِّ خليّة جلفانيّة.
 - 2- أكتبُ التفاعل الكليّ في كلِّ خليّة جلفانيّة.
- 3- أُقارنُ بين جهود الخلايا الجلفانيّة التي جرى قياسُها، وَأُفَسِّرُ الاختلاف بينها.
- 4- أتوقعُ ترتيب الفِلِزّات وفق تزايد جهود اختزالها اعتمادًا على قِيَم جهود الخلايا المقيسة.

التنبُّؤُ بتلقائية حدوث تفاعلات التأكسد والاختزال

تتفاعل بعض الفِلزّات مع محلول حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف فينطلقُ عاز الهيدروجين؛ بينما لا يتفاعل بعضها الآخر، ومثال ذلك تفاعلُ النيكل مع حمض الهيدروكلوريك وإطلاق غاز الهيدروجين، أمّا النحاس فلا يتفاعل، ويحلُّ النحاس محلَّ الفضة في محلول نترات الفضّة؛ بينما لا تحلُّ الفضّة محلَّهُ في محلول نترات النحاس. هل يمكنُ استخدام جهود الاختزال المعياريّة في التنبُّو بتفاعلت التأكسد والاختزال؟

تُستخدَم جهود الاختزال المعياريّة للتنبُّؤ بتلقائية حدوث تفاعل التأكسد والاختزال؛ فتلقائيّة التفاعل Spontaneity of Reaction هي حدوث التفاعل دون الحاجة إلى طاقة كهربائيّة لإجراء التفاعل، وعند حساب جهد الخليّة المعياري للتفاعل؛ فإذا كان موجبًا يكون التفاعل تلقائيًّا؛ أمّا إذا كان سالبًا فيكون التفاعل غير تلقائي.

17 Mall

أتوقع، بالاستعانة بالجدول (2)، أيَّ تفاعلاتِ التأكسد والاختزال الممثلة بالمعادلات الآتية يحدثُ بشكل تلقائي، وَأُفَسِّرُ ذلك.

$$\begin{split} Pb^{2+}_{\;\;(aq)} + 2Cl^{-}_{\;\;(aq)} &\to Pb_{(s)} + Cl_{2(g)} \\ 2Fe^{3+}_{\;\;(aq)} + Sn_{(s)} &\to 2Fe^{2+}_{\;\;(aq)} + Sn^{2+}_{\;\;(aq)} \end{split}$$

خطوات الحل:

$$Pb^{2+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)} \rightarrow Pb_{(s)} + Cl_{2(g)}$$

ے

1- أكتبُ نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال:

$$Pb^{^{2+}}{}_{(aq)} + 2e^- \, \rightarrow \, Pb_{(s)}$$

نصف تفاعل الاختزال:

$$2Cl_{(aq)}^{-} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^{-}$$

نصف تفاعل التأكسد:

2- بالرُّجوع إلى جدول جهود الاختزال المعياريَّة؛ أجدُ أنَّ:

جهد الاختزال المعياري للرصاص

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

جهد الاختزال المعياري للكلور

$$E^{\circ}_{Cl_2} = 1.36 \text{ V}$$

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

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

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

ألاحظ أنَّ قيمة جهد الخليَّة المعياري للتفاعل سالبة؛ ويعني ذلك أنَّ التفاعل غير تلقائيِّ الحدوث. ويمكن التوصُّل إلى النتيجة السابقة نفسها عند مقارنة جهود الاختزال المعياريّة لكلِّ من الرصاص والكلور؛ ألاحظ أنَّ جهد الاختزال للكلور أكبر من جهد اختزال الرصاص، ومن ثَمَّ لا تتأكسد أيونات الكلوريد $^-$ Cl و لا تُختزَل أيونات الرصاص $^+$ Pb.

$$2Fe^{3+}_{(aq)} + Sn_{(s)} \rightarrow 2Fe^{2+}_{(aq)} + Sn^{2+}_{(aq)}$$
 ...

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

$$2Fe^{^{3+}}{}_{(aq)} \; + \; 2e^{^{-}} \, \to \, 2Fe^{^{2+}}{}_{(aq)}$$

نصف تفاعل الاختزال:

$$Sn_{(s)} \rightarrow Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$$

نصف تفاعل التأكسد:

2- بالرُّجوع إلى جدول جهود الاختزال المعياريّة؛ أختار أنصاف تفاعل الاختزال للقصدير وأيونات الحديد +Fe3:

$$Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \Longrightarrow Sn_{(s)}$$

$$E^{\circ}_{Sn} = -0.14 \,\mathrm{V}$$

$$2Fe^{3+}_{(aq)} + 2e^{-} \Longrightarrow 2Fe^{2+}_{(aq)}$$

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

3- أحسبُ جهدَ الخليّة المعياري E'cell للتفاعل:

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

$$E^{\circ}_{cell} = 0.77 - (-0.14) = +0.91 \,V$$

ألاحظ أنَّ جهد الخليّة المعياري للتفاعل موجبٌ؛ ويعنى ذلك أنّ التفاعل تلقائيّ الحدوث.

المثال 8 أ

. أُفَسِّر: يتفاعل فِلِزَّ النيكل Ni مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl، وينطلق غاز الهيدروجين.

خطوات الحل:

1- أكتبُ معادلة أيونيّة تمثّل تفاعل فِلِزّ النيكل مع حمض الهيدروكلوريك، حسب المعادلة الآتية:

$$Ni_{(s)} \, + \, 2H^{^{+}}{}_{(aq)} \, \rightarrow \, Ni^{2+}{}_{(aq)} \, + \, H_{2(g)}$$

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

$$Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$$

نصف تفاعل التأكسد:

$$2H^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)}$$

نصف تفاعل الاختزال:

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

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

جهد الاختزال المعياري للنيكل

$$E^{\circ}_{H_2} = 0.00 \text{ V}$$

وجهد الاختزال المعياري للهيدروجين

ألاحظ أنَّ جهد الاختزال المعياري للهيدروجين أكبر من جهد الاختزال المعياري للنيكل؛ أي أنَّ أيونات الهيدروجين وتتأكسد الهيدروجين أكثر ميلًا لكسب الإلكترونات من أيونات النيكل؛ لذلك تُختزَل أيونات الهيدروجين وتتأكسد

ذرّات النيكل، ويكون التفاعل تلقائيًّا وجهد الخليّة موجبًا، كما يَتَّضِح عند حساب جهد الخليّة المعياري للتفاعل:

$$\begin{split} E^{\circ}_{\ cell} \ = \ E^{\circ}_{\ cathode(H_2)} \ - \ E^{\circ}_{\ anode(Ni)} \\ E^{\circ}_{\ cell} \ = \ 0.00 \ - \ (\ -0.23\) \ = \ + \ 0.23\ V \end{split}$$

لذلك يتفاعل النيكل مع حمض الهيدروكلوريك ويتصاعد غاز الهيدروجين.

المثال 91

. أُفَسِّر: لا يتفاعل فِلِزَّ النحاس Cu مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl المُخفَّف، ولا ينطلق غاز الهيدروجين.

خطوات الحل:

1- أفترض حدوث التفاعل، وأكتبُ معادلته:

$$Cu_{(s)} + 2H^{^{+}}{}_{(aq)} \to Cu^{^{2+}}{}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

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

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

نصف تفاعل التأكسد:

$$2H^{^{+}}{}_{(aq)} + \ 2e^{^{-}} \rightarrow H_{2(g)}$$

نصف تفاعل الاختزال:

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

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

جهد الاختزال المعياري للنحاس

$$E^{\circ}_{H_2} = 0.00 \text{ V}$$

وجهد الاختزال المعياري للهيدروجين

ألاحظ أنَّ جهدَ الاختزال المعياري للنحاس أكبر منه للهيدر وجين؛ أي أنَّ أيونات النحاس أكثر ميلًا للاختزال من أيونات الهيدر وجين؛ لذلك لا يتأكسد النحاس ولا تُختزل أيونات الهيدر وجين.

ويمكن حسابُ جهد الخليّة المعياري للتفاعل المُفترض، والتنبُّؤ بتلقائيّة حدوث التفاعل:

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{cathode(H_2)} - E^{\circ}_{anode(Cu)}$$

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

ألاحظ أنَّ جهد الخليّة المعياري للتفاعل المُفترض سالبٌ؛ أي أنَّ التفاعل غير تلقائيِّ الحدوث.

ويمكن أيضًا استخدام جهود الاختزال المعياريّة للتنبُّو بإمكانيّة تفاعل الفِلزّات أو اللافِلزّات مع محاليل الأملاح، كما في الأمثلة الآتية:

هل يمكن تحريك محلول نترات الفضّة ${ m AgNO}_3$ بمِلعقة من الكروم ${ m Cr}$

المعطيات:

المحلول المستخدم AgNO3، الملعقة مصنوعة من الكروم Cr.

المطلوب:

هل يحدث تفاعل بين نترات الفضّة AgNO₃ والكروم Cr؟

الحل:

لتحريك محلول ما بِمِلعقة معيَّنة؛ يجب ألّا يحدث تفاعل بينها وبين أيونات المحلول عند تحريكه بها. ولمعرفة ذلك؛ يُفترَض حدوث تفاعل وكتابة معادلته كالآتي: $3Ag^+_{(a0)} + Cr_{(s)} \rightarrow 3Ag_{(s)} + Cr^{3+}_{(a0)}$

ألاحظ أنَّ التفاعل المتوقع هو تأكسدُ ذرَّات الكروم واختزال أيونات الفضّة؛ وللحكم على إمكانيَّة حدوث التفاعل يُرجَع إلى جهود الاختزال المعياريّة للفضّة والكروم، وهي $(E^*_{Cr} = -0.73 \, V \, E^*_{Ag} = 0.8 \, V)$ ؛ فألاحظ أنَّ جهد اختزال الكروم المعياري؛ أي أنَّ أيونات الفضّة أكثر ميلًا للاختزال من أيونات الكروم؛ لذلك يتأكسد الكروم ويَختَزِل أيونات الفضّة؛ أي أنَّ التفاعل بينهما تلقائي.

ويمكنُ أيضًا حسابُ جهد الخليّة المعياري للتفاعل كالآتي:

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

$$E_{cell}^{\circ} = 0.8 - (-0.73) = +1.53 \,\mathrm{V}$$

ألاحظ أنَّ جهد الخليَّة المعياري للتفاعل موجبٌ؛ أي أنَّ التفاعل تلقائي الحدوث، ومن ثَمَّ لا يمكن تحريك محلول نترات الفضّة بمِلعقة من الكروم.

المثال 21

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

تحليل السؤال:

المعطيات: المحلول المستخدم بروميد البوتاسيوم KBr، المادة المستخدمة اليود ${
m I_2}$

المطلوب: هل يحدث تفاعل بين محلول بروميد البوتاسيوم KBr واليود I_2 ويتكوّن البروم 2 8.

الحل

كتابة معادلة التفاعل المتوقع:

 $2Br^{^{-}}{}_{(aq)} + I_{2(s)} \, \to \, 2I^{^{-}}{}_{(aq)} + Br_{2(l)}$

ألاحظ أنَّ التفاعل المتوقع هو تأكسدُ أيونات البروميد Br^- واختزال اليود E^- وللحكم على إمكانيّة حدوث التفاعل؛ يُرجَعُ إلى جهود الاختزال المعياريّة للبروم واليود: $(E^{\circ}_{Br_2} = 1.07 \, V \cdot E^{\circ}_{I_2} = 0.54 \, V)$ ؛ إذ يُلاحظُ أنَّ جهد الاختزال المعياري للبروم أعلى من جهد الاختزال المعياري لليود، ثمَّ إنّ البروم Er_2 أكثرُ ميلًا للاختزال من

اليود I_2 ؛ لذلك لا تتأكسد أيونات البروميد Br^- و لا تَختَزِل اليود I_2 ؛ أي أنَّ التفاعل بينهما غير تلقائي. ويمكن أيضًا حساب جهد الخليّة المعياري للتفاعل كالآتي:

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

$$E_{cell}^{\circ} = 0.54 - 1.07 = -0.53 \text{ V}$$

ألاحظ أنَّ جهد الخليَّة المعياري للتفاعل سالبٌ؛ أي أنَّ التفاعل غير تلقائي الحدوث، ومن ثمّ لا يمكن تحضير البروم Br₂ من محلول بروميد البوتاسيوم KBr باستخدام اليود L₂.

٧ أتحقَّق

باستخدام جدول جهود الاختزال المعياريّة أُجيبُ عمّا يأتي:

- 1- أتوقع: هل يمكن حفظُ محلول كبريتات الحديد FeSO₄ II في وعاء من الألمنيوم Al؟ أُبِرِّرُ إجابتي.
- 2- أتوقع: هل يمكن حفظُ محلول نترات المغنيسيوم 12 Mg(NO₃) في وعاء من القصدير Sn؟ أُبرِّرُ إجابتي.

مقارنة قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة

بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعياريّة؛ يَتَّضِح أَنَّ جهود الاختزال المعياريّة تزداد من أعلى إلى أسفل في الجدول؛ أي يزداد ميلُ نصف تفاعل الاختزال للحدوث؛ ويعني ذلك أَنَّ قوّة العوامل المؤكسدة تزداد أيضًا، فيكون الفلور \mathbf{F}_2 أقوى عامل مؤكسد، في حين يكون أيون الليثيوم $\mathbf{L}\mathbf{i}^+$ أضعف عامل مؤكسد، وكذلك فإن ميل نصف تفاعل التأكسد للحدوث يقل بالاتجاه نحو الأسفل أي بزيادة جهود الاختزال المعيارية، وبذلك تقل قوة العامل المختزِل؛ أي أنَّ الليثيوم $\mathbf{L}\mathbf{i}$ عامل مختزل، في حين يمثّل أيون الفلوريد \mathbf{F} أضعف عامل مختزل. والأمثلة الآتية توظيف جهود الاختزال لمقارنة قوّة العوامل المؤكسدة والمختزلة.

الربطُ مع الحياة

يحدث أحيانًا انتفاخ عُلب الأغذية؛ لعدّة أسباب، منها: تفاعل الأغذية الحامضيّة مع الفِلزِّ المُكوِّن للعُلبة المحفوظةِ فيها، وينتجُ عن ذلك غاز الهيدروجين؛ فيتسبّب في انتفاخ العُلبة، وغالبًا ما تكون هذه التفاعلات جزءًا من العوامل التي تُحدِّد مدّة صلاحيّة هذه المُنتجات.



22 Mall

أستعينُ بجدول جهود الاختزال المعياريّة، وَأُرَتِّبُ الموادَّ الآتية تصاعديًّا وفقَ قوَّتها بوصفها عوامل مؤكسدة في الظروف المعياريّة: Cl₂ Cd²⁺ (MnO₄⁻ Al³⁺

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

بالعودة إلى جدول جهود الاختزال المعياريّة؛ أختار أنصاف التفاعلات للمواد السابقة، وأُرَتِّبها وفق تزايد

جهود الاختزال المعيارية؛ فيكون أعلى يسار الجدول أضعفَ عامل مؤكسد يمتلك أقل جهد اختزال معياري؛ أي أنّ أيونات الألمنيوم ${
m AI}^3$ أضعفُ عامل مؤكسد، وأنّ لـ ${
m MnO_4}^-$ أعلى جهد اختزال معياري؛ أي أنه أقوى عامل مؤكسد. أمّا ترتيب الموادِّ حسب قوَّتها بوصفها عوامل مؤكسدة فهو:

$$MnO_4^- > Cl_2 > Cd^{2+} > Al^{3+}$$

23 dlall

أستعينُ بجدول جهود الاختزال المعياريّة، ثُمَّ أُجيب عمّا يأتي:

1- أُرَتِّبُ الموادَّ الآتية تصاعديًّا وفقَ قوَّتها بوصفها عوامل مختزلة في الظروف المعياريّة:

Ag , K , I ⊂ , Co ◆

2- هل يمكنُ لأيونات الكوبلت Co^{2+} أكسدةُ أيونات اليوديد I^{-} أُفَسِّرُ إجابتي.

الحل:

نصف تفاعل الاختزال	E° (V)
K ⁺ + e [−] ← K	-2.92
$\operatorname{Co}^{2+} + 2e^{-} \longleftrightarrow \operatorname{Co}$	-0.28
$I_2 + 2e^- \iff 2I^-$	0.54
$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$	0.80

1- بالعودة إلى جدول جهود الاختزال المعياريّة؛ أختار أنصاف التفاعلات للموادِّ السابقة، وَأُرَّتِها وفقَ تزايد جهود الاختزال المعيارية؛ فيكون أسفل يمين الجدول وهو Ag، أضعف عامل مختزل؛ أي أقلها ميلًا إلى التأكسد، ويكون أعلى يمين الجدول، وهو K، أقوى عامل مختزل؛ أي أكثرها ميلًا إلى التأكسد، ويكون ترتيب بقيّة العوامل المختزلة تصاعديًّا كالآتي:

 $K > Co > I^- > Ag$

2- أُقارن جهود الاختزال المعياريّة للكوبلت واليود؛ فأُلاحظ أنَّ جهد الاختزال المعياري لليود أعلى منه للكوبلت؛ أي أنَّ اليود أكثر ميلًا للاختزال من أيونات الكوبلت؛ لذلك لا تؤكسد أيوناتُ الكوبلت +CO² أيونات اليوديد -I.

24 dial

نصف تفاعل الاختزال	E° (V)
$Cr^{3+} + 3e^- \iff Cr$	-0.73
$Cl_2 + 2e^- \iff 2Cl^-$	+1.36
Ni ²⁺ + 2e [−] ← Ni	-0.23
$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$	-0.13

أدرسُ جهودَ الاختزال المعياريّة في الجدول، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:

- 1- أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد.
- 2- أُحَدِّدُ أقوى عامل مختزل.
- 3- هل يستطيع النيكل Ni اختزالَ جُزيئات الكلور Cl₂؟ أُفَسِّرُ إجابتي.
- 4- هل تستطيع أيوناتُ الكروم +Cr أكسدة الرصاص Pb؟ أُفَسِّرُ إجابتي.

الحل:

1- أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد: تحدث للعامل المؤكسد عمليّة اختزال، وأقوى عامل مؤكسد هو المادّة التي لها

 $E^{\circ} = 1.36 \, V$ أعلى جهد اختزال معياري، وَيَتَّضِح من الجدول أنه الكلور Cl_2 ، وجهد اختزاله المعياري، وَيَتَّضِح من العامل المختزل عمليّة تأكسد، وأقوى عامل مختزل هو المادَّة التي لها أقلّ $E^{\circ} = -0.73 \, V$. وجهد اختزال معياري، وَيَتَّضِح من الجدول أنه الكروم Cr وجهد اختزاله المعياري وَيَتَّضِح من الجدول أنه الكروم Cr

3- أُقارنُ جهدَ اختزالُ النيكل (V 0.23 V) وجهدَ اختزال الكلور (1.36 V)، فَأُلاحِظُ أَنَّ جهد اختزال النيكل المعياري أقلُ من جهد اختزال الكلور المعياري؛ لذلك يتأكسد النيكل ويختزلُ جزيئات الكلور. ويمكن كتابة معادلة التفاعل المتوقع وحساب جهد الخليّة المعياري للتفاعل كالآتي:

$$Ni + Cl_2 \rightarrow Ni^{2+} + 2Cl^{-}$$

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{cathode(Cl_2)} - E^{\circ}_{anode(Ni)}$$

$$E^{\circ}_{cell} = 1.36 - (-0.23) = 1.59 \,V$$

بما أنَّ جهد الخلية المعياري موجبٌ؛ فالتفاعل تلقائي.

4- أُقارن جهد اختزال الرصاص ($0.13\,V$) وجهد اختزال الكروم ($0.73\,V$)؛ فَأُلاحِظ أَنَّ جهد اختزال الرصاص المعياري أعلى من جهد اختزال الكروم المعياري؛ لذلك لا تستطيع أيونات الكروم Cr^{3+} أكسدة الرصاص. ويمكن كتابة معادلة التفاعل المتوقع وحساب جهد الخليّة المعياري للتفاعل كالآتى:

$$2Cr^{^{3+}}{}_{(aq)} + 3Pb{}_{(s)} \, \to \, 3Pb^{^{2+}}{}_{(aq)} \, + 2Cr_{(s)}$$

$$E_{cell}^{\circ} = -0.73 - (-0.13) = -0.60 \text{ V}$$

بما أنَّ جهد الخلية المعياري سالبُّ؛ فالتفاعل غير تلقائي.

√ أتحقَّق:

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

أدرس الجدول الآتي، حيث يتضمَّن جهود الاختزال المعياريّة لبعض المواد، ثمَّ أُجيب عمّا يليه:

نصف تفاعل الاختزال	E° (V)
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \iff 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1.33
$Ag^+ + e^- \Longrightarrow Ag$	0.80
$Sn^{2+} + 2e^- \iff Sn$	- 0.14
$Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au$	1.5

1- أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد وأقوى عامل مختزل.

2- أستنتج: أيُّ الفِلِزّاتِ تختزلُ أيونات $\operatorname{Cr}_2\operatorname{O}_7^{2-}$ ولا تختزلُ أيونات Sn^{2+} ؟

Linking Coll And Rodoman 120 G

الشكل (8): أنواع مختلفة منَ البطّاريات.

تطبيقات عملية للخلية الجلفانية

Applications of the Galvanic Cell

البطّار بات Batteries

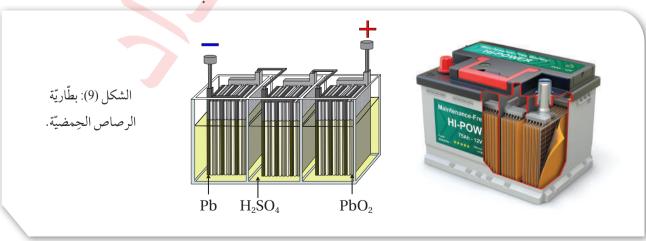
تُعَدُّ البطّارياتُ من التطبيقات العمليّة المهمّة للخلايا الجلفانيّة؛ إذ تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال تلقائيّة تتحوَّل فيها الطاقة الكيميائيّة إلى طاقة كهربائيّة، وتختلف البطّاريات في ما بينها في مكوَّناتها، ومن ثَمَّ تختلف تفاعلات التأكسد والاختزال التي تُولِّد الطاقة الكهربائيّة فيها.

هناك أنواع مختلفة من البطّاريات؛ منها البطّاريات الأوليّة التي تُستخدَم مرّةً واحدة ولا يمكن إعادة شحنها، مثل: البطّاريات الجافّة، والبطّاريات الجافّة القلويّة. ومن أنواعها أيضًا البطّاريات الثانويّة؛ وهي قابلة لإعادة الشحن، مثل: بطّاريات التخزين، مثل المركم الرصاصي (بطّاريّة الرصاص الحِمضيّة)، وبطّاريّة أيون الليثيوم، أنظرُ الشكل (8).

بطّاريّةُ الرصاص للتخزين Lead Storage Battery

تُعَدُّ بطّاريّة الرصاص الحِمضيّة مثالًا على البطّاريات الثانويّة؛ أي يمكن إعادة شحنها، وتتكوَّن من سِتِّ خلايا جلفانيّة تتكوَّن كلُّ منها من ألواح من الرصاص تمثّل فيها المِصعد، وألواح من الرصاص المغلَّف بأكسيد الرصاص الرصاص تمثّل المِهبط. ثُرَتَّبُ هذه الأقطابُ (الخلايا) داخل وعاء بلاستيكي مقوّى بطريقة متبادلة تفصل بينها صفائح عازلة، وَتُغمَر في محلول حمض الكبريتيك الذي كثافته $1.28g/cm^3$ ، وتوصل الخلايا على التوالي، كما يوضِّح الشكل (9)، أمّا أنصاف التفاعلات التي تحدث فيها فهي:

 $Pb_{(s)} + HSO_{4^{-}(aq)} \rightarrow PbSO_{4(s)} + H^{+}_{(aq)} + 2e^{-}$:تفاعل المِصعد: $PbO_{2(s)} + 3H^{+}_{(aq)} + HSO_{4^{-}(aq)} + 2e^{-} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2H_{2}O_{(l)}$:تفاعل المِهبط: $Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 2H^{+}_{(aq)} + 2HSO_{4^{-}(aq)} \rightarrow 2PbSO_{4(s)} + 2H_{2}O_{(l)}$:التفاعل الكلي: $Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 2H^{+}_{(aq)} + 2HSO_{4^{-}(aq)} \rightarrow 2PbSO_{4(s)} + 2H_{2}O_{(l)}$:جهد الخليّة الواحدة يساوي $Pb_{(s)} + PbO_{(s)} + PbO_{(s)}$ تقريبًا؛ أي أنَّ البطّاريّة تعطي فرقَ جهد يساوي $Pb_{(s)} + PbO_{(s)} + PbO_{(s)}$



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

عند شحن البطّاريّة بواسطة تيّار كهربائي؛ يُعكس تفاعل التأكسد والاختزال، ثمَّ التفاعل الكُلي في البطّاريّة، وفي السيارات تجري عمليّة الشحن بشكل تلقائي ومستمرِّ بواسطة مولِّد التيّار (الدينامو) المُتّصِلِ بمحرّك السيّارة. ويتراوح عمرُ البطّاريّة من 3-6 سنوات تقريبًا؛ إذ إنها تفقدُ صلاحيَّتها نتيجة فقدان جزء من مكوِّناتها، مثل (ه) PbSO4(4) الذي يتكوَّنُ على الأقطاب نتيجة عمليَّتي التأكسد والاختزال اللتين تحدثان فيها، ونتيجة الحركة المستمرَّة للمركبات على الطرق التي تؤدي إلى تساقطه عن ألواح الرصاص، وعدم دخوله في التفاعل العكسى الذي يؤدي إلى إعادة شحن البطّاريّة.

بطّاريّة أيون الليثيوم Lithium – Ion Battery

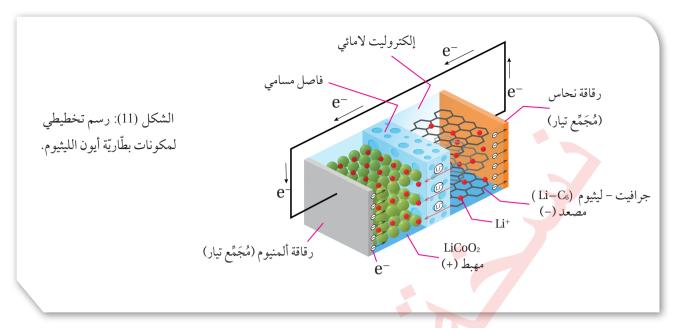
تُعَدُّ بِطّارِيّة أيون الليثيوم من أكثر أنواع البطّاريات استخدامًا في الوقت الحاضر، وقد استُخدمت للمرَّة الأولى عام 1991؛ أمّا اليوم فإنها تُعَدُّ مصدر الطاقة الرئيس لكثير من وسائل التكنولوجيا وأدواتها في المجالات المختلفة، حيث تُستخدَم في السيارات الكهربائيّة والحواسيب والهواتف المحمولة وعدد من الأجهزة الكهربائيّة الاستهلاكيّة الأخرى، أنظرُ الشكل (10). مِمَّ تتكوَّن بطّاريّة أيون الليثيوم؟ وما التفاعلات الكيميائيّة التي تحدث فيها؟ وما ميزاتها؟

تتكوَّن بطَّاريَّة أيون الليثيوم من خلايا عدَّة متصلة بعضها ببعض، تتكوَّن كلُّ منها من ثلاثة مكوِّنات رئيسة، هي:

- المِصعد (القطب السالب): يتكون عادةً من الجرافيت الذي يتميَّز بقدرته على تخزين ذرّات الليثيوم وأيوناته دون التأثير فيها.



الشكل (10): بطّاريّة أيون الليثيوم.



- المِهبط (القطب الموجب): يتكوَّن من بلّورات لأكسيد عنصر انتقالي، مثل أكسيد الكوبلت VicoO₂) الذي يمكنه أيضًا تخزين أيونات الليثيوم، أنظرُ الشكل (11).
- المحلول الإلكتروليتي: يتكوَّن من محلول لأمائي لأحد أملاح الليثيوم ومذيب عضوي يذوب فيه الملح، وعادةً يُستخدم LiPF₆ مُذابًا في كربونات الإيثيلين CH₂CO₃، وتولِّدُ خلايا أيون الليثيوم الكهرباءَ من خلال تفاعل التأكسد والاختزال الآتي:

 $\mathrm{Li} \rightarrow \mathrm{Li}^{+} + \mathrm{e}^{-}$ نصف تفاعل التأكسد:

 $\mathrm{Li}^+ + \mathrm{CoO}_2 + \mathrm{e}^- \to \mathrm{LiCoO}_2$ نصف تفاعل الاختزال:

 $\text{Li} + \text{CoO}_2 \rightarrow \text{LiCoO}_2$ $\text{E}_{\text{cell}} = 3.4 \, \text{V}$ التفاعل الكلى:

حيث تتأكسدُ ذرّات الليثيوم عند المِصعد متحوِّلة إلى أيونات Li^+ تنتقل عبر المحلول الإلكتروليتي باتجاه المِهبط؛ بينما تتحرَّك الإلكترونات عبرَ الدارة الخارجيّة من المِصعد إلى المِهبط، حيث تختزِل أيونات الكوبلت من Co^{4+} في أكسيد الكوبلت Co^{4+} في $Cicoo_2$ وهي عمليّة ينعكس مسارها خلال شحن البطّاريّة، فتتأكسد أيونات الكوبلت من Co^{4+} في Coo_2 إلى Coo_3 في Coo_3 وتتحرَّك أيونات الليثيوم فتتأكسد أيونات الكوبلت من Coo_3 في Coo_3 إلى Coo_3 وتتحرَّك أيونات الليثيوم Coo_3 عبرَ المحلول الإلكتروليتي باتجاه نصف خليّة الجرافيت حيث تُخترَل.

تستمد بطّاريّة أيون الليثيوم ميزاتِها من أنَّ لليثيوم أقلَّ جهد اختزال معياري؛ أي أنه أقوى عامل مختزل، وكذلك فإنه أخفُّ عنصر فِلزّي؛ حيث إنَّ 6.941 منه (كتلته الموليّة) كافية لإنتاج 1 مول من الإلكترونات؛ أي أنَّ البطّاريّة خفيفة الوزن، وكثافة طاقتها عالية، ويمكن إعادة شحنها مئات المرّات.

مراجعة الدرس

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

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

3. خليّة جلفانيّة يحدث فيها التفاعل الآتي:

$$Co_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Co^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

أ. أُحَدِّدُ فيها المصعدَ والمِهبط.

ب. أكتبُ نصفى تفاعل التأكسدِ والاختزال.

ج. أحسب جهد الخلية المعياري، وأكتب تعبيرًا رمزيًّا للخليّة الجلفانيّة.

د . ما التغيُّرُ الذي يحدثُ لكتلة كلا القطبين.

4. نصفا التفاعل الآتيان يشكِّلان خليّةً جلفانيّةً في الظروف المعياريّة:

$$I_{2(s)} + 2e^{-} \rightarrow 2I^{-}_{(aq)}$$
 $E^{\circ} = 0.54 \text{ V}$ $Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Fe_{(s)}$ $E^{\circ} = -0.44 \text{ V}$

أُجِيبُ عن الأسئلة الآتية المتعلِّقة بهما:

أ . أكتبُ معادلة التفاعل الكُلِّي في الخليّة.

 $^{+}$ جـ. ما التغيُّرُ الذي يحدثُ لتركيز أيونات كلِّ من $^{-}$ و $^{+}$ و $^{+}$

 E'_{Cell} (v)
 المصعد

 1.3
 D

 D-B

 1.5
 E

 E-B

 0.4
 C

 C-E

В

0.3

A-B

أحسب جهد الخلية المعياري.

د. أكتب رمز الخلية الجلفانية.

5. أدرسُ الجدول الآتي الذي يُوضِّح جهد الخليَّة المعياري لعدد من الخلايا الجلفانيَّة المكوَّنَة من الفِلِزَّات ذوات الرموز الافتراضية (A,B,C,D,E)، وجميعُها تُكوِّن أيوناتٍ ثنائيَّة موجبة، ثمَّ أُجيب عن الأسئلة الآتية:

- أ . أُحَدِّدُ الفِلزَّ الذي له أعلى جهد اختزال معياري: Dأم D.
 - ب. أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد.
- ج. أتنبّأ. هل يمكن تحريك محلول نترات E بمِلعقة من A؟ أفسّر إجابتي.
- د. أُحَدِّدُ اتِّجاه حركة الإلكترونات عبرَ الأسلاك في الخليّة الجلفانيّة المكوَّنة من نصف خليّة $E^{2+}|E|$ ونصف خليّة $D^{2+}|D|$.
 - هـ. أحسثُ جهدَ الخلبّة المعياري للخلبّة الجلفانيّة المكوَّ نة من نصف خلبّة $C^{2+}|C|$ ونصف خلبّة $B^{2+}|B|$

6. فلزان أُعطِيا الرمزين الافتراضيين A و B، حيث أيوناتهما +A3+، B، قيست جهودُ الاختزال المعياريّة لنصفي تفاعل الاختزال المعياريين المكوِّنين لخليَّة جلفانيَّة كالآتي:

$$A^{^{3+}} + e^- \rightarrow A^{^{2+}} \qquad E^{^{\circ}} = 0.77 \, V$$

$$B^+ + e^- \rightarrow B \qquad \qquad E^{\circ} = 0.80 \text{ V}$$

أ . أكتبُ معادلة كيميائيّة للتفاعل الكلّيّ في الخليّة الجلفانيّة.

ج. أُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل.

7. أدرسُ الجدول المجاور الذي يمثّل جهود الاختزال المعياريّة لبعض المواد، ثمَّ أُجيبُ عن الأسئلة الآتية:

أ . أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد وأقوى عامل مختزل.

- ب. أستنتج: هل يمكنُ حفظُ البروم Br₂ في وعاء منَ الفضّة؟ أُفسّر
- ج. أُقارن: ما الفِلزّان اللذان يكوِّنان خليّةً جلفانيّة لها أكبرُ جهدِ خليّةٍ
 - د . أستنتج المادَّة التي تستطيعُ أكسدة Cd ولا تؤكسد Pb.
 - ه. أُحَدِّدُ القطبَ الذي تزداد كتلتُهُ في الخليّة الجلفانيّة (Cd-Pb).
- و. أُحَدِّدُ الفِلِزَّ الذي لا يحرِّر غاز الهيدروجين من محلول حمض HCl المُخَفَّف.
 - ز. في الخليّة الجلفانيّة التي أُعطِيَت الرَّمزَ الآتي:

$$Sc_{(s)}|Sc^{^{3+}}{}_{(aq)}\parallel Co^{^{2+}}{}_{(aq)}|Co_{(s)}$$

إذا عَلِمتُ أنَّ جهد الخليّة المعياري E°cell = 1.8 V، فأُجيبُ عن الأسئلة الآتية:

أ . أُحَدِّدُ اتجاه حركة الإلكترونات عبرَ الأسلاك في الخليّة.

ب. أحسبُ جهد الاختزال المعياري لقطب السكانديوم Sc.

ج. أكتبُ معادلة التفاعل الكلّيّ في الخليّة.

8. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

- 1. العبارة الصحيحة المتعلقة بالخلية الجلفانية التي تفاعلها: $(Mg + Ni^{2+} \to Mg^{2+} + Ni)$ ، هي $(Mg + Ni^{2+} \to Mg^{2+} + Ni)$ أ . القطب الموجب Mg.
- Mg^{2+} يقل تركيز أيونات Mg^{2+} يقل تركيز أيونات
 - د . يقل تركيز أيونات Ni^{2+} ا في نصف الخلية Ni^{2+} ا د .
- جـ. القطب Ni هو المصعد.

المادَّة

 Co^{2+}

 Br_2

 Ph^{2+}

 Ag^+

 Mn^{2+}

 Cd^{2+}

E° (**V**)

-0.28

1.07

-0.13

0.80

-1.18

-0.40

2. العبارة الصحيحة اعتمادًا على جهد الخليتين الآتيتين، هي:

$$(Zn|Zn^{2+}||Co^{2+}|Co) E^{\circ} = 0.48 V$$
 (Mn|Mn²⁺||Co²⁺|Co) E° = 0.9 V

أ.
$$Zn^{2+}$$
 أكثر ميلًا إلى الاختزال من Mn^{2+} . ب. Mn^{2+} أكثر ميلًا إلى الاختزال من Zn^{2+} .

$$.\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e^{-}$$
 $.$ $.\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2e^{-}$ $.$ $.$

$$.Cd^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cd$$
. د . $.Pb^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Pb$

4. إذا كان الفلز B يتفاعل مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl بينما لا يتفاعل الفلز E، ويمكن للوعاء المصنوع من الفلز A حفظ محاليل الفلزات B, C, E، بالإضافة إلى قدرة الفلز C على اختزال أيونات +B²، فإن ترتيب هذه الفلزات وفق قوتها بوصفها عوامل مختزلة، هو:

$$A > E > B > C$$
. $A > B > E > C$.

5. إذا كان ترتيب الأيونات حسب جهد اختز الها هو $A^{2+} > A^{2+} > B^{2+}$ ، فإن الفلز الذي يمكنه استخلاص الفلزات الأخرى من محاليل أملاحها، هو:

$$Zn + Cd^{2+} \longrightarrow Zn^{2+} + Cd$$
 اِذَا كَانَ التَفَاعِلَانَ الاَّتِيَانَ يَحِدَثَانَ تَلْقَائِيًّا:

$$Cd + Sn^{2+} \longrightarrow Cd^{2+} + Sn$$

: فإن تر تيب الأيو نات $(Cd^{2+}, Zn^{2+}, Sn^{2+})$ و فق قو تها بو صفها عو امل مؤ كسدة، هو

$$.Cd^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+} .$$
 $\dot{}$ $.Cd^{2+} < Zn^{2+} < Sn^{2+} .$

$$Zn^{2+} > Cd^{2+} > Sn^{2+}$$
 . $Zn^{2+} < Cd^{2+} < Sn^{2+}$.

$$Cu^{2+}$$
 Co^{2+} Cd^{2+} Ni^{2+} Al^{3+} $+0.34$ -0.28 -0.40 -0.23 -1.66 -0.23 -1.66

فإن الفلز الذي يمكنه تحرير غاز الهيدروجين (H₂) من محلول الحمض HBr ولا يمكنه اختزال أيونات +Co² هو: Cu . ĺ د . Al حـ. Cd ت. Ni

التفاعل الذي يحدث في الخلية	جهد الخلية (°E)	8. يبيّن الجدول الآتي قيم فرق الجهد الكهربائي
$Z + Y^{2+} \rightarrow Z^{2+} + Y$	0.26 V	لثلاث خـ لايا جلفانية. إذا علمت أن جهد اختزال
$X + 2H^+ \rightarrow X^{2+} + H_2$	- 0.8 V	الفلز R يساوي (0.28V–)، فإن الرمز الصحيح
$Y + X^{2+} \rightarrow Y^{2+} + X$	0.94 V	للخلية الجلفانية التي يمثّل القطب R مهبطها، هو:

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

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

$$Z + Y^{2+} \rightarrow Z^{2+} + Y$$
 $Z + Y^{2+} \rightarrow Z^{2+} + Y$
 $Z + Y^{2+} \rightarrow Z^{2+} + Y$
 $Z + Y^{2+} \rightarrow X^{2+} + Y^{2-}$
 $Z + Y^{2+} \rightarrow X^{2+} + Y^{2-}$
 $Z + Y^{2+} \rightarrow Y^{2-}$
 $Z + Y^{2+} \rightarrow Y^{2-}$
 $Z + Y + Y^{2-}$
 $Z + Y^{2-}$

 $(X|X^{2+}||R^{2+}|R)$

 $(R|R^{2+}||Z^{2+}|Z)$. د

خلايا التحليل الكهربائي Electrolytic Cells



الفكرةُ الرئيسة: **◄**

تُستخدَم الطاقة الكهربائيّة لإحداث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي في خلايا التحليل الكهربائي.

نتاجاتُ التعلَّم: **◄**

- أُحَدِّدُ مكوِّنات خليَّة التحليل الكهربائي ومبدأ عملها.
- أتنبَّأُ بنواتج التحليل الكهربائي لمصاهير المركَّبات الأيونيَّة ومحاليلها.
- أُجري تجارب للتحليل الكهربائي لمحاليل بعض المركَّبات الأيو نيّة.
- أتوصَّلُ إلى تطبيقات خلايا التحليل الكهربائي في الصناعة.

المفاهية والمصطلحات:

خلايا التحليل الكهربائي

Electrolytic Cells

التحليل الكهربائي Electrolysis

التحليل الكهربائي Electrolysis

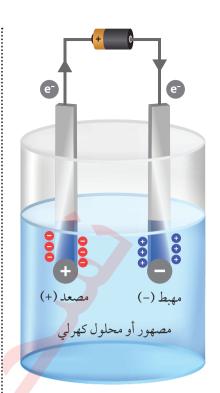
تُنتج الخلايا الجلفانيّة تيارًا كهربائيًّا بسبب حدوث تفاعل تأكسد واختزال تلقائي فيها، ويُستفاد منها بوصفها مصدرًا للطاقة في تشغيل العديد من الأجهزة الكهربائيّة؛ بينما هناك تفاعلاتُ تأكسد واختزال لا تحدث بشكل تلقائي، ويتطلَّبُ حدوثُها تزويدَها بطاقة كهربائيّة من مصدر خارجي، عندها تسمّى الخليّة المستخدمة خليّة تحليل كهربائي الخهربائي ويُحليق تمرير تيار كهربائي في مصهور أو محلول مادَّة كهرليّة؛ ممّا يؤدّي إلى حدوث تفاعل تأكسد واختزال، عمليّة التحليل الكهربائي ممّا يؤدّي إلى حدوث تفاعل تأكسد واختزال، عمليّة التحليل الكهربائي أهميّة كبيرة؛ فعن طريقها تُشحَن البطّاريات، وتُستعمَل في استخلاص بعض الفِلزّات النشطة من مصاهيرها، مثل الصوديوم والألمنيوم، وتُستخدَم في تنقية الفِلزّات والطّلاء الكهربائي لبعضها، سواء لحمايتها من التآكل أو في تنقية الفِلزّات والطّلاء الكهربائي لبعضها، سواء لحمايتها من التآكل أو لإكسابها مظهرًا جميـلًا، كما في الشكل (12). ممَّ تتكوَّن خليّة التحليل الكهربائي؟ وما آليّة عملها؟ وهل تختلف نواتج التحليل الكهربائي لمصهور المادّة عن محلولها؟

التحليل الكهربائي لمصهور مادّة كهرليّة

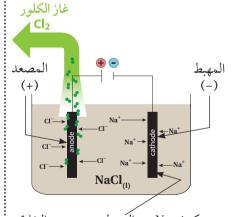
Electrolysis of Molten Eelectrolyte

تتكوَّن خليّة التحليل الكهربائي من وعاء يحتوي على مصهور مادَّة أيونيّة، وأقطاب خاملة من الجرافيت أو البلاتين، وبطّاريّة وأسلاك توصيل، حيث يوصَل أحد الأقطاب بقطب البطّاريّة السالب، ويُسمّى المِهبط، بينما





الشكل (13): مكوِّنات خليَّة التحليل الكهربائي.



يتكون (Na_(I) عند المهبط ويسحب من الخلية

الشكل (14): التحليل الكهربائي لمصهور NaCl.

يَتَّصِل القطب الآخر بقطبها الموجب، ويُسمّى المِصعد، كما في الشكل (13).

يحتوي مصهور المادَّة الأيونيّة على أيونات موجبة وسالبة، وعند تمرير تيار كهربائي فيه تتحرَّك الأيونات باتجاه الأقطاب المخالفة لها في الشحنة؛ حيث تتحرَّك الأيونات الموجبة باتجاه القطب السالب (المِهبط) وتُختزَل، أمّا الأيونات السالبة فتتحرَّك باتجاه القطب الموجب (المِصعد) وتتأكسد، ومن ثَمَّ فإنَّ التفاعل الذي يحدث في الخليّة غير تلقائي؛ لِذا يجب أن يكون جهدُ البطّاريّة المُستخدَمَةِ لإحداثه أكبرَ من جهد الخليّة المعياري.

التحليل الكهربائي لمصهور NaCl

يحتوي مصهور NaCl على أيونات $^+$ Na و $^-$ Cl كما هو موضح في المعادلة الآتية: $NaCl_{(l)} \rightarrow Na^+_{(l)} + Cl^-_{(l)}$ $+ Cl_{(l)} \rightarrow Na^+_{(l)} + Cl^-_{(l)}$ ويبيِّن الشكل (14) خليّة التحليل الكهربائي لمصهور NaCl ويبيِّن الشكل في الدارة الكهربائيّة ومرور تيّار كهربائي عبرَ الأسلاك تتحرَّك أيونات الصوديوم $^+$ Na باتجاه المِهبط، وتحدث لها عمليّة اختزال، وتتكوَّن ذرّات الصوديوم، كما في المعادلة الآتية:

$${
m Na}^+_{(l)} + {
m e}^-
ightarrow {
m Na}_{(l)}$$
 نصف تفاعل الاختزال / مِهبط:

أمّا أيونات الكلوريد -Cl فتتحرَّك باتجاه المِصعد، حيث تتأكسد مكوِّنَةً غاز الكلور، كما في المعادلة الآتية:

$$2Cl^-_{(l)}
ightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$
 نصف تفاعل التأكسد/ مِصعد:

ولإيجاد التفاعل الكلّيّ في الخليّة يُجمَع نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال بعد مساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمُكتسَبة.

$$2Na^{+}_{\;\;(l)} + 2Cl^{-}_{\;\;(l)}
ightarrow 2Na_{(l)} + Cl_{2(g)}$$
 التفاعل الكلّيّ:

ويمكن حساب جهد الخليّة المعياري بالرُّجوع إلى الجدول (2)، ومعرفة قِيَمِ جهود الاختزال المعياريّة، كالآتي:

$$Na^{+}_{(aq)} + e^{-} \rightleftharpoons Na_{(l)}$$
 $E^{\circ}_{Na} = -2.71 \text{ V}$ $Cl_{2(g)} + 2e^{-} \rightleftharpoons 2Cl^{-}_{(aq)}$ $E^{\circ}_{Cl_{3}} = 1.36 \text{ V}$

ثمَّ أحسبُ جهد الخليّة المعياري:

$$\begin{split} E^{\circ}_{cell} = & \ E^{\circ}_{Na(cathode)} \ - \ E^{\circ}_{Cl_2(anode)} \\ E^{\circ}_{cell} = & \ -2.71 - 1.36 \ = \ -4.07 \ V \end{split}$$

يُلاحظُ أنَّ جهدَ الخليَّة المعياري للتفاعل سالب؛ ويعني ذلك أنَّ التفاعل غير تلقائي، وأنه يحدث بسبب تزويد الخليَّة بفرق جهد كهربائي من البطّاريَّة يزيد على جهد الخليّة المعياري؛ أي أكبر من (4.07 V). وَتُستخدَم عمليّة تحليل مصهور NaCl كهربائيًّا لاستخلاص الصوديوم صناعيًّا، كما تُستخلص معظم الفِلزّات النشطة، مثل الليثيوم والبوتاسيوم غالبًا من مصاهير كلوريداتها بتحليلها كهربائيًّا.

ا أتحقَّق:

أُجيب عن الأسئلة الآتية المتعلِّقة بالتحليل الكهربائي لمصهور CaBr₂:

- 1- أكتبُ نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال في خليّة التحليل الكهربائي.
 - 2- أستنتجُ نواتج التحليل الكهربائي للمصهور.
- 3- أتوقع جهد البطّاريّة اللازم لإحداث تفاعل التحليل الكهربائي للمصهور.

التحليل الكهربائي لمحلول مادّة كهرليّة

Electrolysis of an Electrolyte Solution

يحتوي المحلول المائي للمادَّة الأيونيّة على الأيونات الموجبة والسالبة الناتجة عن تفكُّكها، وعلى جزيئات الماء؛ لذلك عند التحليل الكهربائي لمحلول مائي لمركَّب أيوني يُحتمَل حدوث تأكسد للأيونات السالبة في المحلول أو لجزيئات الماء، وكذلك يُحتمَل أن يحدث اختزال للأيونات الموجبة أو لجزيئات الماء في المحلول؛ لذلك قد تختلف نواتج عمليّة التحليل الكهربائي لمصهور مركَّب أيوني عنها لمحلوله، فكيف نتنباً بنواتج التحليل الكهربائي لمحاليل المركَّبات الأيونية؟

التحليل الكهربائي لمحلول يوديد البوتاسيوم KI

يتفكُّك يوديد البوتاسيوم في الماء، حسب المعادلة:

$$KI_{(s)} \xrightarrow{H_2O} K^+_{(aq)} + I^-_{(aq)}$$

وعند تحليل محلول KI كهربائيًّا يُحتمَل اختزالُ أيونات K^+ أو جزيئات الماء عند المِهبط. وبالرُّ جوع إلى جهود الاختزال المعياريّة لكل من البوتاسيوم والماء:

$$K^+_{(aq)} + e^- \iff K_{(s)}$$
 $E_K^\circ = -2.92 \text{ V}$

$$2H_2O_{(I)} + 2e^- \iff H_{2(g)} + 2OH_{(aq)}^- E_{H_2O}^\circ = -0.83 V$$

يُلاحظُ أنَّ جهدَ اختزال الماء أعلى من جهد اختزال البوتاسيوم؛ أي أنَّ الماء أسهلُ اختزالًا من أيونات البوتاسيوم "K؛ لذلك يُختزَل الماء، حسب المعادلة:

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$$

أمّا عند المِصعد فيُحتمَل تأكسد أيونات اليوديد - I أو جزيئات الماء. وبالرُّجوع إلى الجدول (2) وكتابة أنصاف تفاعلات الاختزال المطلوبة وجهود الاختزال المعياريّة لكلِّ منها:

$$O_{2(g)} + 4H^{+}_{(aq)} + 4e^{-} \iff 2H_{2}O_{(l)} \qquad E^{\circ} = 1.23 \text{ V}$$

$$I_{2(s)} + 2e^- \iff 2I^-_{(aq)}$$
 $E^\circ = 0.54 \text{ V}$

ألاحظ أن التفاعل العكسي في المعادلة الأولى يمثّل تأكسد الماء، ويمثّل في المعادلة الثانية تأكسد أيون اليوديد I^- ، وحيث أن جهد التأكسد المعياريّ = - جهد الاختزال المعياري لنصف التفاعل، وبمقارنة جهود التأكسد لكل منها؛ وُجِد أنَّ جهد تأكسد الماء يساوي (V^-) ، أما جهد تأكسد اليود أعلى من جهد تأكسد الماء؛ أما جهد تأكسد اليود أعلى من جهد تأكسد الماء؛ ومن ثمّ فإنَّه أسهلُ تأكسدًا من الماء؛ لذا تتأكسد أيونات اليوديد I^- وينتج اليود I^- عند المِصعد.

أمَّا التفاعل الكلِّيّ؛ فهو مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:

 $2I^-_{(aq)} \rightarrow I_{2(s)} + 2e^-$ نصف تفاعل التأكسد:

 $2H_2O_{(l)} \,+\, 2e^- \,
ightarrow \, H_{2(g)} \,+\, 2OH^-_{\,\,(aq)}$ نصف تفاعل الاختزال:

 $2H_2O_{(l)} + 2I^-{}_{(aq)} o H_{2(g)} + 2OH^-{}_{(aq)} + I_{2(s)}$: التفاعل الكيميائي الكُلي

ويتفق ذلك مع النتائج العمليّة لتحليل محلول KI كهربائيًّا؛ إذ يُلاحظُ تَكَوُّن اليود عند المِصعد وتصاعدُ غاز الهيدروجين عند المِهبط، وتكوُّن محلول قاعدي من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، أنظرُ الشكل (15).

ويمكن حساب جهد الخليّة المعياري كالآتي:

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

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

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

التحليل الكهربائي لمحلول بروميد النحاس ،CuBr

يتفكَّك بروميد النحاس في الماء، حسب المعادلة الآتية: $CuBr_{2(s)} \xrightarrow{H_2O} Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br_{(aq)}^{-}$

وعند تحليل محلول $CuBr_2$ كهربائيًّا يُحتمَل اختزال أيونات Cu^2 أو جزيئات الماء عند المِهبط.

وبالرُّ جوع إلى جهود الاختزال المعياريّة لكلِّ من النحاس والماء:

 $Cu^{^{2+}}{}_{(aq)} \; + \; 2e^- \; \rightarrow \; Cu_{(s)} \qquad \qquad E^\circ = \textbf{0.34} \; V$

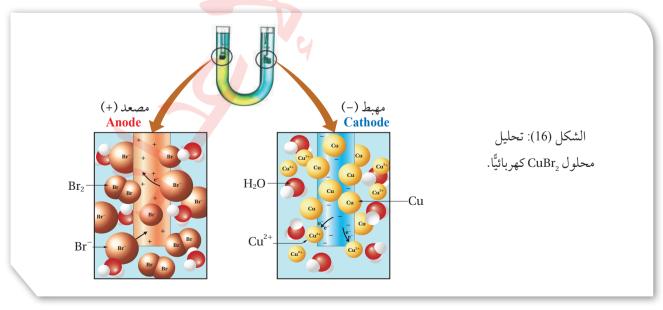
 $2H_2O_{(1)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(ag)}$ $E^\circ = -0.83 \text{ V}$

يُلاحظُ أنَّ جهد اختزال النحاس أعلى منه للماء؛ لذلك تكون أيونات النحاس يُلاحظُ أنَّ جهد اختزالًا عند المِهبط، حيث يُلاحظ تَكُوُّن النحاس كما في المعادلة: Cu^{2+}

.(16) أنظرُ الشكل $^{-}$ د الشكل (16)، أنظرُ الشكل (16)



الشكل (15): التحليل الكهربائي لمحلول KI.



أَّما عند المِصعد فَيُحتَمَلُ تأكسدُ أيونات البروميد -Br أو جزيئات الماء.

وبالرُّ جوع إلى جدول (2) وكتابة أنصاف تفاعلات الاختزال المطلوبة وجهود الاختزال المعياريَّة لكلِّ منها:

$$O_{2(g)} + 4 H^{^{+}}{}_{(aq)} + 4 e^{^{-}} \Longleftrightarrow 2 H_2 O_{(l)} \qquad \quad E^{\circ} = 1.23 \ V$$

$$Br_{2(l)} + 2e^- \rightleftharpoons 2Br_{(aq)}^ E^\circ = 1.07 \text{ V}$$

ألاحظ أن التفاعل العكسي في المعادلة الأولى يمثل تأكسد الماء، ويمثّلُ في الثانية تأكسد أيون البروميد Br، وعند مقارنة جهود التأكسد لكل من الماء والبروم أجد أنَّ جهد تأكسد البروم فيساوي (V (V)، أما جهد تأكسد البروم فيساوي (V)، ألاحظ أنَّ جهد تأكسد البروم أعلى منه للماء، أي أن أيونات البروميد V أسهلُ تأكسدًا، حيث يُلاحظ تَكُوُّن البروم عند المصعد حسب المعادلة:

$$2 {
m Br}^-_{
m (aq)}
ightarrow {
m Br}_{2 (l)} \, + \, 2 {
m e}^-$$
 نصف تفاعل التأكسد:

أمّا التفاعل الكلّيّ فهو مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$$
 نصف تفاعل الاختزال:

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + Br_{2(l)}$$
 : التفاعل الكيميائي الكلّي الكلّي

ويتفق ذلك مع النواتج العمليّة لتحليل محلول CuBr₂ كهربائيًّا؛ إذ يُلاحظ تَكَوُّن البروم عند المِصعد وتَكَوُّن النحاس عند المِهبط.

ويمكن حساب جهد الخليّة المعياري للتفاعل الكلّيّ كالآتي:

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{Cu(cathode)} - E^{\circ}_{Br_2(anode)}$$

$$E_{cell}^{\circ} = 0.34 - 1.07 = -0.73 \text{ V}$$

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

التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات الصوديوم Na₃SO₄

تتفكُّك كبريتات الصوديوم في الماء، حسب المعادلة:

$$Na_2SO_{4(s)} \xrightarrow{H_2O} 2Na^+_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$$

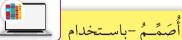
وعند تحليل محلوله كهربائيًّا يُحتمَل اختزال أيونات الصوديوم +Na أو جزيئا<mark>ت</mark> الماء عند المِهبط.

وبالرُّجوع إلى جهود الاختزال المعياريّة لكلِّ منها:

$$Na^{+}_{(aq)} \, + \, e^{-} \, \rightarrow \, Na_{(s)}$$
 $E^{\circ} = -2.71 \, V$

$$2 H_2 O_{(l)} \; + \; 2 e^- \, \to \, H_{2(g)} \; + \; 2 O H^-_{\; (aq)} \qquad \qquad E^{^\circ} = -0.83 \; V \label{eq:continuous}$$

يُلاحظُ أنَّ جهدَ اختزال الماء أعلى منه لأيونات الصوديوم؛ لذلك يكون أسهلَ اختزالًا عند المِهبط، حيث يتكوَّن غاز الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد $^-$ OH. أمّا عند المِصعد، فيُحتمَل تأكسد أيونات الكبريتات $^+$ SO4 أو جزيئات الماء، وقد لوحظَ عمليًّا تصاعدُ غاز الأكسجين عند المِصعد؛ الذي يدل على تأكسد جزيئات الماء، حسب المعادلة:



برنامج مناسب لصناعة الأفلام- فيلمًا قصيرًا يُوَضِّحُ مفهوم عمليّة التحليل الكهربائي، وتحوُّلات الطاقة فيها، وعلاقة تفاعُلات التأكسُد والاختزال الحادثة فيها بجُهود الاختزال، ثمَّ أُشاركُهُ زملائي/ زميلاتي في الصفّ.

أفكِّن أفسر دور كبريتات الصوديوم في عملية التحليل الكهربائي للماء. $2H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$ نصف تفاعل التأكسد:

أمّا التفاعل الكيميائي الكلّيّ فمجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال:

 $4H_2O_{(l)} + 4e^- \rightarrow 2H_{2(g)} + 4OH^-$ نصف تفاعل الاختزال:

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

أي أنَّ ما حدث عند تحليل محلول كبريتات الصوديوم كهربائيًّا هو تحليل الماء كهربائيًّا، حيث تأكسدت جزيئات الماء واختُزِلَت مُكَوِّنَةً غازي الأكسجين والهيدروجين. يُلاحظُ من دراسة الأمثلة السابقة لتحليل محاليل المركَّبات الأيونية كهربائيًّا؛ أنَّ الأيونات الموجبة وجزيئات الماء يُحتمَل أن تُختزَل عند المِهبط، وأنَّ الأيونات السالبة أو جزيئات الماء يُحتمَل أن تتأكسد عند المصعد، وأنَّ التفاعل الذي يحدث يعتمد بشكل عام على جهود الاختزال المعياريّة لكلِّ منهما، كما أنَّ سلوك أيون معيَّن هو نفسُه خلال عمليّة التحليل الكهربائي دون النظر إلى مصدره، وأنَّ هناك بعض الأيونات متعدِّدة الذرّات، مثل (-2No، SO، المراكلة) لا تتأثرُ عند تحليل محاليلها كهربائيًا.

Application of Electrolysis التطبيقات العمليّة للتحليل الكهربائي

تعملُ خلايا التحليل الكهربائي على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية عن طريق استخدام تيّار كهربائي يُجبِرُ تفاعلي تأكسد واختزال غير تلقائيين على الحدوث كما في إعادة شحن البطاريات. ولهذه الخلايا تطبيقات مهمّة في الصناعة، مثل استخلاص الفِلزّات النشطة من مصاهير خاماتها، وتنقية الفِلزّات لاستخدامها في المجالات التي تحتاج إلى فِلِزّات نقيّة بدرجة كبيرة، وستُناقش أمثلة على كلِّ منها.

استخلاص الألمنيوم Aluminum Extraction

يُعَدُّ الألمنيوم من أكثر الفِلِزّات انتشارًا في القشرة الأرضيّة، وهو من الفِلِزّات النشطة، ويُستخلَص من خام البوكسيت $Al_2O_3.2H_2O$ بطريقة هول-هيروليت، حيث يُعالَج الخامُ لتخليصه من الشوائب، ثمَّ يُسخَّن لتحويله إلى أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 . Al_2O_3 فَنَنخفض درجة انصهاره نحوَ al_2O_3 0.

وَتُسَمّى خليّة التحليل الكهربائي لمصهور ${\rm Al}_2{\rm O}_3$ خليّة هول – هيروليت، وتتكوَّن من الداخل من طبقة من الجرافيت تمثّل المِهبط، وسلسلة من أقطاب الجرافيت تُغمَس في المصهور تمثّل المِصعد، أنظرُ الشكل (17)، وعند إجراء عمليّة التحليل



أكتبُ التفاعل الذي يحدث عند كل من المِصعد والمِهبط عند تحليل محلول NiBr₂ كهربائيًّا باستخدام أقطاب من الجرافيت.

أَفَكِّنَ أُفَسِّرُ، بالاستعانة بالمعادلات. عند تحليل محلول وCuSO كهربائيًّا يتحوّل تدريجيًّا إلى محلول بلا2SO.



الكهربائي يحدث اختزال لأيونات الألمنيوم عند المِهبط، ويتكوَّن الألمنيوم الذي يتجمَّع أسفلَ الخليّة، حيث يُسحَب من مَخرج خاصّ.

$$Al^{3+}_{(l)} \, + \, 3e^-
ightarrow Al_{(l)}$$
 :معادلة تفاعل المِهبط/ اختزال

أمّا عند الوصعد فتتأكسد أيونات الأكسجين -O² مُكوِّنَةً غاز الأكسجين، حسب المعادلة:

$$2O^{2-}_{(l)} o O_{2(g)} + 4e^{-}$$
 عادلة تفاعل الوصعد/ التأكسد:

ويتفاعل الأكسجين الناتج مع أقطاب الجرافيت مُكوِّنًا ثاني أكسيد الكربون، $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$

ممّا يؤدي إلى تآكلها، فيجري تغييرُها بشكل دوري.

ويمكن تلخيص التفاعل الكلِّيِّ الذي يحدث في الخليَّة، بالمعادلة الآتية:

$$2Al_2O_{3(l)} + 3C_{(s)} \rightarrow 4Al_{(l)} + 3CO_{2(g)}$$

ونظرًا إلى أنَّ عمليّة استخلاص الألمنيوم تستهلك كميّات هائلة من الطاقة؛ تُقام مصانع إنتاجه بالقرب من محطّات الطاقة الكهربائيّة لتوفير كُلفة نقل الطاقة، كما يُركَّزُ بشكل كبير على عمليّة إعادة تدويره؛ إذ تبلغ كميّة الطاقة اللازمة لإعادة التدوير نحو ً 5% من الطاقة اللازمة لاستخلاصه من خام البوكسيت.

تنقية الفلزّات Purification of Metals

تحتاج بعض استخدامات الفِلزّات إلى أن تكون نقيّةً تمامًا. فمثلًا: يجب أن يكون النحاس المُستخدَم في التمديدات الكهربائيّة نقيًّا؛ لِذا تُستخدَم عمليّةُ التحليل الكهربائيّ في تنقية الفِلزّات مثل النحاس بعد عمليات استخلاصه من خاماته؛ إذ يحتوي على شوائب، مثل الخارصين، والحديد، والذهب، والفضّة، والبلاتين. ولتنقيته؛ يُشَكَّلُ النُّحاس غير النَّقي على شكل قوالب تمثّل المِصعد في خليّة التحليل الكهربائي، ويوصَل المِهبط بشريحة رقيقة من النحاس النقي، ثمَّ يُغمَران في محلول كبريتات النحاس النحاس النقي، ثمَّ يُغمَران في محلول كبريتات النحاس النحاس النقي، ثمَّ يُغمَران في محلول كبريتات النحاس النحوي بين النحاس النقي، ثمَّ يُغمَران في محلول كبريتات النحاس النحوي بين النحاس النقي، ثمَّ يُغمَران في محلول كبريتات النحاس النعي النحاس النعي المُكل قوالب تمثل النحاس النعي محلول كبريتات النحاس النعي النحوي النح

وعند تمرير تيّار كهربائي في الخليّة تحدث التفاعلات الآتية:

$${
m Cu}_{({
m s})}
ightarrow {
m Cu}^{2+}{}_{({
m aq})} \, + \, 2{
m e}^- \,$$
 تفاعل المِصعد/ تأكسد: ${
m Cu}^{2+}{}_{({
m aq})} \, + \, 2{
m e}^-
ightarrow {
m Cu}_{({
m s})}$ تفاعل المِهبط/ اختزال: ${
m cu}^{2+}{}_{({
m aq})} \, + \, 2{
m e}^-
ightarrow {
m Cu}_{({
m s})}$

تتأكسد ذرات النحاس إلى أيونات $^{+2}$ وتنتقل لتختزل وتترسب على المِهبط، أنظرُ الشكل (18)، وتتأكسد ذرّات الفِلزّات (الشوائب) التي تمتلك جهد اختزال أقلّ من النحاس، مثل الخارصين والحديد مُكَوِّنَةً أيونات $^{+2}$ و $^{+2}$ على الترتيب، وتبقى هذه الأيونات ذائبة في المحلول، أمّا الذهب والفضّة والبلاتين فإنَّ جهدَ اختزالها أعلى من جهد الخلية المستخدم؛ لذلك لا تتأكسد ذرّاتُها، وتتجمَّع في قاع الخليّة، وتكون درجة نقاوة النحاس الناتج نحوَ $^{+2}$

√ أتحقَّق:

1- أُفسُرُ -بالاستعانة بمعادلات كيميائية - استبدالَ أقطاب الجرافيت المُستخدَمَةِ في خليّة هول - هيروليت بشكل دوري. 2- أُفسِّر: لا تُختزَل أيونات +Fe² و Zn²+ التي توجد ذرّاتها على شكل شوائب مع النحاس خلال عملية تنقيته بالتحليل الكهربائي.



الشكل (18): تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي.

النجرية 2

التحليل الكهربائي لمحاليل بعض المركّبات الأيونيّة

الموادُّ والأدوات:

أنبوبان زجاجيان على شكل حرف U، أقطاب جرافيت عدد (4)، كاشف الفينولفثالين، أسلاك توصيل، بطّاريّة (3 V) عدد (2)، حامل وماسك فِلِزّي، 100~mL من محلول يوديد البوتاسيوم 100~mL، 0.5~M بتركيز 100~mL من محلول كبريتات النحاس $100~\text{cusO}_4$ بتركيز 100~mL .

إرشادات السلامة:

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

خطوات العمل:

- 1- أُجَرِّبُ: أُثَبِّتُ أنبوبًا زجاجيًّا على شكل حرف U على الحامل الفِلِزِّي باستخدام الماسك، كما في الشكل.
- 2- أملاً الأنبوب الزجاجي بمحلول يوديد البوتاسيوم، بحيث يبقى ما يقارب 1 cm فارغًا من كلِّ طرف، ثمَّ أُضيف إليه 3 نقاط من كاشف الفينولفثالين.
- 3- أُطَبِّقُ: أَصِلُ قطبي الجرافيت بأسلاك توصيل، ثمَّ أضعُها في الأنبوب الزجاجي، بحيث يكون كلُّ منهما في أحد طرفي الأنبوب، كما في الشكل.
- 4- أُلاحظ: أَصِلُ أسلاك التوصيل بقطبي البطّاريّة وأتركُها لمدّة min 15، وَأُلاحظُ التغيُّرات التي تحدث في المحلول، ثم أفصل التيار الكهربائي، وأُسَجِّل ملاحظاتي في جدول البيانات.
- 5- أُجَرِّب: أُكَرِّرُ الخطوات من 1-4 باستخدام محلول كبريتات النحاس، وأُسَجِّل ملاحظاتي في جدول البيانات.
 - 6- أُنظِّمُ البيانات: أُسَجِّل بياناتي في الجدول الآتي:

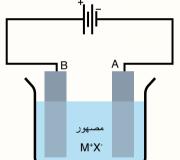
بط	المِهِ	عد	المِص	التغيُّر ومكانُ
تصاعد غاز	تغيُّر اللون	تصاعد غاز	تغيُّر اللون	المحلول
		7		يو ديد البو تاسيوم (KI _(aq)

التحليل والاستنتاج:

- 1- أُصِفُ التغيُّرات التي حدثت عند تحليل محلول كلِّ من يوديد البوتاسيوم وكبريتات النحاس كهربائيًّا عند كلٍّ من المصعد والمهبط وأُفسّرها.
 - 2- ما نواتجُ تحليل كلِّ من محلول يوديد البوتاسيوم وكبريتات النحاس كهربائيًّا؟
 - 4- أكتبُ معادلة كيميائيّة تمثّل التفاعل الذي حدث عند المصعد لكلِّ محلول.
 - 5- أكتبُ معادلة كيميائيّة تمثّل التفاعل الذي حدث عند المهبط لكلِّ محلول.
 - 6- أستنتج نواتج التحليل الكهربائي لمحلول CuI₂.

مراجعة الارس

- 1. الفكرة الرئيسة: أُوَضِّح مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي.
 - 2. أُفَسِّر:
- أ. لا يمكن تحضير غاز الفلور بالتحليل الكهربائي لمحلول NaF.
- ب. تكون الكُلفة الاقتصاديّة لإعادة تدوير الألمنيوم أقلَّ من كُلفة استخراجه من خام البوكسيت.
- 3. أتوقع: بالرُّجوع إلى جدول جهود الاختزال المعياريّة؛ أتوقّعُ نواتج التحليل الكهربائي لمحاليل الأملاح الآتية: أ . يوديد المغنيسيوم MgI₂.
 - $Pb(NO_3)_2$ ب. نترات الرصاص
 - ج. كبريتات الكوبلت ،CoSO.
- 4. أدرسُ الشكل المجاور، الذي يمثّل خليّة تحليل كهربائي لمصهور المركّب الأيوني MX باستخدام أقطاب من الجرافيت أُعطِيَت الرموز A و B ، ثمَّ أُجيبُ عن الأسئلة الآتية:



- أ . أُحَدِّدُ المِصعد والمِهبط في الخليّة.
- ب. أُحَدِّدُ اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك، واتجاه حركة الأيونات الموجبة والسالبة داخل المصهور باستخدام الأسهم.
 - ج. أُحَدِّدُ القطب الذي تحدث عنده عمليّة التأكسد.
 - د. أُحَدِّدُ القطب الذي تتكوَّن عنده ذرّات العنصر M.
 - 5. عند تنقية قوالب من النيكل باستخدام عمليّة التحليل الكهربائي:
 - أ . ما القطب الذي يجب أن تمثِّلَه القوالب غير النقيّة؟
 - ب. ما المادَّة المُستخدَمة في القطب الآخر؟
 - ج. أقترحُ محلولًا يمكن استخدامُه في هذه الخليّة.
 - 6. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:
- 1. العبارة الصحيحة فيما يتعلق بخلية التحليل الكهربائي لمحاليل المواد الكهرلية هي:
 - أ . يمثّل المصعد القطب السالب في الخلية.
 - ب. جهد خلية التحليل الكهربائي (E°) أكبر من الصفر.
 - ج. تختزل فيها الأيونات الموجبة عند المهبط في جميع الأحوال.
 - د. قد لا يحدث فيها تأكسد للأيونات السالبة عند المصعد.

- 2. يتكوّن عند المصعد في خلية التحليل الكهربائي لمحلول نترات الصوديوم «NaNO باستخدام أقطاب جرافيت: أ . البوتاسيوم. ب . النيتروجين. ج . الأكسجين. د . الهيدروجين.
- 3. بالاعتماد على أنصاف التفاعلات الآتية، إذا جرى تحليل كهربائي لمحلول يوديد الصوديوم Nal باستخدام أقطاب البلاتين، فإن النواتج المتوقعة:

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$
 $E^{\circ} = +1.23 \text{ V}$

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^- \qquad E^\circ = -0.83 \text{ V}$$

$$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$$
 $E^{\circ} = +0.54 \text{ V}$

$$Na^+ + e^- \rightarrow Na$$
 $E^{\circ} = -2.71 \text{ V}$

- أ . الهيدروجين، واليود، ومحلول قاعدي.
 - ب. الصوديوم، واليود، ومحلول قاعدي.
- ج. الأكسجين، واليود، ومحلول حمضي.
- د. الهيدروجين، واليود، ومحلول حمضي.
- 4. عند تنقية النحاس من الشوائب فإن التفاعل الذي يحدث عند المصعد، هو:

$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^{-} . \rightarrow$$

$$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$$
 . 1

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$
.

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$
 . $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^ \Rightarrow$

5. عند إجراء تحليل كهربائي لمصهور هيدريد الصوديوم NaH باستخدام أقطاب البلاتين، فإن التفاعل الذي يحدث عند المصعد، هو:

$$Na^+ + e^- \rightarrow Na . \downarrow$$

$$Na \rightarrow Na^+ + e^-$$
.

$$2H^- \rightarrow H_2 + 2e^-$$
.

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$
.

6. عند إجراء تحليل كهربائي لمصهور بروميد المغنيسيوم MgBr₂ باستخدام أقطاب الجرافيت، علما أن:

$$Mg^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Mg~E^{\circ} = -2.37\,V$$
 , $Br_2 + 2e^{-} \rightarrow 2Br^{-}~E^{\circ} = \pm 1.07\,V$

فإن جهد البطارية (V) اللازم لإجراء عملية التحليل:

الإثراءُ والتوسُّعُ

إعادة تدوير البطّاريات Recycling Batteries

تُستخدَم البطّاريات لتزويد أجهزة مختلفة بالطاقة؛ تشمل السياراتِ والهواتف وأجهزة الحاسوب وغيرها، وعندما تنفدُ البطّاريّة أو تتلفُ تُرمى (يُستغنى عنها)، ويؤدّي ذلك إلى تراكم كميّات كبيرة من النُّفايات الخطرة؛ إذ تحتوي البطّاريات على موادَّ كيميائيّة سامة وفِلزّات ثقيلة، ينتجُ عن تراكمها ودفنها مخاطرُ بيئيّة؛ فقد تسبِّب تلوُّث المياه والتربة، ومن هنا جاءت فكرة إعادة تدوير البطّاريات، وتعني: معالجة نفاياتها؛ بهدف التقليل منها بِوَصفِها نفايات صُلبة، وإعادة استخدام مكوِّناتها مرَّةً أخرى.

إعادة تدوير بطّاريّة الرصاص الحمضيّة

تُعَدُّ بطّاريات الرصاص الحمضيّة من أقدم أنواع البطّاريات القابلة لإعادة الشحن في العالَم، ولإعادة تدويرها أهميّة كبيرة في صناعة الرصاص في الوقت الحاضر؛ حيث يمثّل الرصاص المُعاد استخدامُه نحوَ %47 من إجمالي الرصاص المُستخدَم عالميًّا.

وتشمل عمليّة إعادة تدوير بطّاريات الرصاص الحمضيّة المُستخدَمة مراحل عدَّة، هي:

التجميع: يُقصد به تجميع بطّاريات الرصاص المُستخدَمة، وغالبًا ما يكون ذلك لدى باعة البطّاريات، حيث تجمعها الشركات التي تُعيد تدويرها.

التكسير: تُفَكَّك البطَّاريَّة في منشأة إعادة التدوير، وَتُسحَق مكوِّناتها باستخدام أدوات خاصّة، فتتحوَّل إلى شظايا.

الفرز: تتضمَّن هذه العمليّة فصل أجزاء بطّاريّة الرصاص الحمضيّة بفرز المعرّنات البلاستيكيّة والورقيّة عن الرصاص والفِلزّات الثقيلة،



وسحب السائل الموجود فيها، يتبع ذلك سير كلِّ مادَّة في رحلة تدوير خاصة بها؛ إذ تُغسَل القطع البلاستيكيّة وَتُجَفَّف ثمَّ تُرسَل إلى وحدة تدوير البلاستيك، حيث تُصهر وَتُشَكَّل آليًّا على شكل كُرات من مادَّة البولي بروبلين، وتُستخدَم مرَّةً أخرى لإنتاج صناديق بطّاريات الرصاص الحمضيّة، ويمكن استخدامها في صناعة منتجات أخرى. أمّا ألواح الرصاص وأكسيدُه ومركّباتُه الأخرى فتُصهر معًا في أفران الصَّهر، ثمَّ تُصَبّ في قوالب وَتُزال الشوائب المعروفة باسم الخبَث من فوق سطح مصهور الرصاص، وَتُترَك السبائك لتبردَ وتتصلّب، ثمَّ تُرسَل إلى الشركات المُصنِّعة للبطّاريات، حيث تُستَخدَم في إنتاج ألواح جديدة من الرصاص وأكسيده.

أمّا حمض الكبريتيك، وهو المُكوِّن السائل في البطّاريّة؛ فيجري التعامل معه بطريقتين، أو لاهما: مفاعلة الحمض مع مركَّب كيميائي قاعدي؛ فينتج الملح والماء، ثمَّ يجري تجميع المياه الناتجة ومعالجتها ضمن مواصفات محددة والتخلّص من الماء في شبكة الصرف الصحي. أمّا الطريقة الثانية؛ فيجري فيها تحويل الحمض إلى كبريتات الصوديوم ،Na₂SO، ثمَّ استخدامه في صناعة منظّفات الغسيل والزجاج والمنسوجات.

مراجعة الوحدة

- 1. أُقارنُ بين الخليّة الجلفانيّة وخليّة التحليل الكهربائي من حيث:
 - أ. تحوُّلات الطاقة في كلِّ منهما.
 - ب. شحنة كلِّ من المِصعد والمِهبط.
 - ج. تلقائية تفاعل التأكسد والاختزال.
 - د. إشارة جهد الخليّة المعياري E°cell.

2. أُفَسِّر:

- أ. يُخلَط أكسيد الألمنيوم ${
 m Al}_2{
 m O}_3$ بالكريوليت خلال عمليّة استخلاص الألمنيوم بطريق هول هيروليت.
- ب. تَفقِد بطّاريّة السيّارة صلاحيَّتها بعد بضع سنوات من استخدامها، على الرغم من إمكانيّة إعادة شحنها نظريًّا عددًا لا نهائيًّا من المرّات.
- 3. تمثّل المعادلة الكيميائيّة الآتية تفاعل تأكسد واختزال يحدث في خلية جلفانية. أدرسه جيِّدًا، ثمَّ أُجيب عن الأسئلة التي تليه: $MnO_4^-_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + Cl_{2(g)}$
 - أ . أكتبُ نصفى تفاعل التأكسد والاختزال.
 - ب. أكتبُ معادلة التفاعل الكلّيّ الموزونة (في وسط حمضي).
 - ج. هل يحدث هذا التفاعلُ تلقائيًّا؟ (أستعينُ بجدول جهود الاختزال المعياريّة).
- 4. أدرسُ معادلة التفاعل الكيميائي، التي تتضمَّن رموزًا افتراضيّة للفلز X واللافلز Y وعنصر الهيدروجين، ثمّ أُجيبُ عن الأسئلة التي تليها:

$$2X_{(s)} + 3H_2Y \rightarrow X_2Y_3 + 3H_{2(g)}$$

- أ . أُحَدِّدُ التغير في عدد تأكسد X.
- ب. أُحَدِّدُ التغير في عدد تأكسد H.
 - ج. أُحَدِّدُ العامل المؤكسد.
- 5. أُوازن معادلات التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل، وَأُحَدِّدُ العامل المؤكسد والعامل المُختزل:
 - أ. $MnO_4^{2-} \rightarrow MnO_4^{-} + MnO_2$ (وسط قاعدي)
 - (وسط حمضي) $S_2O_3^{\ 2^-} + IO_3^{\ -} + Cl^- \rightarrow ICl_2^{\ -} + SO_4^{\ 2^-}$ ب.
- 6. خليّة جلفانيّة مكوَّنة من نصف خليّة الرصاص Pb²⁺|Pb ونصف خليّة الكروم Cr³⁺|Cr. إذا عَلِمْتُ أنَّ تركيز أيونات Cr³⁺
 - أ. أُحَدِّدُ المِصعد والمِهبط في الخليّة الجلفانيّة.
 - ب. أتوقعُ التغيُّر على كتلة قطب الرصاص مع استمرار تشغيل الخليّة.
 - ج. أكتبُ معادلة موزونة تمثّل التفاعل الكلّيّ الذي يحدث في الخليّة.
 - د . أستعين بجدول جهود الاختزال المعياريّة في حساب جهد الخليّة المعياري (E°_{cell}) .

مراجعة الوحدة

نصف تفاعل الاختزال	E° V
$A^+_{(aq)} + e^- \iff A_{(s)}$	0.80
$B^{3+}_{(aq)} + 3e^- \iff B_{(s)}$	1.66
$C^{3+}_{(aq)} + 3e^{-} \longleftrightarrow C_{(s)}$	1.5
$D^+_{(aq)} + e^- \iff D_{(s)}$	2.71
$M^{2+}_{(aq)} + 2e^- \iff M_{(s)}$	0.28

7. يبيِّنُ الجدول المجاور القِيَمَ المطلقة لجهود الاختزال المعياريَّة 'E' يبيِّنُ الجدول المجاور القِيَمَ المطلقة لجهود الاختزال المعياريّة 'B' (A, B, C, D, M). إذا عَلِمْتُ أَنَّ ترتيب العناصر حسب قوَّتها بوصفها عوامل مختزلة، هو: D>B>M>A>C، وأنه عند وصل القطب بوصفها عوامل مختزلة، هو: M بقطب الهيدروجين المعياري تتحرَّك الإلكترونات من M إلى قطب الهيدروجين، فأُجيبُ -بالاستعانة بالمعلومات السابقة - عن الأسئلة الآتية:

- أ. أكتبُ إشارة قِيم جهو دالاختزال المعياريّة 'E للعناصر A, B, C, D, M
- ب. أستنتج: ما العنصر الذي يمكن استخدام وعاء مصنوع منه لحفظ محلول يحتوي على أيونات +A؟
 - ج. أستنتج: ما العامل المؤكسد الذي يؤكسد D و لا يؤكسد M?

4	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. أدرسُ المعادلات والمعلومات المبيَّنة في الجدول المجاور، ثمَّ أُجيب عن الأسئلة الآتية:
 - أ . أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد.
 - ب. أُرَتِّبُ العوامل المُختزَلة تصاعديًّا حسب قوَّتها.
- ج. أستنتج: هل تؤكسدُ أيوناتُ الكادميوم +Cd² أيوناتِ البروم -Br؟
- د. أُقارن: ما العنصران اللذان يكوِّنان خليّةً جلفانيّة لها أعلى جهد خليّة معياري؟
- 9. خليّةُ تحليل كهربائي تحتوي على محلول بروميد الليثيوم LiBr. بالرُّجوع إلى جدول جهود الاختزال المعياريّة؛ أُجيبُ عن الأسئلة الآتية:
 - أ . أكتبُ معادلة التفاعل الذي يحدث عند المِصعد.
 - ب. أستنتج: ما ناتج التحليل الكهربائي عند المِهبط؟
 - ج. أحسب: ما مقدار جهد البطّاريّة اللازم لإحداث عمليّة التحليل الكهربائي؟
 - 10. عند استخدام آلة تصوير ذات بطّاريّة قابلة لإعادة الشحن:
 - أ. أُقارن تحوُّلات الطاقة خلال عمليّتي الاستخدام والشحن.
 - ب. أُفَسِّر: تعمل هذه البطّاريّة كخليّة جلفانيّة وخليّة تحليل كهربائي.
- 11. أدرسُ المعلومات الآتية المتعلِّقَة بالفِلِزّات ذات الرُّموز الافتراضيّة الآتية: C,Z,B,X,A,Y، ثمَّ أُجيبُ عن الأسئلة التي تليها:
 - أ . الفِلِزّ A يختزل أيونات X^{2+} وX ولا يختزل أيونات Y^{2+} .
- ب. عند مفاعلة الفِلِزّين X , B مع محلول حِمض الهيدروكلوريك المخفّف؛ يتفاعل X وينطلق غاز الهيدروجين، أمّا B فلا يتفاعل.
 - ج. عند تكوين خليّة جلفانيّة من الفِلزّين C و Y، تتحرَّك الأيونات السالبة من القنطرة الملحيّة باتجاه نصف خليّة C.

مراجعة الوحدة

- د. يمكن استخلاص الفِلِز Z من محاليل أملاحه باستخدام الفِلِز B.
- 1) أستنتجُ اتجاه حركة الإلكترونات في الخليّة المكوَّنةِ من القطبين C, X.
- 2) أستنتجُ القطب الذي تزداد كتلتُه في الخليّة المكوَّنةِ من القطبين A, B.
- 3) أُقارن: ما القطبان اللذان يُشَكِّلان خليّة جلفانيّة لها أعلى جهد خليّة معياري؟
- 4) أتنبّأ: هل يمكن تحضير الفِلِزّ Z بالتحليل الكهربائي لمحلول 2NO3؟ أُفسّر إجابتي.
- 5) أستنتج: هل يتفاعل الفِلزُ A مع محلول حمض الهيدروكلوريك وينطلق غاز الهيدروجين؟ أُفسِّر إِجابتي.
 - 6) أَتنبَّأُ: هل يمكن تحريك محلول نترات الفِلزّ $Y(NO_3)_2$ بِمِلعقة من الفِلزّ (6)

12. استُخدِمَت أنصاف الخلايا المعياريّة للفِلزّات ذات الرُّموز الافتراضيّة الآتية:

المِصعد	$\mathbf{E}^{\circ}_{\mathbf{cell}}\mathbf{V}$	الخليّة الجلفانيّة
Е	0.16	E-D
Е	0.78	E-L
T	1.93	T-E
Е	0.30	E-M
R	0.32	R-E

T,R,D,M,L مع نصف خليّة الفِلزّ E المعياريّة لتكوين خلايا جلفانيّة، وكانت النتائج كما في الجدول المجاور. أدرُسُهُ جيِّدًا، ثمَّ أُجيبُ عن الأسئلة الآتية:

- أ . أُرَتِّبُ الفِلِزّات متضمِّنَةً الفِلِزّ E حسب قوَّتها بوصفها عوامل مختزلة.
- ب. أحسبُ جهد الخليّة المعياري E°_{cell} للخليّة المكوّنة من الفِلِزّين T,R
- ج. أُقارن. ما الفِلِزّان اللذان يُشكِّلان خليّة جلفانيّة لها أعلى جهد خليّة معياري؟
- د . أستنتج. هل يمكن حفظ محلول أحد أملاح الفِلِزّ D في وعاء من الفِلِزّ R؟ أُفسِّر إجابتي.

13. أختارُ رمز الإجابة الصحيحة لكلّ فقرة من الفقرات الآتية:

- 1. المادَّة التي اختُزِلت في التفاعل الآتي: ${
 m TiO}_2 + 2{
 m Cl}_2 + {
 m C} o {
 m TiCl}_4 + {
 m CO}_2$ ، هي:
- TiCl₄ . د
- جـ. TiO₂
- Cl_2 .ب
- 2. عدد تأكسد البورون B في المركّب NaBH₄ يساوي:

د . 3–

- جـ. 5-
- ب. 5+
- +3 . 1

3. إحدى العبارات الآتية صحيحة:

- أ . العامل المختزِل يسبب تأكسد مادة أخرى في التفاعل الكيميائي.
- ب. العامل المؤكسد يسبب اختزال مادة أخرى في التفاعل الكيميائي.
- ج. تحتوي تفاعلات التأكسد والاختزال جميعها على عامل مؤكسد وعامل مختزل.
 - د . يحتوي تفاعلُ التأكسد والاختزال على عامل مؤكسد أو عامل مختزل.
- $IO_3^-_{(aq)} + 5I^-_{(aq)} + 6H^+_{(aq)} \rightarrow 3I_{2(aq)} + 3H_2O_{(l)}$ 4. العبارة الصحيحة في معادلة التفاعل الموزونة الآتية:
 - I^- ب. العامل المؤكسد في التفاعل هو
- أ . عدد تأكسد اليود في ${
 m IO_3}^-$ يساوي 7+.
- د. تأكسدت ذرّات اليود (أو أيوناته) واختُزِلَت في التفاعل.
- ج. يُعَدُّ التفاعل تأكسدًا واختزالًا ذاتيًّا.

التفاعل الذي يسلكُ فيه الهيدر وجين بو صفه عاملًا مؤكسدًا هو:

$$Cu^{2+} + H_2 \rightarrow Cu + 2H^+$$
.

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$$
 .

$$HCHO + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3OH$$
 . د

$$H_2 + 2Na \rightarrow 2NaH$$
 \rightarrow

6. مقدار التغيُّر في عدد تأكسد ذرّة الكربون (C)، عند تحول الأيون ${^{-2}}$ إلى جزيء ثاني أكسيد الكربون ${^{CO}_2}$ هو:

د . 4

- جـ. 2
- أ. 0 أ.

7. أحدُ التغيُّرات الآتية يحتاج إلى عامل مؤكسد:

$$\operatorname{CrO_4}^{2-} \to \operatorname{Cr}(\operatorname{OH})_4^-.$$

$$PbO_2 \rightarrow Pb^{2+}$$
 . 1

$$H_2O_2 \rightarrow O_2$$
.

$$BiO^+ \rightarrow Bi$$
 .

8. أحدُ التفاعلات غير الموزونة الآتية يمثّل تفاعلَ تأكسد واختزال ذاتي:

$$H_2O + NO_2 \rightarrow HNO_3 + NO$$
.

$$NO + O_2 \rightarrow NO_2$$
.

$$OF_2 + H_2O \rightarrow O_2 + HF$$
 . د

$$MnO_4^- + Mn^{2+} \rightarrow MnO_2$$
 .

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

$$FeO_4^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$$

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

:هو
$$MnO_4^- + H_2O_2 \rightarrow MnO_2 + O_2$$

د . ⁻20H

حـ. ⁻40H

أ . -80H پ. -60H

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

ب. كتلة القطب A تزداد.

أ . القطب السالب هو B.

د . الإلكترونات تتحرَّك من القطب B إلى القطب A.

ج. ترکیز أیونات A^{2+} یز داد.

$\mathbf{E}^{\circ}_{\mathbf{cell}} \mathbf{V}$	القطب الذي يُشَكِّلُهُ الفِلِزِّ X	قطبا الخليّة
0.78	مِهبط	M-X
0.15	مِصعد	X-N
0.74	مِصعد	X-L

 يتضمَّن الجدول المجاور رموز ثلاث خلايا جلفانيّة،
 يُشَكِّل الفِلِزُّ X أحد أقطابها مع أحد الفِلِزَّات ذات الرُّموز الافتراضيّة M، N،L ومعلومات عنها. أدرُسُهُ جيِّدًا، ثمَّ أُجِبُ عِنِ الأسئلة 12 و 13 و 14 و 14.

12. أُرَتِّبُ الفِلِزَّ اتِ X, L, N, M حسب قوَّتها بوصفها عوامل مختزلة:

M>X>N>L.

X>L>N>M .

د. L>N>X>M

M>N>L>X

• أدرسُ الجدول المجاور، حيث يتضمَّن بعض أنصاف تفاعلات الاختزال المعياريَّة وجهودها، وأستخدمُه للإجابة عن السؤالين 15 و 16.

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

15. عند التحليل الكهربائي لمحلول بروميد الخارصين، فإنَّ الناتج عند المِهبط هو:

 H_2 .ب Zn . أ

 OH^- . ι Br₂ . ι

16. عند التحليل الكهربائي لمحلول يحتوي على الأيونات +Cu²⁺ ، Ag⁺ فإنَّ ذرّاتِها تبدأُ بالترسُّب عند المِهبط حسب الترتيب الآتي:

 $\overrightarrow{Ag}, \overrightarrow{Zn}, \overrightarrow{Cu}$. $\overrightarrow{Ag}, \overrightarrow{Cu}, \overrightarrow{Zn}$. $\overrightarrow{Zn}, \overrightarrow{Ag}, \overrightarrow{Cu}$. $\overrightarrow{Zn}, \overrightarrow{Ag}, \overrightarrow{Cu}$.

17. عندما يعادُ شحن بطّاريّة قابلة لإعادة الشحن تعمل الخليّة بوصفها خليّة:

أ. حمضيّة. ب. قلويّة. ب. قلويّة. ب. تحليل كهربائي.

18. العبارات الآتية جميعها صحيحة بالنسبة إلى الخليّة الجلفانيّة Ba|Ba²⁺||Ni²⁺|Ni <u>عدا</u>:

أ . أقوى عامل مؤكسد. بيان Ba أقوى عامل مختزل.

ج. تزدادُ كتلة القطب Ni ... الاختزال. ... عند الله القطب Ni الاختزال.

19. العبارات الآتية التي تصف ما يحدث في بطّاريّة أيون الليثيوم خلال عمليّة شحن البطّاريّة، جميعها صحيحة ما عدا:

أ. تتأكسد أيونات الكوبلت Co^{3+} إلى Co^{4+} إلى Co^{4+} إلى Co^{4+} إلى Co^{3+} المجبط في أثناء الشحن. خليّة الجرافيت. Co^{4+} الميثيوم Co^{4+} باتجاه نصف خليّة الجرافيت.





تفاعلات المركبات العضوية الكيميائية كثيرة جدًّا؛ يمكن تصنيفها إلى تفاعلات: الإضافة، والحذف، والاستبدال، والتأكسد، والاختزال؛ لتسهيل دراستها، ومعرفة طرائق حدوثها، والظروف التي تحدث فيها، وتوقع نواتجها العضوية، وتوظيفها في تحضير مركبات جديدة وتصنيعها.

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

الدرس الثاني: تفاعلات الاستبدال والتأكسد والاختزال. الفكرة الرئيسة: تتفاعل بعض المركبات العضوية بطريقة الاستبدال، حيث يجري فيها استبدال ذرة أو مجموعة ذرات بذرة أو مجموعة ذرات أخرى، كما تتأكسد بعض المركبات العضوية أو تختزل، وينتج

عن ذلك مركبات جديدة مختلفة في خصائصها.

الدرس الثالث: تحضير المركبات العضوية.

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

الكشف عن المجموعات الوظيفية في بعض المركبات العضوية

المواد والأدوات: محلول حمض الكبريتيك $_4^{12}$ ، محلول دايكرومات البوتاسيوم $_4^{12}$ ، كربونات الصوديوم المواد والأدوات: محلول حمض الكبريتيك $_4^{12}$ ، $_4^{12}$ ، كربونات الصوديوم ، $_4^{12}$ ،

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 الورقى اللاصق أرقّمها من (1-3)، وأضعها على حامل الأنابيب.
 - 2 أقيس 3 mL من حمض الإيثانويك باستخدام الماصّة، ثم أسكبها في أنبوب الاختبار رقم (1).
- 3 ألاحظ: أضيف إلى الأنبوب رقم (1) كمية قليلة من كربونات الصوديوم الهيدروجينية، وأرجّه بلطف، ثم أقرب من فوهة أنبوب الاختبار بحذر عود كبريت مشتعلًا، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
 - 4] أقيس 3 mL من الإيثانال باستخدام الماصّة، ثم أسكبها في أنبوب الاختبار رقم (2).
- 5 ألاحظ: أضيف إلى الأنبوب رقم (2) أربع قطرات من محلول فهلنج، وأسخنه مدة min 3، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
 - 6 أقيس 3 mL من الإيثانول باستخدام الماصّة، ثم أسكبها في أنبوب الاختبار رقم (3).
- 7 ألاحظ: أضيف إلى الأنبوب رقم (3) أربع قطرات من محلول دايكرومات البوتاسيوم، وقطرتين من محلول حمض الكبريتيك، ثم أرجّه مدة min ، وأسجل ملاحظاتي في جدول البيانات.
 - انظم البيانات: أسجل النتائج التي حصلت عليها في جدول البيانات الآتي:

الملاحظة	المجموعة الوظيفية	المركب
		حمض الإيثانويك

التحليل والاستنتاج:

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

تفاعلات المركبات العضوية: الإضافة، والحذف

Reactions of Organic Compounds, Addition and Elimination

الفكرةُ الرئيسة:

الدرس

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

لناجاتُ التعلُّم:

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

المفاهية والمصطلحات:

Addition Reactionتفاعل الإضافةNucleophileنيوكليوفيلوفيلElectrophileإضافة إلكتروفيلإضافة إلكتروفيل

Electrophilic Addition

قاعدة ماركوفينيكوف

Markovnikov's Rule

إضافة نيوكليوفيلية

Nucleophilic Addition

تفاعل الحذف Elimination Reaction

Addition Reactions تفاعلات الإضافة

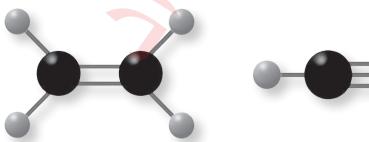
درست سابقًا؛ أن المركب العضوي يحتوي على ذرة أو مجموعة ذرات في تركيبه الكيميائي تكون مسؤولة عن خصائصه ونشاطه الكيميائي، وتسمى المجموعة الوظيفية. وتختلف المركبات العضوية في مجموعاتها الوظيفية؛ وتختلف تفاعلاتها تبعًا لذلك. ورغم أن هذه التفاعلات كثيرة جدًّا، إلا أنها صنفت إلى تفاعلات الإضافة، والحذف، والاستبدال،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

عرفت سابقًا أن المركبات العضوية المشبعة تحتوي على رابطة تساهمية أحادية من النوع سيجما σ ، وأن المركبات العضوية غير المشبعة تحتوي على رابطة تساهمية ثنائية أو ثلاثية، وهي تتكون من نوعين من الروابط، هما: سيجما σ القوية، وباي π الضعيفة. ولذلك تعدّ هذه المركبات نشطة كيميائيًّا، ومن أشهر تفاعلاتها: الإضافة.

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

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

يُعرَف تفاعل الإضافة Addition Reaction بأنه تفاعل بين جزيئين يعرَف تفاعل الإضافة الثنائية أو الثلاثية لتكوين جزيء واحد جديد.



الشكل (1): الرابطة الثنائية في الإيثين، والرابطة الثلاثية ◄ في الإيثاين.

تفاعلات الإضافة في الألكينات Addition Reactions in Alkenes

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

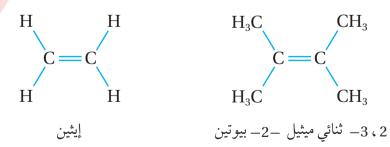
$$C = \frac{\sigma}{\pi} C + X - Y \longrightarrow - C \xrightarrow{\sigma} C - C \xrightarrow{\sigma} C \xrightarrow{\sigma} X Y$$

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 مكونة معه رابطة تساهمية، ويطلق على الرابطة الثنائية والأيونات السالبة (مثل: "OH-, Br) اسم نيوكليوفيلات Nucleophiles، وهي أطراف غنية بالإلكترونات تمتلك زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة، وتنجذب نحو الطرف الموجب للجزيء. كما يطلق على الأطراف الموجبة للجزيئات، (مثل: "H) اسم إلكتروفيلات (Philes ومن يطلق على الأطراف محبّة للإلكترونات، تنجذب إلى منطقة الكثافة الإلكترونية السالبة. ومن الأمثلة على تفاعلات الإضافة: إضافة جزيء كلّ من الهيدروجين، أو الهالوجين، أو الماء، إلى الرابطة الثنائية في الألكين.

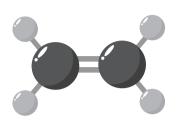
الألكين المتماثل والألكين غير المتماثل

Symmetrical and Unsymmetrical Alkenes

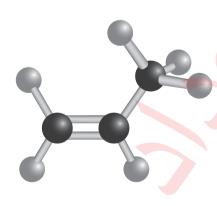
يعدّ الألكين متماثلًا عندما ترتبط كل ذرة كربون من ذرتي كربون الرابطة الثنائية بذرات أو مجموعات متماثلة، أنظر الشكل (2) فمثلًا: ترتبط كل ذرة كربون في جزيء الإيثين بذرتي هيدروجين، وكذلك في المركب 2، 3- ثنائي ميثيل -2- بيوتين؛ ترتبط كل ذرة كربون من ذرتي كربون الرابطة الثنائية بمجموعتي ميثيل، كما يأتي:



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



الشكل (2):: ألكين متماثل.



الشكل (3):: ألكين غير متماثل.

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

Addition of Hydrogen (الهدرجة) الهيدروجين الهدرجة)

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

وكذلك يتفاعل جزيء البروبين CH₃CH=CH₂ مع غاز الهيدروجين مكوّنًا جزىء البروبان CH₃CH₂CH₃ كما يأتى:

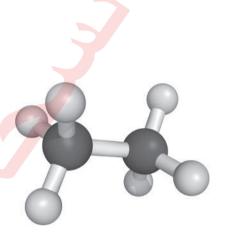
$$CH_3CH=CH_2 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2CH_3$$

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

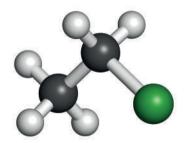
 $CH_2=CH_2$ يتفاعل بروميد الهيدروجين HBrمع الألكين المتماثل مثل الإيثين e

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

يتضح من المعادلة أن ذرة الهيدروجين من HBr تر تبط مع إحدى ذرتي كربون الرابطة الثنائية، وتر تبط ذرة البروم مع ذرة الكربون الأخرى؛ ويتكون ناتج واحد هو برومو إيثان CH_3CH_2 Br برومو إيثان CH_3CH_2 Br أنظر الشكل (5). ويمكن تفسير التفاعل بأن الإلكتروفيل CH_3 CH من جزيء HBr ينجذب نحو الرابطة الثنائية؛ مما يؤدي إلى كسر رابطة π ، وير تبط CH_3 بإحدى ذرتي الكربون مكوّنًا الرابطة CH_3 0، وتنشأ على ذرة الكربون الأخرى شحنة موجبة، فيتكون أيون كربوني موجب، كما هو موضّح في المعادلة الآتية:

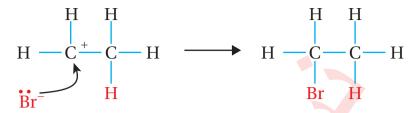


الشكل (4):جزيء الإيثان.



الشكل (5):جزيء بروموإيثان.

يتبع ذلك ارتباط النيوكليوفيل Br^- بالأيون الكربوني الموجب، فتتكون رابطة C-Br كما يأتى:



والأيون الكربوني قد يكون أوّليًّا أو ثانويًّا أو ثانويًّا أنظر الجدول رقم (1) الذي يوضح شكلًا مبسّطًا لأنواع الأيون الكربوني، حيث R مجموعة ألكيل. ويكون الأيون الكربوني الثانوي، وأقلها الأيون الكربوني الثانوي، وأقلها ثباتًا؛ الأيون الكربوني الأولي.

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

ومن الأمثلة أيضًا على هذه الإضافة: إضافة بروميد الهيدروجين HBr إلى ألكين غير متماثل، مثل البروبين CH₃CH=CH₂؛ فإنه يُحتمَل تكوّن ناتجين، كما هو موضح في المعادلتين الآتيتين:

$$H_3C$$
 C $CH_2 + HBr \longrightarrow CH_3CH_2CH_2Br$ H_3C

or
$$C = CH_2 + HBr \longrightarrow CH_3CHCH_3$$

$$H$$

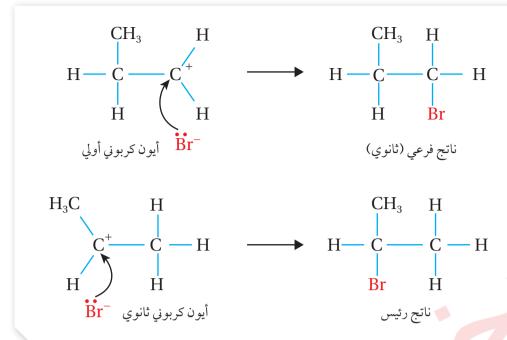
$$H$$

يتضح من المعادلتين أن ذرة البروم يمكن أن ترتبط مع إحدى ذرتي كربون الرابطة الثنائية، وبناء على ذلك يُحتمَل أن يتكون المركب 1 – برموبروبان أو 2 – بروموبروبان، ويمكن تفسير ذلك وقد وُجِد عمليًّا أن الناتج الرئيس الذي يتكون هو 2 – بروموبروبان، ويمكن تفسير ذلك عن طريق قاعدة ماركوفينيكوف Markovnikov's Rule، التي تنصّ على أنه عند إضافة هاليد الهيدروجين HX إلى ألكين غير متماثل؛ فإن ذرة الهيدروجين ترتبط بذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين. وهذا بدوره يؤدي إلى تكوين أيون كربوني ثانوي هو الأكثر استقرارًا وثباتًا، وبهذا؛ فإن تفاعل أيون البروميد للله على الكربوني الثانوي يؤدي إلى تكوين الناتج الرئيس 2 – بروموبروبان، Br

الجدول (1): أنواع الأيون الكربوني.

نوع الأيون الكربوني	الصيغة البنائية
الأيون الكربوني الأولي	R C^+ H
الأيون الكربوني الثانوي	$\frac{H}{R}$ C^+ $-R$
الأيون الكربوني الثالثي	R C^+ R

أفكْن كيف أميّز بين أنواع الأيونات الكربونية الثلاثة؟



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

أُفكِّر: أفسّر عدم تكوّن أيون كربوني ثالِثيّ في تفاعل بروميد الهيدروجين مع البروبين CH₃CH=CH₂.

الربط بالحياة

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

مقارنةً بتفاعل أيون البروميد Br^- مع الأيون الكربوني الأوّلي الأقل استقرارًا وثباتًا، الذي يؤدي إلى تكوين ناتج فرعي (ثانوي) كما هو موضّح في الشكل (6).

اضافة الماء Addition of Water H2O

يتفاعل بخار الماء مع الإيثين ${\rm CH_2=CH_2}$ مثلًا؛ بوجود عامل مساعد، مثل حمض الفسفوريك ${\rm CH_3PO_4}$ ، أو حمض الكبريتيك ${\rm CH_2SO_4}$ ، وتحت ضغط جوي ودرجة حرارة مناسبين؛ وذلك لإنتاج الإيثانول ${\rm CH_3CH_2OH}$ ويعبّر عن التفاعل بالمعادلة الآتية: ${\rm CH_2=CH_2+H_2O} \xrightarrow{\rm H_3PO_4} {\rm CH_3CH_2OH}$

وكذلك يتفاعل البروبين ${
m CH}_3{
m CH}={
m CH}_2$ مع الماء في وسط حمضي؛ تبعًا OH
لقاعدة ماركوفنيكوف مكوِّنًا المركب 2- بروبانول ${
m CH}_3{
m CHCH}_3$ ، كما في المعادلة الآتية:

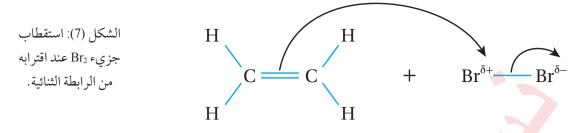
 $CH_3CH = CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_3PO_4} CH_3CHCH_3$

إضافة الهالوجين (Cl2,Br2) Addition of Halogen

تتفاعل الألكينات مع الهالوجينات، مثل الكلور أو البروم، عند درجة حرارة الغرفة، فمثلًا: يتفاعل الإيثين مع غاز الكلور مكوّنًا المركب 1، 2 ثنائي كلوروإيثان CH_2CICH_2CI ؛ كما هو موضّح في المعادلة الآتية:

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

ويتفاعل الإيثين مع البروم Br_2 المذاب في ثنائي كلوروميثان Br_2 9؛



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

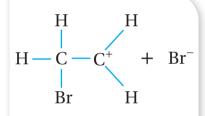
$$CH_2=CH_2 + Br_2 \xrightarrow{CH_2Cl_2} CH_2BrCH_2Br$$

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

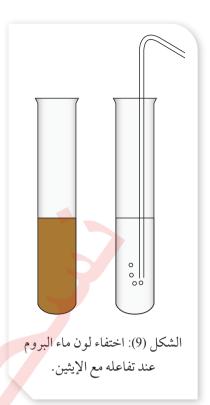
ثم يحدث تجاذب بين الشحنة السالبة للرابطة C=C من الألكين وذرة البروم ذات الشحنة الجزئية الموجبة؛ فتنكسر الرابطة π في الألكين، وتتكون الرابطة C-Br، وينتج أيون كربوني موجب، وأيون بروميد سالب، وتُعدّ هذه الإضافة إضافة إلكتروفيلية، أنظر الشكل (8).

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

يُستعمل محلول البروم المائي (ماء البروم) ذو اللون البرتقالي المصفر في الكشف عن وجود الرابطة الثنائية أو الثلاثية، لذلك؛ يمكن التمييز مخبريًّا بين الهيدروكربون المشبع وغير المشبع، باختفاء لون محلول البروم عند إضافته إلى الهيدروكربون غير المشبع، فمثلًا: عند ضخ فقاعات غاز الإيثين $CH_2=CH_2$ عبر محلول البروم يختفى



الشكل (8): تكون رابطة C - Br وأيون كربوني موجب وأيون بروميد سالب.



لون محلول البروم كما هو موضح في الشكل (9). أما عند إضافة محلول البروم إلى الإيثان د CH₃CH₃ فإن لون المحلول لا يتغير ، مما يشير إلى عدم حدوث تفاعل.

√ أتحقَّق:

1- أكمل المعادلات الآتية:

- $CH_3CH=CHCH_3+H_2$ Ni
- CH₂=CH₂ + Cl₂ ----
- CH₃ CH₂CH=CH₂ + HCl →
- $CH_3CH_2CH=CH_2+H_2O \xrightarrow{H_3PO_4}$
- 2- أكتب معادلة كيميائية توضح إضافة بروميد الهيدروجين HBr إلى المركب $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2$

Addition Reactions in Alkynes تفاعلات الإضافة في الألكاينات

تتفاعل الألكاينات بتفاع الإضافة كما في الألكينات؛ إذ يمكن إضافة جزيئين من الهيدروجين، أو الهالوجين، أو هاليد الهيدروجين إلى الألكاين؛ فتنكسر رابطتا π ، ويتكون بدلًا منهما أربع روابط من النوع σ ، والأمثلة الآتية توضّح هذه الإضافة:

إضافة الهيدروجين Addition of Hydrogen

يتفاعل الألكاين مع كمية وافرة من الهيدروجين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل المناعلة والمرتبع المناعلة والمرتبع المناعل الألكان، فمثلًا: يتفاعل جزيء الإيثاين Pt مع كمية وافرة من الهيدروجين مكوّنًا جزيء الإيثان CH_3CH_3 ، ويمكن التعبير عن معادلة التفاعل كما يأتي:

$$H-C\equiv C-H+2H_2$$
 Ni CH_3CH_3

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

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

إضافة الهالوجين Addition of Halogen

يتفاعل الألكاين مع كمية وافرة من الهالوجين مكوّنًا هاليد الألكيل، فمثلًا: يتفاعل جزيء الإيثاين $CH \equiv CH$ مع جزيئين من البروم $2Br_2$ المذاب في ثنائي كلوروميثان CH_2CH_2 مكوّنًا الجزيء -2،2،1،1 كما هو موضح في المعادلة الآتية:

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

أُفكِّر: أفسر تفاعل جزيئين من الهيدروجين مع جزيء واحد من الإيثاين.

وكذلك يتفاعل جزيء البروباين CH₃C≡CH مع جزيئين من الكلور يوكذلك يتفاعل جزيء البروباين CH₃CCl₂CHCl₂ كما يأتي: مكوّنًا 1، 1، 2، 2- رباعي كلورو بروبان CH₃CCl₂CHCl₂ كما يأتي: CH₃C≡CH + 2Cl₂ → CH₃CCl₂CHCl₂

إضافة هاليد الهيدروجين Addition of Hydrogen Halide

يضاف جزيئان من هاليد الهيدروجين إلى الألكاين وفق قاعدة ماركوفينكوف؛ إذ ترتبط ذرتا هيدروجين من هاليد الهيدروجين مع ذرة كربون الرابطة الثلاثية المرتبطة بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين في الألكاين، فمثلًا: يتفاعل جزيئان من بروميد الهيدروجين HBr مع جزيء البروباين CH_3CECH ، فينتج جزيء -2.2 ثنائى بروموبروبان $CH_3CBr_2CH_3$ ؛ كما يأتى:

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

كما يتفاعل جزيئان من كلوريد الهيدروجين HCl مع جزيء الإيثاين CH≡CH مكوّنًا الجزيء 1،1− ثنائي كلوروإيثان 2H₃CHCl₂؛ كما يأتي:

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



- CH₃C≡CH + 2Cl₂ →

2- أكتب معادلة تفاعل 2- بيوتاين CH₃C≡CCH₃ مع كمية وافرة من الهيدروجين.

تفاعلات الإضافة في الألديهايدات والكيتونات

Addition Reactions in Aldehydes and Ketones

تتشابه الألديهايدات والكيتونات في كثير من تفاعلاتها الكيميائية؛ وذلك لاحتواء كلّ منها على مجموعة الكربونيل القطبية التي تحتوي على رابطة ثنائية بين ذرة الكربون وذرة الأكسجين، أنظر الشكل (10)؛ مما يجعل الألديهايدات والكيتونات تتفاعل بالإضافة. ومن الأمثلة على هذه التفاعلات: تفاعلاتها مع مركبات غرينارد، ومع الهيدروجين كما يأتي:

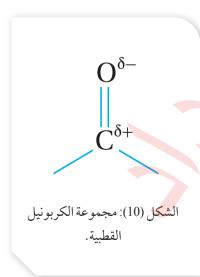
Addition of Grinard's Compound R — MgX إضافة مركب غرينارد

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

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

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

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



الشكل (11): الإضافة النيوكليوفيلية
$$\delta - MgX + C$$
 $\delta - MgX + C$
 $\delta + C$

وكذلك ينتج مركب إيثيل بروميد المغنيسيوم CH_3CH_2MgBr من تفاعل بروميد الإيثيل (برومو إيثان) CH_3CH_2Br مع فلزّ المغنيسيوم بوجود الإيثر CH_3CH_2Br مع فلزّ المغنيسيوم بوجود الإيثر CH_3CH_2Br مع فلزّ المغنيسيوم بوجود الإيثر CH_3CH_2Br

 $CH_3CH_2Br + Mg \xrightarrow{Et} CH_3CH_2MgBr$

وحيث إن ذرة المغنيسيوم أقل سالبية كهربائية من ذرة كربون مجموعة الألكيل R المرتبطة بها، تظهر على ذرة المغنيسيوم شحنة جزئية موجبة، وتظهر على ذرة الكربون المرتبطة بذرة المغنيسيوم من مجموعة الألكيل R شحنة جزئية سالبة، ($\frac{\tilde{K}}{\tilde{K}} - \frac{\tilde{K}}{\tilde{K}}$)، وبهذا فإن مجموعة الألكيل $\frac{\tilde{K}}{\tilde{K}}$ تعدّ نيوكليوفيلا يبدأ التفاعل مع مجموعة الكربونيل، حيث ينجذب النيوكليوفيل نحو ذرة الكربون الموجبة الشحنة في مجموعة الكربونيل في الألديهايد أو الكيتون، ولذلك يطلق الموجبة النوع من الإضافة الإضافة النيوكليوفيلية Nucleophilic Addition على هذا النوع من الإضافة الإضافة النيوكليوفيلية كليوفيلية كما هو موضح في الشكل (11) الذي يُبيّن هذه الإضافة.

يتضح من الشكل أن النيوكليوفيل $\frac{8}{N}$ يرتبط مع ذرة الكربون ذات الشحنة الجزئية الموجبة في مجموعة الكربونيل، ثم يرتبط الإلكتروفيل $\frac{8}{N}$ 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، وينتج الكحول، ويكون عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج مساويًا لمجموع عدد ذرات كربون المادتين المتفاعلين من مركب الكربونيل ومركب غرينارد، فمثلًا: يتفاعل الميثانال HCh مع ميثيل كلوريد المغنيسيوم موضح في المعادلة الآتية:

$$\begin{array}{c} O \\ H-C-H + CH_3MgCl \longrightarrow H-C-H \\ \hline CH_3 \end{array} \xrightarrow{HCl} H-C-H + MgCl_2$$

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

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

$$O_{\parallel}$$
 OMgCl OHgCl $CH_3-C-H+CH_3CH_2MgCl \longrightarrow CH_3-C-H \xrightarrow{HCl} CH_3C-H+MgCl_2$ CH_2CH_3 CH_2CH_3 CH_2CH_3 CH_2CH_3 CH_2CH_3 CH_2CH_3

O

$$CH_3-C-CH_3+CH_3CH_2MgCl\longrightarrow CH_3-C-CH_3 \xrightarrow{HCl} CH_3-C-CH_3+MgCl_2$$
 CH_2CH_3
 CH_2CH_3
 CH_2CH_3
 CH_2CH_3
 CH_2CH_3

إضافة الهيدروجين Addition of Hydrogen

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

وكذلك يتفاعل البروبانون ${\rm CH_3COCH_3}$ مع غاز الهيدروجين ${\rm H_2}$ مكوّنًا ${\rm CH_3CHOHCH_3}$ وفق المعادلة الآتية:

√ أتحقَّق:

1- أكمل المعادلتين الآتيتين:

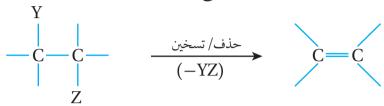
- $CH_3COCH_2CH_3 + H_2$ Ni
- $\bullet \ CH_3CH_2CH_2CHO + CH_3CH_2MgBr \ _ \ \ \ \ \underline{ \ \ \ \ \ \ \ } \ \$
- 2- أكتب معادلة تفاعل البيوتانون «CH₃CH₂COCH مع إيثيل كلوريـد المغنيسيوم CH₃CH₂COCH، متبوعًا بإضافة حمض HCl.

أفكر: أكتب الصيغة البنائية المحتملة لمركبي غرينارد والألديهايد اللازمين لتكوين مركب 3- بنتانول. والإعراد والإعراد والإعراد والإعراد والإعراد والإعراد والم

أصمّم، باستخدام برنامه باستخدام برنامه السكراتي (Scratch)، عرضًا يوضح إضافة CH₃MgCl إلى البيوتانال CH₃CH₂CH₂CHO متبوعًا بإضافة حمض HCl، وكذلك إضافته إلى البيوتانون «CH₃CH₂COCH» ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

تفاعلات الحذف Elimination Reactions

درست سابقًا تفاعـ لات الإضافـ قي الألكينات، حيث جرى كسر الرابطة π من الرابطة الثنائية في الألكين عند إضافة جزيء هاليد الهيدروجين HX إليه مكوّنًا هاليد الألكيل R-X، وكذلك إضافة جزيء الماء H_2O مكوّنًا الكحول H_3O أما تفاعل الحذف Elimination Reaction؛ فهو تفاعل يحدث فيه نزع جزيء هاليد الهيدروجين HX من هاليد الألكيل من ذرتي كربون متجاورتين، أو نزع جزيء الماء H_2O من الكحول مكوّنًا الألكين. وتوضح المعادلة العامة الآتية تفاعل الحذف:



الحذف من هاليد الألكيل Elimination from Alkyl Halide

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

ينتزع جزيء HX من هاليد الألكيل الثانوي أو الثالثي بشكل رئيس، وذلك بالتسخين مع محلول مركز من قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد البوتاسيوم KOH أو هيدروكسيد الصوديوم NaOH المذاب في الإيثانول، فينتج الألكين. فمثلًا: عند تسخين 2 بروموبروبان $CH_3CHBrCH_3$ مع محلول هيدروكسيد الصوديوم الكحولي، يتكون المركب العضوي بروبين $CH_3CH=CH_3$ ، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

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

هاليد ألكيل ثالثي °3	هاليد ألكيل ثانوي ²	$^{1^\circ}$ هاليد ألكيل أولي	نوع هاليد الألكيل
R'-C-X R"	R'-C-X H	R-C-X H	الصيغة العامة
CH ₃ CH ₃ -C-CH ₃ Br	CH ₃ CHCH ₃ Br	CH₃CH₂CH₂Br	مثال

ويمكن كتابة معادلة التفاعل على النحو الآتي:

 $CH_3CHBrCH_3 +$ کحولي NaOH $\xrightarrow{\Delta}$ $CH_3CH=CH_2 + NaBr + H_2O$

يتضح من المعادلة أن ذرة البروم Br نُزِعت عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وأن ذرة هيدروجين H نُزِعت عن ذرة الكربون المجاورة لها؛ فتكونت رابطة ثنائية بين ذرتى الكربون المتجاورتين ونتج البروبين.

وعند زيادة عدد ذرات الكربون في هاليد الألكيل عن 3 ذرات كربون، تُنزَع ذرة الهيدروجين H من ذرة الكربون المجاورة لذرة الكربون المرتبطة بالهالوجين التي ترتبط بعدد أكبر من مجموعات الألكيل وبعدد أقل من ذرات الهيدروجين.

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

$$^4_{\text{CH}_3\text{CH}_2}$$
 $^4_{\text{CH}_3\text{CH}_2}$ $^4_{\text{CH}_3\text{CH}_3}$ $^4_{\text{CH}_3\text$

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

Cl CH₃CHCH₂CH₂CH₃ كلوروبنتان 2− كلوروبنتان CH₃CHCH₂CH₂CH₃ مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الكحولي.

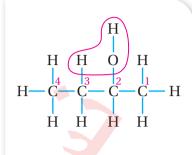
الحذف من الكحول Elimination from Alcohol

عند تسخين الكحول مع حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز أو حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركز؛ يُنزَع جزيء H_2O من ذرتي كربون متجاورتين، ويث تُنزَع مجموعة OH عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وتُنزَع ذرة الهيدروجين H عن ذرة الكربون المجاورة، فتتكون رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون المتجاورتين وينتج الألكين، ومثال ذلك: نزع جزيء الماء من الإيثانول CH_3CH_2OH ؛ فينتج الإيثين CH_3CH_2OH ، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

أما عند تسخين 2 – بيوتانول ${\rm CH}_3{\rm CHCH}_2{\rm CH}_3$ مع حمض الفسفوريك المركز ${\rm H}_3{\rm PO}_4$ ؛ فتُنزَع مجموعة الهيدروكسيل ${\rm OH}$ عن ذرة الكربون المرتبطة بها، وتُنزَع ذرة الهيدروجين ${\rm H}$ عن ذرة الكربون رقم (3) التي ترتبط بعدد أكبر من مجموعات الألكيل كما يوضح الشكل (12)، ويتكون 2 – بيوتين ${\rm CH}_3{\rm CH}={\rm CHCH}_2$ كما هو موضح في المعادلة الآتية:

 $CH_3CH_2CHOHCH_3 \xrightarrow{H_3PO_4} CH_3CH=CHCH_3 + H_2O$

أتحقَّق: أكتب معادلة تفاعل تسخين المركب 2− هكسانول V OH CH $_3$ CH $_2$ CH $_2$ CH $_2$ CH $_3$ CH $_$



الشكل (12): نزع الماء من المركب 2- بيو تانو ل.

مراجعة الارس

- 1. الفكرة الرئيسة: أقارن بين تفاعلي الإضافة والحذف.
 - 2. أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:
- $CH_3COCH_3 + C_2H_5MgBr \longrightarrow \xrightarrow{HBr}$
- CH₃CHO + H₂ Ni
- CH₃CH₂CH=CH₂ + HCl →
- $CH_3CH_2CH_2C \equiv CH + 2HCl \longrightarrow$
- $CH_3CH_2CHOHCH_2CH_3 \xrightarrow{\Delta/H_2SO_4}$

3. أكتب معادلة كيميائية تبين كُلًا مما يأتي:

- إضافة الماء بوسط حمضى إلى المركب -1 بنتين -1 بنتين وسط حمضى المي إلى المركب
- إضافة 2 مول من غاز الهيدروجين إلى المركب 2- هكساين CH₃C≡CCH₂CH₂CH₃ بوجود عامل .Ni بوجود عامل
- إضافة بروبيل كلوريد المغنيسيوم CH₃CH₂CH₂CH₂MgCl إلى بروبانون «CH₃COCH، متبوعًا بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl.
 - . المركّز . H_2SO_4 المركّز . H_2SO_4 المركّز . $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ المركّز .
- KOH مع محلول هيدروكسيد البوتاسيوم 1 CH $_{3}$ CCH $_{2}$ CH $_{3}$ CH $_{3}$ CH $_{3}$ CH $_{3}$ CH $_{3}$ CH $_{3}$ CH $_{3}$
- 4. أطبق: مركب عضوي X صيغته C_2H_6O 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 Y العضوي Y العضوي Y أستنتج صيغة المركبات العضوي المحتملة Y.
 - 5. أستنتج صيغة المركب المستخدم في التفاعل الآتي:

6. أدرس الجدول الآتي الذي يضمّ مركبات عضوية، ثم أختار منه صيغة المركب الصحيحة لكل مما يأتي:

CH ₃ CH ₂ Br	CH ₂ =CH ₂	CH ₃ CH ₃
СН≡СН	CH₃CHO	CH₃CH₂OH

- أ . صيغة المركب الناتج من تفاعل الإيثين ${
 m CH}_2 = {
 m CH}_2$ مع بروميد الهيدروجين ${
 m HBr}$.
- ب. صيغة المركب الناتج من تسخين الإيثانول CH_3CH_2OH مع حمض الفسفوريك H_3PO_4 المركّز.
 - ج. ناتج تفاعل الإيثاين CH≡CH، مع 2 مول من الهيدروجين بوجود النيكل Ni.
 - د. صيغة المركب الناتج من تفاعل الإيثانال CH3CHO مع الهيدروجين بوجود النيكل Ni.
- هـ. صيغة المركب الناتج من تفاعل الميثانال HCHO مع ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH3MgCl، متبوعًا بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl.

7. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. يتكوّن أيون كربوني ثانوي موجب خلال تفاعل بروميد الهيدروجين HBr مع أحد المركبات الآتية:

$$CH_2=CH_2$$
.

$$CH_2=CHCH_3$$
.

$$CH_2 = C - CH_2CH_3$$
 \leftarrow CH_3

 H_3PO_4 عند إضافة الماء بوجود حمض الفسفوريك CH_3 CHCHOHCH $_3$ عند إضافة الماء بوجود حمض الفسفوريك CH_3

3. الناتج العضوي الرئيس عند تسخين -2 بروموبنتان ${\rm CH_3CHBrCH_2CH_2CH_3}$ مع هيدرو كسيد البوتاسيوم ${\rm KOH}$ الكحولي، هو:

 $X + CH_3CH_2MgCl$ $\longrightarrow CH_3CH_2CHOHCH_2CH_3$. هي: $X + CH_3CH_2MgCl$

.5 صيغة المركب $Z + 2HCl \longrightarrow CH_3CCl_2CH_3$ في التفاعل: $Z + 2HCl \longrightarrow CH_3CCl_2CH_3$

$$CH_3C\equiv CH$$
.

O في تفاعل الميثانال H-C-H مع ميثيل هاليد المغنيسيوم CH_3MgX ، الجزء الذي يضاف إلى ذرة الأكسجين في مجموعة الكربونيل، هو:

$$Mg^{\delta+}X$$
 .ب

$$Mg^{2+}$$
 . \rightarrow

تفاعلات الاستبدال والتأكسد والاختزال

Substitution and Oxidation Reduction Reactions



الفلرةُ الرئيسة:

تتفاعل بعض المركبات العضوية بطريقة الاستبدال، حيث يجرى 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.

لتعلُّه: ◄ نتاجاتُ التعلُّم:

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

المفاهية والمصطلحات:

تفاعل الاستبدال

جذر حرّ

Substitution Reaction

Free Radical

الاستبدال النيو كليو فيلي

Nucleophilic Substitution

الأسترة Esterification

Saponification التصبين

الشكل (13): أمثلة لمركبات عضوية تتفاعل بالاستبدال.

تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions

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

تفاعلات الاستبدال في الألكانات (هلجنة الألكانات)

Substitution Reactions of the Alk

يُعرَّف تفاعل هلجنة الألكانات بأنه تفاعل استبدال تحلّ فيه ذرة هالوجين أو أكثر محل ذرة هيدروجين أو أكثر في الألكان مكوّنًا هاليد الألكيل، ويحدث التفاعل بوجود الضوء، أو بالتسخين الذي يعمل على كسر الرابطة بين ذرتي الهالوجين مكوّنًا ما يسمى الجذر الحرّ Free Radical كما في المعادلة الآتية:

ويُعَرَّف بأنه ذرة أو مجموعة ذرات تمتلك إلكترونًا منفردًا مثل Cl· مما يجعله شديد النشاط؛ فيتفاعل مع الألكان لتكوين هاليد الألكيل حسب المعادلة الآتية:

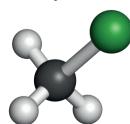
$$R-H + X_2 \xrightarrow{\text{dig-s log rundary}} R-X + H-X$$

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





التفاعل مع الكلور والبروم.



هاليد ألكيل



فمثلًا: يتفاعل الميثان ${
m CH_4}$ مع الكلور ${
m CI_2}$ ؛ بوجود الضوء منتجًا كلور وميثان ${
m CH_3Cl}$ حسب المعادلة:

ألاحظ أن ذرة كلور واحدة حلت محل ذرة هيدروجين في استبدال أحادي؛ ويمكن للتفاعل أن يستمر، بحيث تحل أكثر من ذرة كلور محل ذرات الهيدروجين، وسيُكتفى فقط بدراسة الاستبدال الأحادي في الميثان والإيثان ، CH₃CH₃.

$$CH_3CH_3 + Br_2 \xrightarrow{\dot{\upsilon}\dot{\upsilon}}$$
 أتحقَّق: أكمل المعادلة الآتية:

تفاعلات الاستبدال في هاليدات الألكيل

Substitution Reactions of Alkyl Halides

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

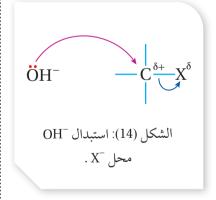
تتفاعل هاليدات الألكيل الأولية بشكل رئيس بالاستبدال؛ وذلك عند تفاعلها مع قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH، أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصاء والإيثانول مكوّنةً كحول ROH، كما تتفاعل مع أيون الكوكسيد ROF وتنتج الإيثر ROR، والمعادلة الآتية تمثل المعادلة العامة للتفاعل: R-X+Nu

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

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

توضح المعادلة الآتية تفاعل برومو إيثان مع محلول NaOH، كما في المعادلة الآتية: $CH_3CH_2Br + NaOH \longrightarrow CH_3CH_2OH + NaBr$

يمكن التعبير عن المحلول NaOH بأيون "OH كما في المعادلة الآتية:



المعادلة الآتية:

 $CH_3CH_2CH_2CH_2CI + OH^- \longrightarrow CH_3CH_2CH_2CH_2OH + CI^ CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH + CI^ CH_3CH_2CH_2CH_2OH + CI^ RO^- \longrightarrow RO^- + RO^- + RO^ RX + RO^- \longrightarrow ROR^+ + X^-$

حيث يحل الأيون RO^- محل X^+ كما يوضح الشكل (15). والمعادلة الآتية توضح تفاعل أيون الميثوكسيد CH_3O^- مع كلوروإيثان CH_3CH_2CI ؛ لتكوين إيثيل ميثيل إيثر حسب المعادلة:

 $CH_3CH_2Cl + CH_3O^- \longrightarrow CH_3CH_2OCH_3 + Cl^ CH_3OH_3O^ CH_3O^-$ من تفاعــل كحــول الميثانول CH_3O^- مع فلزّ نشط، مثــل الصوديـوم؛ إذ ينتج المركب الأيوني ميثوكسيد الصوديوم CH_3O^- الذي يتفكك في الماء منتجًا أيون CH_3O^- اللازم للتفاعل، وسنتطرق إلى دراسة تفاعل الكحو لات مع الفلزات النشطة لاحقًا.



- CH₃CH₂CH₂Cl + OH⁻
- $CH_3CH_2CH_2Br + CH_3CH_2O^-$

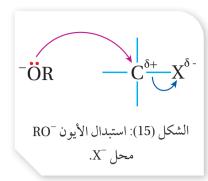
Substitution Reactions of Alcohols تفاعلات الاستبدال في الكحولات

تعد الكحولات من المركبات المهمة التي تُستخدَم لتحضير العديد من المركبات العضوية، وتتفاعل بطرائق مختلفة، منها: الاستبدال.

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

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

كحول ثالثي °3	كحول ثانوي ² °	كحول أولي °1	نوع الكحول
R R'-C-OH R"	R'-C-OH H	R-C-OH H	الصيغة العامة
CH ₃ CH ₃ -C-CH ₃ OH	CH ₃ -CH-CH ₃ OH	CH₃CH₂OH	مثال



يتفاعل الكحول سواء أكان أوليًّا، أم ثانويًّا، أم ثالثيًّا، مع حمض HX المُركِّز وعند درجة حرارة الغرفة بالاستبدال، حيث تحل ذرة الهالوجين X من الحمض محل مجموعة الهيدروكسيل OH في الكحول حسب المعادلة العامة الآتية:

$$R-OH + HX$$
 (مرکز) \longrightarrow $R-X + HOH$

حيث HX هي: HCl ،HBr ،HI.

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

$$1- CH_3CH_2OH + HCI$$
 (مرکز) $\longrightarrow CH_3CH_2Cl + H_2O$

$$2- CH_3CHCH_3 + HBr$$
 (مرکز) —— $CH_3CHCH_3 + H_2O$
OH Br

$$CH_3$$
 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3

تفاعل الكحولات مع الفلزّات النشطة

Reaction of Alcohol with active Metals

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

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

نمثلًا: يتفاعل الإيثانول مع الصوديوم مكونًا إيثوكسيد الصوديوم حسب المعادلة: $CH_3CH_2OH + Na \longrightarrow CH_3CH_2O^-Na^+ + \frac{1}{2}H_2$

تكمن أهمية هذا التفاعل في أنه يُستخدَم لتحضير أيون ألكوكسيد RO^- الذي يتفاعل مع هاليد الألكيل الأولي لتكوين الإيثر كما ورد سابقًا، وكذلك يُستخدَم للكشف عن الكحولات مخبريًّا، إذ يُمَيَّز الكحول عن غالبية المركبات العضوية الأخرى بمفاعلتها جميعًا مع فلزّ الصوديوم، وسيلاحظ تصاعد غاز الهيدروجين في أثناء التفاعل مع الكحولات فقط، ويتكون ألكوكسيد الصوديوم $R-O^-Na^+$ ، وتشترك الحموض الكربوكسيلية مع الكحولات في هذا التفاعل.

√ أتحقَّق: أكمل المعادلات الآتية:

- CH₃CH₂CH₂CH₂OH + HBr (مركّز) OH
- CH₃CH₂-C-CH₂CH₃ + HCl (مركّز)
- CH₃CH₂CHCH₃ + Na ——— OH

A أفكِّل: أكتب الصيغة البنائية للمركب A + HI (مركز) →

CH₃CHCH₂CH₃ + H₂O

تفاعل الاستبدال في الحموض الكربوكسيلية

Substitution Reaction of Carboxylic Acid

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

تمثّل المعادلة العامة الآتية تفاعل تكوين الإستر:

$$\begin{array}{c} O \\ \parallel \\ RC-OH+HO-R \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} H^+ \\ \parallel \\ RC-O-R \end{array} + HOH$$

ألاحظ من المعادلة أن `OR من الكحول حلت محل OH من مجموعة الكربوكسيل في الحمض الكربوكسيلي لتكوين الإستر `RCOOR، لذلك؛ يعد تفاعل الأسترة من تفاعلات الاستبدال في الحموض الكربوكسيلية، وهو تفاعل منعكس يمكن إزاحته باتجاه تكوين الإستر بإزالة الماء من وسط التفاعل. فمثلًا: يتفاعل حمض الميثانويك مع 1 - بروبانول لتكوين الماء وميثانوات البروبيل حسب المعادلة:

$$\begin{array}{c} O \\ \parallel \\ HC-OH+CH_3CH_2CH_2OH \end{array} \begin{array}{c} H^+ \\ \hline \end{array} \begin{array}{c} O \\ \parallel \\ HC-OCH_2CH_2CH_3+H_2O \end{array}$$

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

وتمثل المعادلة الآتية تفكك إستر بروبانوات الميثيل «CH3CH2COOCH، بوجود حمض الهيدركلوريك المخفف؛ لإنتاج حمض البروبانويك والميثانول.

$$CH_3CH_2C \xrightarrow{O} OCH_3 + H_2O \xrightarrow{HCl} CH_3CH_2COOH + CH_3OH$$

ويتفكك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية أيضًا، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ وينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي في تفاعل يسمّى التصبّن Saponification، حيث يشبه التفاعل المستخدم في صناعة الصابون. وتُمثّل المعادلة الآتية تفكك إستر إيثانوات البروبيل عند تسخينه في الوسط القاعدي مكوّنًا إيثانوات الصوديوم و 1- بر وبانول:

O O
$$\parallel$$
 CH₃C-OCH₂CH₂CH₃ + NaOH $\xrightarrow{\text{Twisting }}$ CH₃C-ONa + CH₃CH₂CH₂OH



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



ويمكن الحصول على الحمض الكربوكسيلي بتفاعل الملح الناتج مع حمض قوى مثل HCl كما في المعادلة:

 $CH_3COO^-Na^+ + HCl \longrightarrow CH_3COOH + NaCl$

وللحموض الكربوكسيلية تفاعلات استبدال أخرى، منها:

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

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

تفاعل الحموض الكربوكسيلية مع بعض الأملاح القاعدية، مثل كربونات الصوديوم Na_2CO_3 أو كربونات الصوديوم الهيدروجينية Na_2CO_3 ، ويتصاعد غاز $Ooldsymbol{2}$ 000، ويُستخدَم هذا التفاعل للكشف عن الحموض الكربوكسيلية؛ إذ يميّزها عن غيرها من المركبات العضوية، كما في المعادلتين الآتيتين:

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

 $CH_3CH_2COOH + NaHCO_3 \longrightarrow CH_3CH_2COO^-Na^+ + CO_2 + H_2O$

√ أتحقَّق:

1. أحدّد الكحول والحمض الكربوكسيلي اللّذين تكوّن منهما الإستر الآتي:

2. أكمل المعادلات الآتية:

- CH₃CH₂COOH + CH₃OH $\stackrel{\text{H}}{\longleftrightarrow}$
- $CH_3COOCH_2CH_2CH_2CH_3 + NaOH \xrightarrow{\Delta}$
- HCOOH + NaHCO₃ →

أَفَكِّرِ: أصف كيف أميّز مخبريًّا بين كحول الإيثانول CH₃CH₂OH، وحمض الإيثانويك CH₃COOH، وأكتب معادلة كيميائية للتفاعل الحاصل.

تفاعلات التأكسد والاختزال في المركبات العضوية

Oxidation Reduction Reactions for Organic Compounds

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

تأكسد الكحو لات Oxidation of Alkohols

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

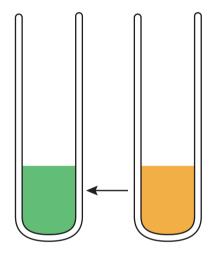
$$CH_3CH_2CH_2OH$$
 $K_2Cr_2O_7/H^+$
 CH_3CH_2C-OH

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

ويُستخدَم العامل المؤكسد كلورو كرومات البيريدينيوم المذاب في ثنائي كلوروميثان PCC/CH_2Cl_2 ، وهو عامل مؤكسد متوسط القوّة يؤكسد الكحول ولا يؤكسد الألديهايد، وبذلك يتم الحصول على الألديهايد، فمثلًا: يتأكسد 1 بروبانول إلى البروبانال حسب المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2CH_2OH$$
 PCC/CH_2Cl_2
 CH_3CH_2C-H

ألاحظ أن تأكسد 1- بروبانول وتحوله إلى البروبانال صاحبه نقص في عدد ذرات الهيدروجين H؛ إذ خُذفت 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 $K_2Cr_2O_7$ الأولية والثانوية تغير لون محلول البرتقالي إلى الأخضر.

ويتفاعل 3 ميثيل -1 بيوتانول مع العامل المؤكسد دايكرومات الصوديوم المعادلة: مضى مكوّنًا حمض -3 ميثيل بيوتانويك حسب المعادلة: Na₂Cr₂O₇ $Na_2Cr_2O_7/H^+$ CH_3CHCH_2C-OH CH₃CHCH₂CH₂OH ولكن عند استخدام العامل المؤكسد PCC/CH_2Cl_2 ؛ فإن -1 ميثيل -1 بيو تانو ل يتأكسد مكوّنًا 3- ميثيل بيوتانال حسب المعادلة:

CH₃ CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_2 CH_2 CH_3 CH_3 CH_4 CH_5 CH_6 CH_7 CH_8 CH_8

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

OH
$$CH_3CH_2CHCH_3$$
 $K_2Cr_2O_7/H^+$ $CH_3CH_2CCH_3$ $CH_3CH_2CCH_3$ $CH_3CH_2CCH_3$

OH
$$CH_3CH_2CHCH_2CH_3 \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} CH_3CH_2 - C-CH_2CH_3$$

$$U = CH_3CH_2 - C + CH_2CH_3$$

$$U = CH_3CH_2 - C + CH_2CH_3$$

$$U = CH_3CH_2 - C + CH_3CH_2 - C + CH_3CH_3$$

$$U = CH_3CH_3 - CH_3CH_3$$

$$U = CH_3CH_3$$

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 الكحو لات الثالثية لا تتأكسد عند الظروف نفسها.

OH فمثلًا: في الكحول الثالثي 2- ميثيل -2- بروبانول؛ ألاحظ CH_3-C-CH_3 أن ذرة الكربون المرتبطة بمجموعة الهيدروكسيل لا ترتبط CH_3 بأي ذرة هيدروجين، ويذلك لا يتأكسد.

ويمكن تلخيص أكسدة الكحولات بالمخطط الآتي:

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

تأكسد/ نقص في عدد ذرات الهيدروجين

أصمم باستخدام ر برنامے سکراتش Scratch عرضًا أقارن فيه بين تأكسد الكحو لات الأولية والثانوية والثالثية، مع تو ظيف أمثلة مناسبة، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي.



أ. أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:

1 - CH₃CH₂CH₂CH₂OH PCC/CH₂Cl₂

 $OH \\ 2-CH_3CHCH_3 \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+}$

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

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

تأكسد الألديهايدات Oxidation of Aldehydes

تتأكسد الألديهايدات باستخدام عامل مؤكسد مناسب مكوّنةً حموضًا كربوكسيلية، فمثلًا: عند استخدام عامل مؤكسد قوي، مثل دايكرومات البوتاسيوم، في وسط حمضي $K_2Cr_2O_7/H^+$ ؛ فإن الإيثانال K_3CHO يتأكسد منتجًا حمض الإيثانو يك CH_3COOH ؛ حسب المعادلة الآتية:

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

ويمكن كتابتها بصورة أخرى:

 $CH_{3}C-H \xrightarrow{K_{2}Cr_{2}O_{7}/H^{+}} CH_{3}C-OH$

ألاحظ من المعادلة الكيميائية السابقة أن تأكسد الألديهايد إلى حمض كربوكسيلي يرافقه و زيادة في عدد ذرات الأكسجين، وكذلك يتحول لون محلول K2Cr2O7 الحمضى من البرتقالي إلى الأخضر.

أما الكيتونات فإنها لا تتأكسد عند الظروف نفسها، وبناء على ذلك

يُستخدَم تفاعل أكسدة الألديهايد للتمييز بين الألديهايدات والكيتونات. ومن أمثلة ذلك؛ يُستخدَم محلول تولينز، وهو عامل مؤكسد ضعيف في وسط قاعدي -\OH-[Ag(NH₃)₂]، في التمييز بين الألديهايد والكيتون، حيث يتأكسد الألديهايد وتُختزَل أيونات الفضة +Ag من محلول تولينز، وتترسب على السطح الداخلي لوعاء التفاعل مكوّنة مرآة فضيّة كما يوضح

أفكر: مركب عضوي A صيغته الجزيئية مركب عضوي A صيغته الجزيئية مركب على شكل سلسلة مستمرة، عند أكسدته باستخدام *K₂Cr₂O₇/H نتج المركب B الذي صيغته الجزيئية المركب B الذي صيغته الجزيئية كربونات الصوديوم «C₄H₈O₂ معاز 2CO. أكتب الصيغتين البنائيتين للمركبين A ويقد



الشكل (17): ترسّب مرآة فضية على السطح الداخلي لأنابيب الاختبار.

الشكل (17)، أما الكيتون فإنه لا يتأكسد.

وتمثل المعادلة الآتية تأكسد الإيثانال باستخدام محلول تولينز في وسط قاعدي:

أما الكيتونات فلا تتأكسد باستخدام محلول تولينز.

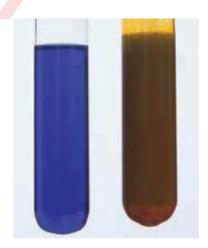
$$R-CO-R'' \xrightarrow{[Ag(NH_3)_2]^+} \times$$

ويُستخدَم أيضًا محلول فهلنج؛ للتمييز بين الألديهايد والكيتون؛ وهو عامل مؤكسد ضعيف يتكون من محلول قاعدي يحتوي على أيونات النحاس +Cu².

يسخُن الألديهايد مع محلول فهلنج؛ فيتأكسد في الوسط القاعدي إلى أيون Cu^+ الحمض الكربوكسيلي RCOO^- ، وتُختزَل أيونات النحاس Cu^2 ، إلى Cu^2 ، إلى Cu^2 وتترسب على شكل راسب بُنيّ محمرٌ من أكسيد النحاس (I) $\mathrm{Cu}_2\mathrm{O}$ أنظر الشكل (18) مثلًا؛ يتأكسد الإيثانال حسب المعادلة:

$$CH_3CHO \xrightarrow{2Cu^{2+}} CH_3COO^- + Cu_2O + 3H_2O$$

أما الكيتونات فلا تتأكسد باستخدام محلول فهلنج.



 ${
m Cu}^{2+}$ الشكل (18): اختزال أيونات النحاس ${
m Cu}^{+}$ زرقاء اللون إلى ${
m Cu}^{+}$ وترسبها على شكل راسب بني محمر من ${
m Cu}_{2}{
m O}$.

✔ أتحقَّق:

ا محلول، $CH_3CH_2CH_2\overset{\text{"}}{C}-H$ باستخدام محلول، البيوتانال $K_2Cr_2O_7/H^+$ باستخدام محلول دايكرومات البوتاسيوم الحمضي

2-أصف كيف أميّز مخبريًّا بين البروبانال CH₃CH₂CHO والبروبانون (CH₃COCH₃ وأكتب معادلات كيميائية توضح ذلك.

النجريةُ ا

التمييز بين الألديهيدات والكيتونات

الهدف: أميّز عمليًّا بين الألديهايد والكيتون

المواد والأدوات:

أنبوبا اختبار، مخبار مدرج سعة $10 \, \mathrm{mL}$ ، الإيثانال $\mathrm{CH_3CHO}$ ، الأسيتون (البروبانون) $\mathrm{CH_3COCH_3}$ ، محلول تولينز حديث التحضير، حامل أنابيب اختبار، ماسك أنابيب اختبار، حمام مائي ساخن C 50°، قطارة.

إرشادات السلامة:

- اتباع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
 - · التعامل مع المواد الكيميائية بحذر.
- إبعاد المركّبات العضوية جميعها عن أي مصدر للّهب؛ فهي قابلة للاشتعال.

خطوات العمل:

- 1. أجرّب: أحضر أنبوبي اختبار نظيفين، وأضعهما على حامل الأنابيب، وأرقّمهما (1، 2).
- 2. أقيس: أستخدم المخبار المدرج، وأضع mL 5 من محلول تولينز في كل أنبوب اختبار.
- 3. أجرّب: أضيف باستخدام القطارة 5- 10 نقاط من الإيثانال إلى الأنبوب رقم (1)، وأرجّه بلطف.
 - 4. أجرّب: أكرر الخطوة رقم (3) للبروبانون (الأسيتون)، وأضيفه إلى الأنبوب رقم (2).
- 5. ألاحظ: أسخّن كلا المحلولين في الحمام المائي الساخن بدرجة °C مدة min ، وأسجّل ملاحظاتي في جدول البيانات.
 - أنظّم البيانات: أسجل ملاحظاتي في جدول البيانات الآتي:

دليل حدوث تفاعل	التفاعل مع محلول تولينز (يتفاعل أو لا يتفاعل)	اسم المركب
		CH₃CHO الإيثانال
		البروبانون CH₃COCH₃

التحليل والاستنتاج:

- 1. أفسّر: هل يُمثّل محلول تولينز عاملًا مؤكسدًا أم عاملًا مختزلًا؟
 - 2. أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي حدث.

Reduction of Alkenes and Alkynes اختزال الألكينات والألكاينات

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

$$CH_2=CH_2+H_2 \xrightarrow{Pt} CH_3-CH_3$$
 $CH_3-C\equiv CH+2H_2 \xrightarrow{Pt} CH_3CH_2CH_3$

√ أتحقّق: أكمل المعادلة الآتية:

 $CH_3CH=CHCH_3+H_2$ Ni

اختزال الألديهايدات والكيتونات

Reduction of Aldehydes and Ketones

تعلّمتُ أن تأكسد الكحول الأوليّ ينتج ألديها يدًا، وأن تأكسد الكحول الثانوي يكوّن كيتونًا. ويمكن اختزال كل من الألديها يد والكيتون لتكوين كحول أولى وكحول ثانوي على الترتيب بطريقتين:

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

$$CH_{3}C - H + H_{2} \xrightarrow{Ni} CH_{3} - C - H$$

$$H$$

ألاحظ أن إضافة الهيدروجين إلى الإيثانال CH_3CHO صاحبت وي 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 CH_3CH_2OH ، وهو كحول أوليّ.

الطريقة الثانية: استخدام عوامل مختزلة، مثل هيدريد الليثيوم والألمنيوم (Et)، المذاب في الإيثر الجاف (Et)، أو بوروهيدريد الصوديوم (Et)، المذاب في الإيثانول. ويعدّ العاملان المختزلان مصدرًا لأيونات الهيدريد

 H^- إذ يرتبط أيون H^- بـذرة كربـون مجموعـة الكربونيـل التي تحمل شحنة جزئيّـة موجبـة، ثـم يضـاف إلـى التفاعـل محلـول مخفـف مـن حمـض مثـل H_2SO_4 ؛ فينتـج الكحـول، والمعـادلات الآتيـة توضـح ناتـج التفاعل:

$$CH_{3}CH_{2}-C-CH_{3} \xrightarrow{1) NaBH_{4}/U} CH_{3}CH_{2}-C-CH_{3} \xrightarrow{2) H_{3}O^{+}} CH_{3}CH_{2}-C-CH_{3} \xrightarrow{H} CH_{3}CH_{2}-C+CH_{3} \xrightarrow{H} CH_{3}CH_{2}-C+CH_{3} \xrightarrow{U} CH_{3}CH_{2}CH_{2}CH_{3} \xrightarrow{U} CH_{3}CH_{2}CH_{3}CH_{2}CH_{3}$$

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

عمليًّا يتم التعامل بحذر شديد جدًّا مع العامل المختزل ${
m LiAlH_4}$ ؛ إذ إنه شديد التفاعل مع الماء؛ لذلك يذاب في الإيشر الجاف، ولا يضاف ${
m H}_3{\rm O}^+$ إلى التفاعل إلا بعد انتهاء تفاعله مع الألديهايد أو الكيتون، أو الحمض الكربوكسيلي كها سيرد لاحقًا.

اختزال الحموض الكربوكسيلية Reduction of Carboxylic Acids

تحتوي مجموعة الكربوكسيل $^{\circ}_{C-OH}$ -المميّزة للحموض الكربوكسيلية O a على مجموعة كربونيل $^{\circ}_{C-D}$ - قابلة للاختزال كما في الألدهيدات والكيتونات؛ لذلك يُختزل الحمض الكربوكسيلي باستخدام عامل مختزل قوي هو: هيدريد الليثيوم والألمنيوم $^{\circ}_{C-D}$ المذاب في الإيثر الجاف - ولا يُختزَل باستخدام



يكون الإيثانال مبلمرات بسيطة، منها: مبلمر مكون من ثلاثة مونومرات $_{8}(CH_{3}CHO)$ يُستخدَم دواءً مُنوّمًا، ومبلمر آخر مكون من أربعة مونومرات $_{4}(CH_{3}CHO)$ يُستخدَم وقودًا صُلبًا لمواقد التخييم.



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

العامل NaBH، لأنه أقل قوة - ويَنتج ألديهايد يُختزَل فَوْرَ تكوّنه إلى كحول أولي، وتكتب المعادلة العامة كالآتي:

$$\begin{array}{c} O \\ \parallel \\ \text{C-OH} & \xrightarrow{\quad 1) \text{ LiAlH}_4/\text{Et} \quad} \text{R-CH}_2\text{OH} \end{array}$$

ألاحظ أن اختزال الحمض الكربوكسيلي يرافقه زيادة في عدد ذرات الهيدروجين ونقص في عدد ذرات الأكسجين، فمثلًا: يُختزَل حمض الإيثانويك مكوّنًا الإيثانول وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3C-OH$$
 $\xrightarrow{1) LiAlH_4/Et}$ CH_3CH_2OH

ويُختزَل حمض 2- ميثيل بروبانويك إلى كحول 2- ميثيل -1- بروبانول؛ كما توضح المعادلة الآتية:

$$\begin{array}{c} O \\ \square \\ CH_3CHC-OH \end{array} \xrightarrow{\begin{array}{c} 1)LiAlH_4/Et \\ \hline 2)H_3O^+ \end{array}} CH_3CHCH_2OH \\ CH_3 \end{array}$$

✓ أتحقَّق: أكمل المعادلة الآتية:

CH₃CH₂CH₂CH₂CH
$$\stackrel{O}{=}$$
 1) LiAlH₄/Et $\stackrel{}{=}$ 2) H₃O⁺

الربط بالصناعة



حمض الأستيك أو حمض الإيثانويك CH₃COOH؛ هو المكون للخلّ، ويُستخدّم ما يقارب ثلث إجمالي حمض الأستيك المنتج صناعيًّا في جميع أنحاء العالم في إنتاج أسيتات الفينيل CH₃COOCH=CH₂، وهو مركب يستخدم مونومرًا لإنتاج مبلمر بولي فينيل أسيتات PVA المكوّن لأصماغ الخشب. ويُستخدَم حمض الأستيك -أيضًا- في إنتاج إسترات مختلفة منها: أسيتات

السليلوز، التي تُستخدَم في صناعة الأفلام الفوتوغرافية، ويمكن استخدامه أيضًا في تحضير بعض الأدوية مثل الأسبرين. في المنزل غالبًا ما يُستخدَم حمض الأستيك منظفًا منزليًّا، إذ يدخل في تكوين مزيلات التكلُّس. وقد ثبت أيضًا أن له خصائص مضادة للبكتيريا والفطريات حتى عند تخفيفه، لذلك يُستخدَم لتطهير الجروح ومنظفًا للأسطح في المطابخ.

مرلجمة الارس

1. الفكرة الرئيسة: 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

ب. تفاعل الأسترة.

2. أوضّح المقصود بكل من: أ. الاستبدال النيوكليوفيلي.

نم إضافة $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$ المذاب في الإيثانول، ثم إضافة $CH_3CH_2CH_2CH_3$ المذاب في الإيثانول، ثم إضافة محلول حمض مخفف مثل H_2SO_4 .

أ . أكتب معادلة التفاعل الكيميائية.

ب. ما نوع المركب الناتج؟

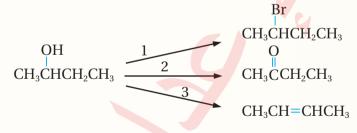
4. أضيفت قطعة صغيرة من الصوديوم إلى كأس يحتوي كحول 1 – بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$.

أ. أصف ما ألاحظه في التفاعل.

ب. أكتب معادلة كيميائية تمثل التفاعل الذي يحدث.

ج. أكتب معادلة كيميائية تمثل تفاعل الناتج السابق مع 1 كلورو بروبان $CH_3CH_2CH_2CI$.

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



OH

أ . أحدّد نوع كل من التفاعلين (2، 1).

ب. أكتب الصيغة الجزيئية للمواد الكيميائية التي تتفاعل مع 2 – بيوتانول $CH_3CH_2CH_3$ ؛ لتعطي النواتج في كل من التفاعلين (2، 3).

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

6. أكمل المعادلات الآتية:

$$\begin{array}{c}
1 - \text{CH}_3\text{OH} & \xrightarrow{\text{PCC/CH}_2\text{Cl}_2} \\
\text{OH} \\
2 - \text{CH}_3\text{CHCH}_3 + \text{HCl} & \xrightarrow{}
\end{array}$$

$$8- CH_3CH_2Br + CH_3CH_2CH_2O^-$$

7. أستنتج صيغة المركب A في المعادلة الآتية:

8. أدرس الجدول الآتي الذي يُبيّن الصيغ البنائية لبعض المركبات العضوية المشار إليها بالأرقام من (8-1)، ثم أجيب عمّا يليه:

4	3	2	1
CH ₃ CH ₂ COOCH ₂ CH ₃	CH₃CH₂CHO	CH₃CH₂Cl	CH₃CH₂COOH
8	7	6	5
CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	CH₃CH₂OH	CH₃CH₂OCH₃	CH ₃ CH ₂ COCH ₃

أُحدّد من الجدول الرقم الذي يشير إلى كل مما يأتي:

.CH $_3$ O $^-$ مع 2 مع أ. أ. مركب ينتج عن تفاعل المركب

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

ج. مركب يتفاعل مع محلول تولينز مكونًّا مرآة فضيّة.

د. مرکب پتصبّن.

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

.PCC/CH $_2$ Cl $_2$ باستخدام المركب المركب و.

ز. مركب يُنتِج المركب 7؛ عند تفاعله مع KOH.

9. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

- $CH_3CH_2CH_2Br + CH_3CH_2O^- \longrightarrow CH_3CH_2CH_2CH_3 + Br^-$ 1. يُصنَّف التفاعل الآتي على أنه: 1
 - ب. استبدالًا إلكتروفيليًّا.

أ . إضافة إلكتروفيلية.

د. استبدالًا نيوكليوفيلي.

- ج. إضافة نيوكليوفيلية.
- 2. في التفاعل الآتي: A → CH₃CHOHCH₃ $\xrightarrow{\text{PCC/CH}_2\text{CH}_2}$ A إحدى العبارات الآتية تنطبق على المركب العضوي A، هي:
 - أ. يتفاعل مع الهيدروجين بوجود Ni وينتج 2 بروبانول «CH₃CHOHCH».
 - ب. المجموعة الوظيفية في المركب هي مجموعة الهيدروكسيل.
 - ج. يتفاعل مع الميثانول CH3OH وينتج بروبانوات الميثيل CH3CH2COOCH3.
 - د. يتأكسد باستخدام محلول تولينز في وسط قاعدي.
- 3. ينتج المركب العضوي 1 بروموبيوتان $CH_3CH_2CH_2CH_2Br$ من تفاعل HBr مع أحد المركبات الآتية:
 - ب. CH₃CH₂CH₂CH₂OH

 $CH_3CH_2CH=CH_2$.

د. د CH₃CH₂CH₂CH₃

- CH₃CH=CHCH₃ .-
- $A \xrightarrow{1-\text{LiAlH}_4} CH_3 CHCH_2OH \xrightarrow{B} CH_3CHCOOH$ * أدرس المخطط الآتي: *
 - ثم أجيب عن الفقرتين 4 و 5:

CH₃CHCH₂Cl .

- A = A صيغة المركب A = A . CH_3 $CH_3 = CH_3CHCOCH_3$
- CII3CIICOCII3 .
- CH₃ CH₃CHCHO . د

 CH_3 $CH_3C=CH_2$ \rightarrow

- ب. H₂/Ni
 - ب. Ni
- PCC/CH₂Cl₂. د

- 5. يشير الرمز B إلى:
- $H_2O/H^+\,,\Delta$. أ
- $Na_2Cr_2O_7/H^+$. \Rightarrow



طرائق تحضير المركبات العضوية

Methods of Preparing Organic Compounds

تنتج ملايين المركبات العضوية سنويًّا، 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 مميزين يعودان إلى أنواع المركبات العضوية التي توجد فيها، مثل: الإسترات، والألديهايدات، وغيرها من المركبات العضوية التي تعرف بالنكهات الطبيعية، وقد تمكّنت فرق البحث من استخلاص كثير من بالنكهات الطبيعية، وقد تمكّنت فرق البحث من استخلاص كثير من مذه المواد ودراستها والتعرف إلى مكوناتها وخصائصها؛ مما ساعد على تصنيع مواد مشابهة عُرِفت بالنكهات الصناعية، حيث تُستخدَم في صناعة المواد الغذائية وأنواع العصائر المختلفة.

وتسهم الصناعات القائمة على المركبات العضوية وتفاعلاتها في النمو الاقتصادي في عدد من الدول؛ إذ تدخل في صناعة الوقود، والمستحضرات الصيدلانية، ومواد التجميل، والصناعات الزراعية، ولذلك تهتم الكيمياء العضوية بدراسة المركبات العضوية وطرائق تحضيرها والصناعات القائمة عليها، أنظر الشكل (19).

الفلرةُ الرئيسة:

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

لتعلُّم: ◄ للعلُّم:

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

المفاهيم والمصطلحات:

التكسير الحراري Thermal Cracking



الشكل (19): تحضير المركبات العضوية.



الشكل (20): برج التكسير الحراري.

Preparation of Alkanes تحضير الألكانات

تُحضّر الألكانات بالتكسير الحراري للنفط والغاز الطبيعي، وتُستخلَص بعملية التقطير التجزيئي، كما يمكن تحضيرها بإضافة الهيدروجين إلى الألكين والألكاين.

إنتاج الألكائات بالتكسير الحراري

Produce Alkanes by Thermal cracking

يُسخّن خليط النفط إلى درجات حرارة عالية في أبراج ضخمة، أنظر الشكل (20)؛ فتتكسر سلاسل المركبات الهيدروكربونية انظر الشكل (20)؛ فتتكسر سلاسل المركبات الهيدروكربونية الطويلة إلى مركبات أصغر في ما يُعرَف بعملية التكسير الحراري الطويلة إلى مركبات أصغر في ما تكوين خليط غازي من الألكانات والألكينات يتراوح عدد ذرات الكربون في مركباتها الألكانات والألكينات هذا الخليط عن طريق عملية التقطير التجزيئي، بالاعتماد على تفاوت درجات غليانها، فمثلًا: عند إجراء تكسير للمركب $C_{12}H_{26}$ ، فإن الجزيء الواحد يتكسر بحيث يكون مجموع عدد ذرات الكربون في الألكان والألكين الناتجين عن تكسيره مساويًا لعدد ذرات الكربون فيه.

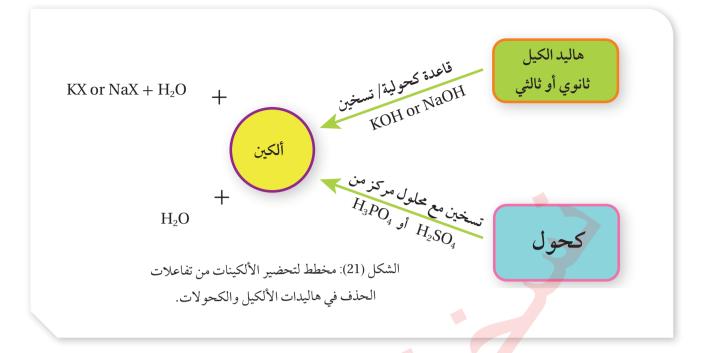
تحضير الألكانات من الالكينات

Preparation of Alkanes from Alkenes

يُحضَّر الألكان بإضافة الهيدروجين H_2 إلى الألكين فيما يُعرَف بعملية الهدرجة التي تُستخدَم في هدرجة الزيوت صناعيًّا إلى دهون مشبعة. حيث يُضاف الهيدروجين H_2 إلى الألكين بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni أو البلاتين P_1 فمثلًا: يُحضِّر الإيثان بإضافة غاز الهيدروجين إلى الإيثين عند درجة حرارة P_2 150 كما في المعادلة الآتية:

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

أتحقَّق: أكتب معادلة كيميائية توضح تحضير البروبان $CH_3CH_3CH_3$.



تحضير الألكينات Preparation of Akenes

تُنتَج الألكينات صناعيًّا بالتكسير الحراري للألكانات، وتُحضَّر مخبريًّا باستخدام تفاعلات الحذف في كلّ من هاليدات الألكيل RX، أو الكحولات باستخدام أنظر الشكل (21).

إنتاج الألكينات بالتكسير الحراري

Produce Alkenes by Thermal Cracking

عرفتُ في ما سبق أن تكسير السلاسل الكربونية الطويلة للهيدروكربونات يؤدي إلى إنتاج خليط غازي من الألكانات والألكينات، حيث تُفصَل المكونات بالاعتماد على درجة غليان كل منها بعملية التقطير التجزيئي. فمثلًا: عند تكسير سلسلة من الديكان $C_{10}H_{22}$ ، ينتج خليط من الأوكتان $C_{8}H_{18}$ والإيثين $C_{3}H_{6}$ وغيرها.

تحضير الألكينات من هاليدات الألكيل

Preparation of Alkenes from Alkyl Halides

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

الربط بالصناعة

هدرجة الزيوت Hydrogenation of Oils

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

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

الحلّ:

CH₃CHBrCH₃ + NaOH → CH₃CH=CH₂ + H₂O + NaBr

تحضير الألكينات من الكحولات Preparation of Alkenes from Alcohols

يُحفَّر الألكين بتسخين الكحول مع محلول مركّز من حمض الكبريتيك يُحفَّر الألكين بتسخين الكحول مع محلول مركّز من حمض الفسفوريك H_3PO_4 ، أو محلول مركّز من حمض الفسفوريك H_3PO_4 ، وينتج الألكين.

المثال 2

أكتب معادلة تحضير الإيثين الناتج عن تسخين الإيثانول CH3CH2OH مع محلول مُركّز من حمض الكبريتيك 42SO.

الحلّ:

 $CH_3CH_2OH \xrightarrow{H_2SO_4} CH_2 = CH_2 + H_2O$

√أتحقَّق:

- 1- أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير -2 بيوتين ${\rm CH_3CH=CHCH_3}$ ؛ باستخدام 2 برومو بيوتان ${\rm CH_3CHBr}\ {\rm CH_2CH_3}$ ، ومحلول مركّز من هيدروكسيد البوتاسيوم ${\rm KOH}\ {\rm IM}$ الكحولي.
- 2- أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير البروبين $_{3}^{CH_{3}CH=CH_{2}}$ بتسخين OH OH مع محلول حمض الكبريتيك $_{3}^{H_{2}SO_{4}}$ المركّز .

تحضير هاليدات الألكيل Preparation of Alkyl Halide

تُستخدَم هاليدات الألكيل في كثير من الصناعات، مثل: صناعة المبيدات الحشرية، ومحاليل المُعقّمات الطبية، وصناعة طفايات الحريق، وصناعة المبلمرات، وغيرها. تُحضّر هاليدات الألكيل بطرائق عدة في المختبر، منها: الاستبدال في الألكان (هلجنة الألكان)، وإضافة هاليد الهيدروجين إلى الألكين، والاستبدال في الكحولات، أنظر الشكل (22).

تحضير هاليدات الألكيل من الالكانات

Preparation of Alkyl Halide from Alkanes

تُحضَّر هاليدات الألكيل بأن تحل ذرة هالوجين محل ذرة هيدروجين في الألكان بوجود الضوء، مثل تفاعل الميثان مع الكلور Cl_2 ، أو البروم Br_2 ، بوجود الضوء.

3 dial

الحلّ:

يُحضَّر كلوروميثان CH_3Cl بتفاعل الميثان CH_4 مع الكلور CH_3Cl بوجود الضوء. أكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الحاصل.

تحضير هاليدات الألكيل من الكينات Preparation of Alkyl Halides from Alkenes

يُحضَّر هاليد الألكيل RX؛ بإضافة هاليد الهيدروجين إلى الألكين؛ وفق قاعدة ماركو فينكوف.

4 dlall

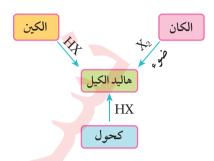
رك كلوروبروبان ${
m CH_3CHClCH_3}$ بإضافة كلوريد الهيدروجين ${
m CH_3CHClCH_3}$ إلى البروبين ${
m CH_2=CHCH_3}$. أكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الحاصل.

$$CH_2 = CHCH_3 + HCl$$
 \longrightarrow CH_3CHCH_3

S Maille 3

الحلّ:

$$m CH_3$$
 الحيدروجين $m CH_2=C-CH_3$ بإضافة بروميد الهيدروجين $m HBr$ بإضافة بروميد الهيدرو



الشكل (22): مخطط لتفاعلات تحضير هاليدات الألكيل.

$$CH_2 = C - CH_3 + HBr \longrightarrow CH_3 CCH_3$$

$$CH_3 \qquad CH_3$$

تحضير هاليدات الألكيل من الكحو لات

Preparation of Alkyl Halides from Alcohols

تُحضَّر هاليدات الألكيل باستخدام تفاعل الاستبدال في الكحو لات؛ وذلك بتفاعل الكحول مع محلول حمض مركّز، مثل: HCl، أو HBr.

المثال 6

يُحضَّر كلورو إيثان CH3CH2Cl؛ بتفاعل الإيثانول CH3CH2OH، مع حمض الهيدروكلوريك HCl المركّز. أكتب معادلة كيميائية للتفاعل الحاصل. الحلّ:

$$CH_3CH_2OH + HCl$$
 مرکز $CH_3CH_2Cl + H_2O$

المثال 7

أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير -2 بروموبروبان $CH_3CHBrCH_3$ من ا تفاعل 2− بروبانول ₃CH₃CHCH مع حمض HBr المركّز.

√ أتحقَّة.:

- الإيثان CH_3CH_2Br بتفاعل الإيثان الإيثان -1 مع البروم Br_2 ؛ بوجود الضوء. CH_3CH_3
- $CH_3 \overset{\leftarrow}{C} CH_3$ میثیل بروبان -2 کلورو -2 میثیل بروبان -2 کلورو -2 من تفاعل -2 ميثيل -2 بروبانول $\mathrm{CH_3} \overset{1}{\mathsf{C}} \, \mathrm{CH_3}$ مع حمض الهيدروكلوريك CH₃ HCl المركّز.

أصمّم، باستخدام برنامج سكراتش scratch عرضًا يوضح طرائق تحضير هاليدات الألكيل مع توظيف أمثلة مناسبة، وأشاركه زملائي/ زميلاتي.

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

الربط بالصحة

الكشف عن الكيتون في البول يعدد ارتفاع مستويات الكيتون في البول -أو ما يُعرَف بالحماض الكيتوني السكري - Diabetic Ketoacidosis أول مؤشرات الإصابة بمرض السكري غير المكتشف، كما السكري عند المصابين. يجري الكشف عن الكيتون في البول باستخدام اختبار روثيرا، الذي يكشف عن وجود البروبانون لون البول إلى اللون الأحمر.

تحضير الألديهايد والكيتون Preparation of Aldehyde and Ketone

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

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

OH وكذلك يتأكسد الكحول الثانوي 2 بروبانول CH_3CHCH_3 بوجود النحاس؛ وفق المعادلة الآتية:

$$\begin{array}{ccc} & OH & & O \\ \parallel & & CH_3CHCH_3 & & -\frac{Cu}{300\ ^{\circ}C} \blacktriangleright & CH_3CCH_3 \\ \parallel & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ \text{r, e, e, i.e, o} & & & \downarrow & \\ \end{array}$$

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

Hailb 8

يتأكسد الإيثانول CH_3CH_2OH باستخدام كلوروكرومات البيريدينيوم PCC المذاب في ثنائي كلورو ميثان PCC، وينتج الإيثانال PCC أكتب معادلة التفاعل الحاصل.

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



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

$$\begin{array}{ccc} OH & O \\ \parallel & & \downarrow \\ CH_3CHCH_3 & \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} & CH_3CCH_3 \\ \downarrow & & \downarrow \\ \mu &$$

الحلّ

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

الحلّ:

المثال [[

أكتب معادلات تبيّن تحضير الميثانال ${
m CH_2O}$ ، باستخدام الميثان ${
m CH_4}$ ، وبوجود الضوء و كــلّ من المــواد الآتيــة: ${
m Cl_2},~{
m KOH},~{
m PCC}$, ${
m CH_2Cl_2}$

الحلّ:

يتفاعل الميثان 4CH مع الكلور Cl₂، بوجود الضوء لتكوين كلوروميثان CH3Cl؛ كما في المعادلة الآتية:

ثم يتفاعل كلوروميثان CH3Cl مع القاعدة KOH لتكوين الميثانول CH3OH، كما في المعادلة الآتية:

يتأكسد الميثانول CH_3OH باستخدام العامل المؤكسد PCC، وبوجود CH_2Cl_2 ، وينتج الميثانال؛ كما في المعادلة الآتية:

O

أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير البروبانون ${
m CH}_3$ ${
m CH}_3$ باستخدام البروبين ${
m CH}_3$ ${
m CH}_3$ والمواد غير العضوية ${
m H}_2$ ${
m SO}_4$, ${
m H}_2$ ${
m O}_2$, ${
m K}_2$ ${
m Cr}_2$ ${
m O}_3$ الآتية:

الحلّ:

يُحضِّر البروبانون من أكسدة 2 بروبانول ${\rm CH_3}$ CHCH3، وهو كحول ثانويّ يمكن الحصول عليه من إضافة الماء إلى البروبين ${\rm CH_3}$ CH3، والمعادلات الآتية توضح ذلك:

يضاف الماء إلى البروبين بوجود حمض 400_4° ؛ فينتج 2- بروبانول 60_4° CH3 CHCH3، كما في المعادلة الآتية:

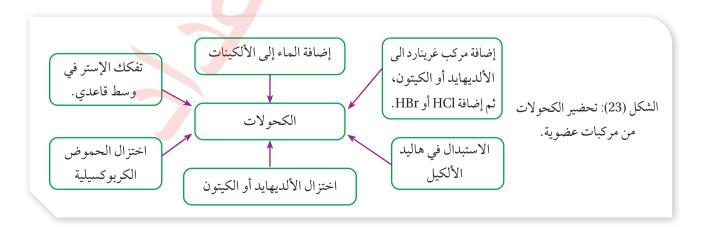
CH₃CH=CH₂ + H₂O
$$\xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4}$$
 $\xrightarrow{\text{CH}_3\text{CHCH}_3}$ CH₃CHCH₃
 $\xrightarrow{\text{region}}$ $\xrightarrow{\text{region}}$ $\xrightarrow{\text{equation}}$

ثم يتأكسد 2- بروبانول باستخدام العامل المؤكسد $K_2Cr_2O_7$ ، بإضافة قطرات من الحمض؛ فينتج البروبانون كما في المعادلة الآتية:

OH O
$$\parallel$$
 CH₃CHCH₃ $\xrightarrow{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+}$ CH₃CCH₃

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 الميثانول CH_3OH ، والإيثانول CH_3CH_2OH ، أبسط أنواع الكحولات، ولهما أهمية في الصناعات المختلفة، لذلك يجري تحضيرهما صناعيًّا بكميات تجارية.

يُحضَّر الميثانول صناعيًّا عن طريق هدرجة غاز أول أكسيد الكربون CO عند درجة حرارة $^{\circ}$ Cr₂O₃، وبوجود أكسيد الخارصين $^{\circ}$ ZnO، أو أكسيد الكروم $^{\circ}$ Cr₂O₃، بوصف كل منهما عاملًا مساعدًا، كما في المعادلة الآتية:

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \xrightarrow{ZnO/Cr_2O_3} \rightarrow CH_3OH_{(g)}$$

يُحضَّر الإيثانول صناعيًّا؛ 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

يُحضَّر الكحول بإضافة الماء إلى الألكين، بوجود عامل مساعد، مثل: حمض الكبريتيك H_3PO_4 ، أو حمض الفسفوريك H_3PO_4 .

Ilailb E

 $_{2}^{1}$ يُحضَّر 2- بروبانول $_{3}^{2}$ CH $_{3}^{3}$ CH $_{3}^{2}$ CH $_{3}^{3}$ CH $_{3}^{3}$ CH $_{3}^{3}$ CH $_{4}^{3}$ CH $_{3}^{3}$ CH $_{5}^{3}$ CH $_{5}^{3$

$$CH_3CH=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_3PO_4} CH_3CHCH_3$$

مع CH_3 CH_2 CH_2 CH_2 من تفاعل -1 بيو تين -1 مع CH_3 CH_3 C

تحضير الكحولات من هاليدات الألكيل

Preparation of Alcohols from Alkyl Halides

يُحضَّر الكحول الأولي من تفاعل هاليد الألكيل الأولي مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH، أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

14 diall

أكتب معادلة كيميائية تبيّن ناتج تفاعل 1 – برومو بروبان ${\rm CH_3CH_2CH_2Br}$ ، مع محلول هيدرو كسيد الصوديوم ${\rm NaOH}$.

الحلّ:

 $CH_3CH_2CH_2Br + NaOH \longrightarrow CH_3CH_2CH_2OH + NaBr$ ويمكن كتابة المعادلة على النحو الآتى:

 $CH_3CH_2CH_2Br + OH^- \longrightarrow CH_3CH_2CH_2OH + Br^-$

√ أتحقَّق: أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير الإيثانول CH₃CH₂OH، إذا توافر في المختبر الإيثان CH₃CH₃CH₃، والكلور Cl₂، والضوء، ومحلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

تحضير الكحولات من الألديهايدات أو الكيتونات

Preparation of Alcohols from Aldehydes or Ketones

يُحفَّر الكحول باختزال الألديهايد أو الكيتون باستخدام عوامل مختزلة، مثل هيدريد الليثيوم والألمنيوم $LiAlH_4$ ، في وسط من الإيثر الجافّ، أو بورو هيدريد الصوديوم $NaBH_4$ مذابًا في الإيثانول، ثم إضافة محلول مخفف من حمض H_2SO_4 ؛ إذ يؤدي اختزال الألديهايد إلى إنتاج كحول أولي، بينما يؤدي اختزال الكيتون إلى إنتاج كحول ثانوي.

أفكر: يصعب تحضير المركب $CH_3CHOHCH_3$ مباشرة من تفاعل 2-2 كلورو بروبان $CH_3CHCICH_3$.

15 dlâdl

 $_{\rm II}^{\rm O}$ مع $_{\rm CH_3CH}^{\rm O}$ معادلة كيميائية تبيّن تحضير الإيثانول بتفاعل الإيثانال $_{\rm CH_3CH}^{\rm O}$ مع بورو هيدريد الصوديوم $_{\rm NaBH_4}^{\rm O}$ ، ثم يضاف إليه محلول مخفّف من حمض الكبريتيك $_{\rm H_2SO_4}^{\rm O}$.

الحلّ:

يُحضَّر الإيثانول باختزال الإيثانال كما في المعادلة الآتية:

Maill 61

OH

أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير 2 – بروبانول ${
m CH}_3\dot{
m C}{
m HCH}_3$ ، من البروبانون، باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم ${
m LiAlH}_4$

الحلّ:

يُحضَّر 2- بروبانول باختزال البروبانون كما في المعادلة الآتية:

$$\begin{array}{c} O \\ CH_3CCH_3 \\ \hline \begin{array}{c} 1. \text{ LiAlH}_4/\text{Et} \\ \hline \begin{array}{c} 2. \text{ H}_3O^+ \\ \end{array} \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} OH \\ CH_3CHCH_3 \\ \hline \end{array}$$

كما يمكن الحصول على الكحولات صناعيًّا باختزال الألديهايد والكيتون أيضًا؛ بإضافة غاز الهيدروجين إلى كلّ منهما بوجود عامل مساعد، مثل النيكل Ni، عند درجة حرارة °C 150، والمعادلتان الآتيتان توضحان اختزال كلّ من الإيثانال والبروبانون:

$$\begin{array}{c} \text{O} & \text{OH} \\ \text{CH}_3\text{CCH}_3 \ + \ \text{H}_2 & \xrightarrow{\text{Ni}} & \text{CH}_3\text{CHCH}_3 \\ \text{tight} & \text{line} & \text{line} & \text{line} \\ \end{array}$$

التحقَّق: أكتب معادلة كيميائية تحضير 2− بيوتانول OH

(CH₃CH₂CHCH₃ بتفاعـل O

(CH₃CH₂CCH₃ البيوتانـون CH₃CH₂CCH₃ البيوتانـون NaBH₄

تحضير الكحولات من الحموض الكربوكسيلية

Preparation of Alcohols from Carboxylic Acids

يُحضَّر الكحول الأولي باختزال الحمض الكربوكسيلي باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم ،LiAlH المذاب في الإيثر الجاف، حيث يُختزل الحمض الكربوكسيلي وينتج الكحول الأولي.

17 dall

أكتب معادلة كيميائية لتحضير الإيثانول CH_3CH_2OH ، من حمض الإيثانويك CH_3CH_2OH ؛ باستخدام هيدريد الليثيوم والألمنيوم CH_3COOH ؛ باستخدام

الحلّ:

يُحضَّر الإيثانول CH₃CH₂OH باختزال حمض الإيثانويك CH₃COOH، في وسط جاف من الإيثر، ثم إضافة قطرات من محلول حمض مخفّف، كما في المعادلة الآتية:

 $ightharpoonup CH_3CH_2CH_2OH$ أتحقَّق: أكتب معادلة كيميائية تبيّن تحضير ightharpoonup O ho من حمض البروبانويك ho ho

تحضير الكحولات من الإسترات Preparation of Alcohols from Esters

يتفكّك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية، مثل هيدر وكسيد الصوديوم NaOH؛ وينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي.

$$\begin{array}{ccc}
O & O \\
\parallel & & \\
RCOR + NaOH & \xrightarrow{\Delta} & RCONa + R'OH
\end{array}$$



غرينارد.

أكتب معادلة كيميائية لتحضير الإيثانول CH_3CH_2OH بتسخين إيثانوات الإيثيل O O $CH_3COCH_2CH_3$ مع محلول هيدرو كسيد الصوديوم $CH_3COCH_2CH_3$ الحلّ:

$$\begin{array}{c}
O \\
|| \\
CH_3COCH_2CH_3 + NaOH \xrightarrow{\Delta} CH_3CONa + CH_3CH_2OH \\
Ultiput | Ultiput$$

✓ أتحقَّق: أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير الميثانول بتسخين
 استر إيثانوات الميثيل «CH₃COOCH» مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH.

تحضير الكحولات باستخدام مركبات غرينارد

Preparation of Alcohols from Grinard's Compounds

عرفت سابقًا أن مركب غرينارد RMgX ينتج من تفاعل هاليد ألكيل RX مع المغنيسيوم بوجود الإيثر الجاف.

تتفاعل مركبات غرينارد RMgX مع كلًّ من الألديهايد RCHO، والكيتون RCOR؛ وينتج الكحول ROH، وتعدّ هذه التفاعلات من أشهر الطرائق المتبعة في تحضير الكحولات، ويكون عدد ذرات الكربون في الكحول الناتج مساويًا لمجموع عدد ذرات الكربون في كلًّ من مركب غرينارد والألديهايد أو الكيتون. يعتمد نوع الكحول الناتج على نوع الألديهايد أو الكيتون المتفاعل، ويبيّن الشكل (24) مخطّطًا عامًّا لنواتج تفاعلات الألديهايد أو الكيتون مع مركب

الشكل (24): مخطط عام لنواتج تفاعلات مركبات الكربونيل مع مركب غرينارد.





أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير -1 بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$ من تفاعل الميثانال CH_3CH_2OH مع إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl .

الحلّ:

المركب $CH_3CH_2CH_2OH$ هو كحول أوليّ؛ عدد ذرات الكربون فيه يساوي مجموع عدد ذرات الكربون في كلّ من مركب غرينارد CH_3CH_2MgCl ، حيث عدد ذرات الكربون فيه يساوي 2، والميثانال الذي عدد ذرات الكربون فيه يساوي 1، وبهذا يمكن تحضير 1 بروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$ ؛ بإضافة مركب غرينارد CH_3CH_2MgCl ، إلى الميثانال CH_3CH_2MgCl وينتج المركب الوسطى كما في المعادلة الآتية:

O OMgCl
$$HCH$$
 + CH_3CH_2MgCl \longrightarrow CH_2 CH_2CH_3 CH_2CH_3

يتفاعل المركب الوسطي الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl؛ وينتج الكحول 1− بروبانول؛ كما في المعادلة الآتية:

20 Mall

OH

أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير 2 بيوتانول $\mathrm{CH_3CH_2CH_3}$ ؛ من تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم $\mathrm{CH_3CH_2MgCl}$ مع الإيثانال $\mathrm{CH_3CH_3CH_3}$.

الحلّ:

المركب $^{\circ}_{CH_3CH_2CH_3}$ ، هو كحول ثانوي يتكون من أربع ذرات كربون، وتساوي مجموع عدد ذرات $^{\circ}_{CH_3CH_2CH_3}$ وتساوي مجموع عدد ذرات $^{\circ}_{CH_3CH_2MgCl}$ هو كحول ثانوي يتكون من أربع ذرات كربون في مركب غرينارد والإيثانال، أي أن اثنتين منها مصدرهما إيثيل كلوريد المغنيسيوم $^{\circ}_{CH_3CHO}$ وبذلك يُحضِّر المركب $^{\circ}_{CH_3CH_3CH_3}$ بإضافة والأخريين مصدرهما الإيثانال $^{\circ}_{CH_3CH_2MgCl}$ وينتج المركب الوسطي كما في المعادلة الأتية:

O OMgCl
$$+$$
 CH $_3$ CH $+$ CH $_3$ CH $_2$ MgCl $-$ CH $_3$ CH $+$ CH $_3$ CH $+$ CH $_3$ CH $+$ CH $_4$ CH $+$ CH $_5$ CH

يتفاعل المركب الوسطي الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl، وينتج 2 بيوتانول؛ كما في المعادلة الآتية:

21 Mall

 $CH_3CCH_2CH_3$ كحول -2 ميثيل -2 بيوتانول

يُحضَّر من تفاعل إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3CH_2MgCl مع البروبانون CH_3COCH_3 . أكتب معادلات كيميائية توضح ذلك.

الحلّ:

OH المركب «CH₃CCH₂CH₂ كحول ثالثي يتكون من خمس ذرات كربون، تساوي مجموع عدد ذرات الكربون في المركب «CH₃CCH₃

إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH3CH2MgCl، والبروبانون «CH3COCH، حيث يضاف إيثيل كلوريد المغنيسيوم (CH3COCH، وينتج مركب وسطى، كما في المعادلة الآتية:

O OMgCl
$$CH_3CCH_3$$
 + CH_3CH_2MgCl \longrightarrow CH_3CCH_3 CH_2CH_3 CH_2CH_3 CH_2CH_3 CH_3CH_3

يتفاعل المركب الوسطي الناتج في المعادلة السابقة مع حمض قوي مثل HCl، وينتج الكحول المطلوب، كما في المعادلة الآتية:

OH

 PCC/CH_2Cl_2 و $CH_2=CH_2$ و CH_3 (CH $_3$ و CH_3 و CH_3 و CH_3 و CH_2 و CH_3 و CH_3

الحل:

الكحول المطلوب تحضيره 2- بيوتانول هو كحول ثانوي، ويتكون من أربع ذرات كربون؛ أي ضعف عدد ذرات الكربون فيهما ذرات الكربون في الإيثين. ولتحضيره أستخدم مركب غرينارد؛ وألديهايدًا، ويكون عدد ذرات الكربون فيهما يساوي أربع ذرات؛ لذا أستخدم مركب غرينارد وألديهايدًا يتكون كلّ منهما من ذرتى كربون.

أقسم الكمية المتوافرة من الإيثين إلى قسمين؛ أستخدم أحدهما لتحضير الألديهايد (الإيثانال)، وأستخدم القسم الآخر لتحضير مركب غرينارد (إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH3CH2MgCl).

يمكن الحصول على الإيثانال من أكسدة كحول أولي؛ ولذلك أضيف الماء إلى الإيثين بوجود حمض الكبريتيك H2SO4، للحصول على الإيثانول كما يأتي:

$$CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3CH_2OH$$

أُجري أكسدة الإيثانول باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم المذاب في ثنائي كلوروميثان PCC\CH₂Cl₂ للحصول على الإيثانال كما يأتي:

أحضّر مركب غرينارد(إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH₃CH₂MgCl) من تفاعل هاليد الألكيل مع المغنيسيوم، بوجود الإيثر الجاف؛ ولذلك أحضّر هاليد الألكيل(كلورو إيثان CH₃CH₂Cl) بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl، إلى الإيثين، ثم أُجري تفاعل كلورو إيثان الناتج مع المغنيسيوم بوجود الإيثر، فينتج إيثيل كلوريد المغنيسيوم CH₃CH₂MgCl؛ كما يأتي:

$$CH_2$$
= CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl \longrightarrow CH_3CH_2MgCl

أضيف مركب غرينارد الناتج إلى الإيثانال، فينتج المركب الوسطي الذي يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك لتكوين الكحول المطلوب، كما يأتي:

O OMgCl OMgCl OH CH
$$_3$$
CH + CH $_3$ CH $_2$ MgCl \longrightarrow CH $_3$ CH \longrightarrow CH $_4$ CH $_3$ \longrightarrow CH $_2$ CH $_3$ \longrightarrow CH $_3$ CH \longrightarrow

أكتب المعادلات الكيميائية التي توضح كيفية تحضير الإيثانول CH_3CH_2OH ؛ من الميثان CH_4 بوجود الضوء، والمواد PCC/CH_2Cl_2 , HBr, NaOH, Mg, Br_2 الآتية: الإيثر،

الحلّ:

المركب المطلوب تحضيره هو الإيثانول CH_3CH_2OH ، وهو كحول أولي، وعدد ذرات الكربون فيه أكبر من الميثان، ولا يمكن أن ينتج إلا بتفاعل الميثانال مع مركب غرينارد؛ ولتحضيره أحضّر مركب غرينارد أولًا، ثم أحضّر الميثانال، وأُجري تفاعلهما معًا كي أحصل على الإيثانول.

يتفاعل الميثان مع الهالوجين؛ مثل البروم بالاستبدال لتكوين هاليد الألكيل كما في المعادلة:

أقسم المركب برومو ميثان CH₃Br الناتج إلى قسمين؛ أستخدم أحدهما لتحضير مركب غرينارد ميثيل بروميد المغنيسيوم CH₃MgBr، كما يأتي:

في حين أستخدم القسم المتبقي من برومو ميثان CH_3 Br، لتحضير الميثانال CH_2 O، حيث يتفاعل CH_3 Br مع CH_3 OH وينتج الميثانول CH_3 OH، كما يأتي:

وبعدها أُجري أكسدة الميثانول؛ باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم PCC\CH₂Cl₂، لتكوين الميثانال كما بأتر:

ثم أضيف ميثيل بروميد المغنيسيوم إلى الميثانال؛ فينتج المركب الوسطي، ثم أفاعله مع حمض HBr، فيتكون كحول الإيثانول المطلوب؛ كما في المعادلات الآتية:

OH

أكتب المعادلات التي تبيّن تحضير 2– بروبانول CH_3 CH CH_3 ؛ من: الميثان CH_4 والإيثين CH_2 = CH_3 ، بوجود الضوء، والمواد الآتية: الماء، الإيثر، PCC/CH_2Cl_2 , H_2SO_4 , Mg, Cl_2 .

الحلّ:

الكحول المراد تحضيره 2 بروبانول هو كحول ثانوي، وعدد ذرات الكربون فيه أكبر من عددها في أيّ من المركبين العضويين المتوافرين، ويساوي مجموع عددها في كلّ من المركبين، ولتحضير هذا المركب؛ تُستخدَم طريقة غرينارد، إذ يُحضَّر ألديهايد ومركب غرينارد أولًا، ثم تجري مفاعلتهما معًا. ولمّا كان الكحول المطلوب ثانويًّا؛ فإنه يلزم لتحضيره ألديهايد عدا الميثانال، ولذلك؛ يُستخدَم المركب $CH_2=CH_2$ ، لتحضير الألديهايد عدا الميثانال، ولذلك؛ يُستخدَم المركب CH_3 المركب CH_3 كما يأتى:

أضيف الماء إلى الإيثين $CH_2=CH_2$ للحصول على كحول الإيثانول CH_3CH_2OH ، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3CH_2OH$$

ثم يؤكسَد الإيثانول باستخدام كلورو كرومات البيريدينيوم PCC\CH2Cl₂؛ للحصول على الإيثانال كما يأتي:

$$CH_3CH_2OH$$
 $\xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2}$ $CH_3CH_3CH_2OH$ $CH_3CH_2OH_3CH_3$ $CH_3CH_3CH_3$

يتفاعل الميثان مع الكلور Cl₂ بالاستبدال؛ فينتج كلورو ميثان CH₃Cl ، كما في المعادلة الآتية:

يتفاعل كلوروميثان CH₃Cl، مع المغنيسيوم Mg؛ بوجود الإيثر للحصول على مركب غرينارد (ميثيل كلوريد المغنيسيوم) كما في المعادلة الآتية:

أضيف ميثيل كلوريد المغنيسيوم CH_3MgCl إلى الإيثانال CH_3CHO ؛ فينتج المركب الوسطي، ثم أُجري تفاعله مع الحمض HCl، فيتكون 2- بروبانول، كما في المعادلات الآتية:

$$\begin{array}{c} O \\ CH_3CH \\ CH_3CH \\ CH_3CH \\ CH_3CH \\ CH_3CH \\ CH_3 \\ CH_4 \\ CH_5 \\ CH$$

سلسلة A, B, C, D, E, الناتجة من سلسلة التفاعلات المبيّنة في المخطط الآتي:

تحضير الإيثرات Preparation of Ethers

ركب يُحفَّر العديد من الإيثرات صناعيًّا؛ ومن أهمها: ثنائي إيثيل إيثر العديد من الإيثرات صناعيًّا؛ ومن أهمها: ثنائي إيثيل إيثر من التفاعلات، ويُحفَّر صناعيًّا بتسخين الذي يُستخدَم مذيبًا عضويًّا في كثير من التفاعلات، ويُحفَّر صناعيًّا بتسخين الإيثانول CH_3CH_2OH مع حمض الكبريتيك المركّز H_2SO_4 ، إلى درجة حرارة تصل CH_3CH_2OH ، والمعادلة الآتية توضح ذلك:

أما في المختبر؛ فتُحضَّر الإيثرات بشكل أساسي بتفاعل هاليد الألكيل الأولي R-ONa الأولي RX، مع مركبات ألكوكسيد، مثل ألكوكسيد الصوديوم RO، حيث يحلّ أيون الألكوكسيد RO محلّ أيون الهالوجين.



أشاركه زملائي/ زميلاتي.

25 Mall

أكتب معادلات كيميائية توضّح تحضير ثنائي ميثيـل إيثـر CH_3-O-CH_3 ؛ بوجـود الضوء والمواد الآتيـة: NaOH , Br_2 , Na , CH_4

الحلّ:

ثنائي ميثل إيثر CH_3-O-CH_3 ، المراد تحضيره يتكون من مجموعتي ألكيل متماثلتين CH_3-O-CH_3 على جانبي ذرة الأكسجين، تتكون كلّ منهما من ذرة كربون واحدة، يكون مصدر إحداهما هاليد الألكيل بروموميثان CH_3 Br الأكسجين، تتكون كلّ منهما من ذرة كربون واحدة، يكون مصدر الميثان لتحضير بروموميثان كما يأتي:

$$CH_4 + Br_2$$
 $\xrightarrow{\phi e_9 \phi}$ $CH_3Br + HBr$ المیثان

أقسم المركب بروموميثان إلى قسمين؛ أحتفظ بأحدهما، وأستخدم الآخر لتحضير أيون الميثوكسيد، حيث أُجري تفاعل بروموميثان مع هيدروكسيد الصوديوم؛ فينتج الميثانول CH₃OH، كما يأتي:

ثم أُجري تفاعل الميثانول CH_3OH ، مع الصوديوم Na، فينتج ميثوكسيد الصوديوم CH_3OH ؛ كما في المعادلة الآتية: $CH_3OH + Na$ \longrightarrow $CH_3ONa + <math>\frac{1}{2}H_2$

وبعدها أُجري تفاعل بروموميثان CH_3D^- مع ميثوكسيد الصوديوم CH_3ONa ، الذي يتأين ويُنتج أيون CH_3O^- الذي يحلّ محل ذرة الهالوجين Br في بروموميثان، وينتج ثنائي ميثيل إيثر CH_3O-CH_3 ؛ كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3Br + CH_3O^ \longrightarrow$$
 $CH_3 - O - CH_3 + Br^-$

26 dall

 CH_4 أكتب معادلات كيميائية توضّح تحضير إيثيل ميثيل إيثر $CH_3CH_2-O-CH_3$ ، إذا توافر في المختبر الميثان CH_4 الميثان CH_4 والمواد الآتية: CH_2 والمواد الآتية: CH_2 والمواد الآتية: CH_2 والمواد الآتية: CH_3

الحلّ:

الإيثر المراد تحضيره هو إيثيل ميثيل إيثر $CH_3CH_2-O-CH_3$ ، ويتكون من مجموعتي ألكيل مختلفتين؛ إحداهما CH_3 الإيثر المراد تحضير هاليد الألكيل RX، ويُستخدَم CH_3 والأخرى CH_3 CH_3 والأخرى CH_3 والأخرى CH_3 والذلك؛ يُستخدَم أحد المركّبين العضويين لتحضير هاليد الألكيل RX، ويُستخدَم الآخر لتحضير مركب الألكوكسيد RONa، ولذلك أضيف HCl إلى الإيثين CH_2 فينتج كلورو إيثان CH_3 كما في المعادلة الآتية:

$$CH_2=CH_2+HCl$$
 — CH_3CH_2Cl

ثم أستخدم الميثان CH_4 لتحضير الألكوكسيد CH_3 ONa، حيث يتفاعل الميثان مع الكلور Cl_2 ، بوجود الضوء عن طريق بتفاعل الاستبدال، وينتج كلورو ميثان CH_3 Cl؛ كما في المعادلات الآتية:

$$CH_4 + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + HCl$$

ثم أُجري تفاعل كلورو ميثان CH3Cl، مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH؛ فينتج الميثانول CH3OH، كما يأتي:

بعد ذلك؛ أُجري تفاعل الميثانول CH3OH، مع الصوديوم Na؛ فينتج ميثوكسيد الصوديوم CH3ONa.

$$CH_3OH + Na$$
 \longrightarrow $CH_3ONa + \frac{1}{2}H_2$

ثم أُجري تفاعل كلورو إيثان CH3CH2Cl، مع ميثوكسيد الصوديوم؛ فينتج إيثيل ميثيل إيثر؛ كما في المعادلة الآتية:

 CH_3

المختبر 1- كلورو بروبان ($CH_3CH_2-O-\dot{C}HCH_3$) إذا توافر في المختبر 1- كلورو بروبان ($CH_3CH_2-O-\dot{C}HCH_3$) والمواد الآتية:

NaOH, HCl, Na, H₃PO₄, H₂O

تحضير الحموض الكربوكسيلية Preparation of Carboxylic Acids

يُحضَّر حمض الإيثانويك صناعيًّا على نطاق واسع عن طريق تفاعل الميثانول يُحضَّر حمض الإيثانويك صناعيًّا على نطاق واسع عن طريق تفاعل الميثانول CH_3OH ، مع أول أكسيد الكربون CO ؛ بوجود عامل مساعد من يود – روديوم (RhI)؛ كما في المعادلة الآتية:

وتُحضَّر الحموض الكربوكسيلية في المختبر بطرائق عدة، منها: أكسدة الكحولات الأولية أو أكسدة الألديهايدات باستخدام عوامل مؤكسدة قوية، مثل دايكرومات الطوديوم Na₂Cr₂O₇، أو دايكرومات البوتاسيوم K₂Cr₂O₇ في وسط حمضي، وكذلك بتفاعل وتُحضَّر أيضًا من التحلل المائي للإستر في وسط حمضي، وكذلك بتفاعل الإستر مع محلول قاعدة قوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH (التصبن)؛ فينتج الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي الذي تجري مفاعلته مع محلول مخفّف من حمض الهيدروكلوريك HCl؛ فينتج الحمض الكربوكسيلي، كما في المعادلة العامة الآتية:

$$RCOO^-K^+ + HCl \longrightarrow RCOOH + KCl$$

27 dlâd

أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير حمض الميثانويك HCOOH؛ من ميثانوات الإيثيل HCOOCH2CH3، باستخدام قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH، وحمض الهيدروكلوريك HCl.

الحلّ:

يُحضَّر حمض الميثانويك بتسخين ميثانوات الإيثيل مع محلول القاعدة NaOH، وينتج الإيثانول وميثانوات الصوديوم؛ كما في المعادلة الآتية:

يُفصل الإيثانول من المحلول بعملية التقطير، ثم يضاف حمض الهيدروكلوريك HCl إلى محلول ميثانوات الصوديوم المتبقي، وينتج حمض الميثانويك HCOOH، كما في المعادلة الآتية:

أصمّم، باستخدام

زملائي/ زميلاتي.

برنامج مناسب لصناعة الأفلام

فيلمًا قصيرًا يوضح طرائق تحضير

الحموض الكربوكسيلية، ثم أشاركه

28 dlall

أكتب معادلات كيميائية تبيّن أكسدة البروبانال CH_3CH_2CHO للحصول على حمض البروبانويك CH_3CH_2COOH .

الحل:

يُحضَّر حمض البروبانويك CH_3CH_2COOH ؛ بأكسدة البروبانال CH_3CH_2COOH في CH_3CH_2CHO ، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ في وسط حمضي (H^+) ، كما في المعادلة الآتية:

$$\begin{array}{ccc} O & O \\ \parallel & & \parallel \\ CH_3CH_2CH & \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} & CH_3CH_2COH \\ & & & & \\ &$$

HCOOH أتحقَّق: أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير حمض الميثانويك \checkmark مخبريًّا؛ من الميثان $^{\circ}$ بوجود الضوء، والمواد الآتية: NaOH , $^{\circ}$, Cl₂

reparation of Esters تحضير الإسترات

تُستخدَم عملية الأسترة في تحضير كثير من المركبات العضوية ذات الأهمية الكبرى في حياتنا، مثل: الأسبرين، ومضافات لتحسين الوقود، ومُنكّهات غذائية، وفي صناعة النسيج، وتُستخدَم في صناعة الصابون، والمنظّفات، وغيرها.

يُحضَّر الإستر في المختبر بتفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول في وسط حمضي (محلول حمض الكبريتيك (H_2SO_4))، وهي أيضًا العملية الأكثر شيوعًا صناعيًّا.

29 Mall

 CH_4 , CH_3CH_2Br في المختبر إذا توافر CH_3COOCH_3 المثيل CH_3COOCH_3 في المختبر إذا توافر $K_2Cr_2O_7$, KOH, H_2SO_4 , Br_2 والضوء والمواد الآتية:

الحلّ:

المركب CH_3COOCH_3 هو إستر ينتج من تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول في وسط حمضي، وبالتدقيق في صيغته؛ يمكن تحديد الجزء المشتق من الحمض والجزء المشتق من الكحول كما يأتي:

ألاحظ أن الجزء المشتق من الحمض يتكون من ذرتي كربون؛ ولذلك أستخدم المركب CH_3CH_2Br ، لتحضير الحمض الكربوكسيلي CH_3COOH ، بينما يتكون الجزء المشتق من الكحول من ذرة كربون واحدة؛ فأستخدم المركب CH_3COOH لتحضير الكحول، والمعادلات الآتية توضح ذلك:

أُجري تفاعل برومو إيثان CH3CH2Br، مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، فينتج الإيثانول CH3CH2OH، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Br + KOH$$
 — $CH_3CH_2OH + KBr$

ثم يؤكسَد الإيثانول CH3CH2OH، باستخدام دايكرومات البوتاسيوم K2Cr2O₇، في وسط حمضي، فينتج حمض الإيثانويك CH3COOH، كما في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow{K_2Cr_2O_7\backslash H^+} CH_3COOH$$

ثم يُحضَّر الميثانول CH₃OH من الميثان CH₄ كما يأتي:

أُجري تفاعل الميثان 4Hء مع البروم بوجود الضوء؛ فينتج بروموميثان CH3Br، كما يأتي:

ثم أُجري تفاعل برومو ميثان CH_3Br ، مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH؛ فينتج الميثانول CH_3OH ، كما في المعادلة الآتية:

بعدها أُجري تفاعل الميثانول CH3COOH، مع حمض الإيثانويك CH3COOH في وسط حمضي، فينتج الإستر (CH3COOH)؛ كما في المعادلة الآتية:

$$\begin{array}{c}
O \\
CH_3COH + CH_3OH & \xrightarrow{H^+} & CH_3COCH_3 + H_2O
\end{array}$$

√ أتحقَّق: أكتب معادلات كيميائية تبيّن تحضير إيثانوات الإيثيل $CH_3COOCH_2CH_3$ ؛ بدءًا من الإيثانال Ni, H_2 , وباستخدام المواد الآتية: H_2SO_4 , $K_2Cr_2O_7/H^+$ مركز CH_3CHO

تحضير الإستر

الموادّ والأدوات:

أنبوب اختبار، كأس زجاجية 250~mL كأس زجاجية 50~mL منبار مدرج، حامل أنابيب، محلول حمض الكبريتيك المركّز H_2SO_4 ، حمض الإيثانويك المركّز CH_3COOH ، ماسك أنابيب، محلول حمض الكبريتيك المركّز CH_3COOH ، حمض الإيثانول CH_3CH_2OH .

إرشادات السلامة:

- اتباع إرشادات السلامة العامّة في المختبر.
- ارتداء معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- الحذر من استنشاق الحموض أو لمسها باليد؛ فهي مواد كاوية.

خطوات العمل:

- 1. أضع 200 mL من الماء في الكأس الزجاجية ذات السعة 250 mL، وأضعها على السخان الكهربائي، وأبدأ عملية التسخين.
- 2. **أقيس**: أستخدم المخبار المدرّج في قياس 5 mL من محلول حمض الإيثانويك؛ ثم أضعها في أنبوب الاختبار.
- 3. أقيس: أستخدم المخبار المدرّج في قياس mL من محلول الإيثانول، ثم أضيفها إلى حمض الإيثانويك في أنبوب الاختبار.
 - 4. أضيف -باستخدام القطارة- ثلاث قطرات من حمض الكبريتيك إلى الخليط في أنبوب الاختبار.
- 5. ألاحظ: أمسك أنبوب الاختبار بالماسك وأغمسه داخل الكأس الزجاجية الموجودة على السخان الكهربائي،
 وأنتظر حتى غليان الخليط. ما الرائحة الناتجة؟
 - 6. أرفع أنبوب الاختبار من الكأس الزجاجية عندما يبدأ الماء بالغليان، وأضعه على حامل الأنابيب.

التحليل والاستنتاج:

- 1. أكتب معادلة التفاعل التي تحدث بين حمض الإيثانويك والإيثانول.
 - 2. أسمّي الإستر الناتج.

مراجعة الارس

- 1. الفكرة الرئيسة: أوضّح أهمية تحضير المركبات العضوية في المختبر.
 - 2. أوضّح المقصود بتفاعل التكسير الحراري.
- 3. أصمّم مخططًا يبيّن سلسلة التفاعلات المستخدمة في تحضير الإيثانول CH_3CH_2OH ؛ باستخدام الإيثان CH_3CH_3 .
 - 4. أكتب معادلة تحضير الإيثانول CH3CH2OH، صناعيًّا من تخمّر سكر الغلوكوز.
 - 5. أكتب معادلة التحضير الصناعي للإيثانال CH₃CHO.
- 6. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير البروبانون ${\rm CH_3COCH_3}$ ؛ باستخدام ${\rm CH_3CH_2CI}$ ؛ والمواد الآتية: ${\rm H_2SO_4}$, ${\rm NaOH}$, ${\rm K_2Cr_2O_7/H^+}$, ${\rm H_2O}$
- 7. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير -2 بيوتانول -2 بيوتانول -2 باستخدام الإيثانول -2 بالاستعانة بالمواد الآتية:

إيثر، PCC/CH₂Cl₂, HBr, Mg

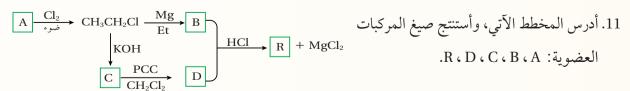
8. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير -2 ميثيل -2 بيوتانول $CH_3CCH_2CH_3$ إذا توافرت المواد الآتية في المختبر: OH

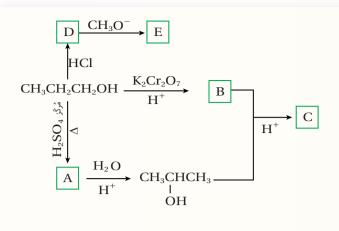
الإيثين CH₂=CH₂، البروبين CH₃CH=CH₂، إيثر، CH₃CH=CH₂، البروبين CH₂=CH₃ الإيثين

9. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير بروبانوات الميثيل ${
m CH_3CH_2COOCH_3}$ ؛ إذا توافر في المختبر كلّ من: ${
m CH_3CH_2CHO}$ ، الضوء، والمواد الآتية:

NaOH, Cl₂, $K_2Cr_2O_7/H^+$, H_2SO_4 مر کّز

راك، أستنتج: مركب عضوي A؛ يتكون من ثلاث ذرات كربون، يتفاعل مع الصوديوم مُطلِقًا غاز الهيدروجين A: A: الهيدروجين A: A: الهيدروجين A: الهيدروجين





12. أدرس المخطط الآتي، وأكتب الصيغ العضوية لكل من المركبات: E ، D ، C ، B ، A.

13. أختار الإجابة الصحيحة لكل فقرة في ما يأتي:

- 1. يُحضّر المركب إيثانوات الميثيل CH3COOCH3 من تفاعل المركبين الآتيين:
- .. CH₃CHO/CH₃OH.
- د. CH₃COOH/CH₃ONa.

.CH₃COONa/CH₃OH . 1

.CH₃COOH/CH₃OH جـ.

- 2. يُحضَّر البروبين $CH_3CH=CH_2$ بإحدى الطرق الآتية:

أ . طريقة التكسير الحراري. بنتزال الكيتون.

د . الاستبدال في الكحول.

جـ. الاستبدال في الألكان.

3. يُنتَج المركب وCH3OCHCH3 مباشرة من تفاعل المركبين:

.CH₃OH/CH₃CHCl .

.CH₃Cl/CH₃CHONa . أ

د . CH₃OH/CH₃CHONa

.CH₃Cl/CH₃CH₂CH₂ONa .ج

4. سلسلة التفاعلات الصحيحة لتحضير المركب CH₃CHO، بدءًا من CH₃CH₃ هي:

أ . استبدال - إضافة - أكسدة. بيان من استبدال - استبدال - اختزال.

د . استدال – استندال – أكسدة.

جـ. إضافة - استبدال - اختزال.

5. تُحضَّر الألكينات صناعيًّا بالتكسير الحراري للألكانات ذات السلاسل الطويلة. جميع الأزواج الآتية تنتج من التكسير الحراري للديكان $C_{10}H_{22}$ ، باستثناء:

 $.C_4H_9OH, C_6H_{14}$.

 $.C_3H_6, C_7H_{16}$.

 $.C_{2}H_{4}$, $C_{8}H_{18}$. د

 $.C_4H_8, C_6H_{14}$

- 6. أحد المركبات الآتية يُحضَّر بخطوة واحدة ابتداءً من 2- كلوروبيوتان «CH3CHCH2CH3، هو:

... . CH₃CH₂CH₂CH₃.

.CH₃CH₂CHOHCH₃ . أ

.د. CH₃CH₂COCH₃ .

.CH₃CH=CHCH₃ .

الإثراء والتوسّع

تحضير حمض الفورميك من أكسدة الكتلة الحيوية Preparation of Formic Acid from Biomass Oxidation

يعد حمض الفورميك أو حمض الميثانويك HCOOH من المواد الكيميائية المهمة في صناعات متعددة، منها: صناعة المنسوجات، والأدوية، والمواد الكيميائية الغذائية، وصناعة الجلود، والدباغة، ويُستخدَم مادةً حافظةً ومضادة للجراثيم في أعلاف الماشية. وكذلك يُتوقَّع أن يصبح حمض الفورميك مصدرًا لوقود الهيدروجين؛ إذ يمكن الحصول على حوالي \$100 من الهيدروجين المخزّن فيه لاستخدامه في خلايا الوقود.

ويُحضَّر حمض الفورميك بطرائق عدّة أكثرها شيوعًا: التحلّل المائي لميثانوات الميثيل، حيث يجري تحضيره صناعيًّا بتفاعل أول أكسيد الكربون مع الميثانول بوجود عامل مساعد مناسب وظروف مناسبة من الضغط ودرجة الحرارة مكوّنًا ميثانوات الميثيل التي تتحلّل في الماء لينتج حمض الميثانويك وكحول الميثانول، ويفصل الحمض، ثم يعاد استخدام الميثانول مرة أخرى لتكوين ميثانوات الميثيل، وهكذا.

أما في الوقت الحاضر؛ فهناك دراسات متعددة تركز على الكتلة الحيوية Biomass، بوصفها مصدرًا للحصول على حمض الفورميك؛ نظرًا لوفرتها وتدنّي تكلفتها. يطلق مصطلح الكتلة الحيوية على المخلفات العضوية للمحاصيل المختلفة، مثل: قشّ القمح، ومخلّفات الأخشاب، ونشارة الخشب، ومخلّفات الدواجن.



تجري أكسدة الكتلة الحيوية تحت ظروف مختلفة كما في الشكل، فتتحلّل وتتحول إلى حمض الفورميك؛ بوجود فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، والأكسجين O_2 ، بوصفهما عاملين مؤكسدين.

مراجعة الوحدة

- 1. أوضّح المقصود بـ: أ. التصبّن. ب. الإضافة الإلكتروفيلية.
 - 2. أكتب معادلات كيميائية توضح كلًّا من الحالات الآتية:
- . Ni بوجود العامل المساعد CH $_3$ (CH $_2$) $_3$ CH=CH $_2$ هكسين -1 هكسين المساعد العامل المساعد العامل المساعد
 - $CH_3CH=CHCH_3$ ب. إضافة الكلور Cl_2 إلى 2 بيوتين
- ج. إضافة الماء إلى -1 بنتين $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2$ المركّز.
 - د. إضافة كمّية وافرة من كلوريد الهيدروجين إلى 1 بيوتاين CH₃CH₂C=CH.
 - ه. $CH_3CH_2CH_2CH_3$ البيوتانال $CH_3CH_2CH_3CH_3$ بوجود العامل المساعد CH_3CH_3
- و. إضافة إيثيل بروميد المغنيسيوم CH3CH2MgBr إلى بروبانال CH3CH2CHO، ثم التفاعل مع حمض HBr.
 - H_2SO_4 مع حمض H_2SO_4 المركّز. H_2SO_4 مع حمض H_2SO_4 المركّز.

r

- .NaOH مع محلول مركّز من هيدروكسيد الصوديوم -2 ميثيل بيوتان -2
 - ط. تفاعل حمض البيوتانويك $_{1}^{CH_{3}CH_{2}CH_{2}COOH}$ مع $_{1}^{CH_{3}CH_{4}/Et}$ مع $_{2}^{CH_{3}CH_{4}/Et}$ ثم إضافة محلول مخفّف من
- 3. تم أكسدة مركبين كحوليين أحدهما أوليّ والآخر ثانوي؛ باستخدام PCC/CH₂Cl₂ عاملًا مؤكسدًا، كيف يمكن استخدام محلول تولينز لتحديد أيّ الكحولين هو الكحول الأولى؟
- 4. إستر أعطي الرمز الإفتراضي A صيغته الجزيئية $C_6H_{12}O_2$ ؛ تكوّن من تفاعل الحمض الكربوكسيلي B والكحول C، بوجود عامل مساعد مناسب. إذا كانت الصيغة البنائية للكحول C هي: $C_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH$ ، فأكتب معادلة كيميائية توضح تكوّن الأستر A، وأبيّن الصيغ البنائية لكل من: الإستر A، والحمض الكربوكسيلي B، والعامل المساعد المستخدم.
 - 5. يمكن للبروبانال CH₃CH₂CHO أن يتحول إلى ثلاثة مركبات عضوية مختلفة عن طريق التفاعلات الآتية:

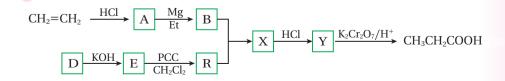
CH₃CH₂CHO

1) NaBH₄ 2) H₃O⁺ X

1) CH₃MgCl Y

2) HCl $K_2C_{I_2}O_{I_2}/H^{-1}$ Z

- أ . أكتب الصيغة البنائية لكلِّ من X، Y، Z .
- ب. أحدّد نوع التفاعل الذي يُكوِّن المركب X.
- H_2SO_4 بين Y و Z بو جو د حمض H_2SO_4
- 6. أستنتج: أدرس المخطط الآتي، وأستنتج صيغ المركبات العضوية المشار إليها بالرموز: A, B, D, E, R, X, Y



مراجعة الوحدة

- 7. أستنتج: مركب عضوي A يتكون من أربع ذرات كربون. عند تسخينه مع محلول NaOH، يتكون مركبان، هما: C و D، بعد ذلك يتفاعل المركب C مع حمض HCl لينتج المركب B الذي بدوره يتفاعل مع كربونات الصوديوم الهيدروجينية «NaHCO مُطلِقًا غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂، وعند أكسدة المركب D باستخدام PCC/CH2Cl₂؛ يتكوّن مركب عضوي R لا يستجيب لتفاعل تولنز، أما عند تسخين المركب D مع محلول حمض الفوسفوريك 4PO، ينتج مركب عضوي Y قادر على إزالة لون محلول البروم. أستنتج الصيغ العضوية للمركبات A, B, C, D, R, Y
- 8. أستنتج: مركب عضوي A، يتكون من ثلاث ذرات كربون. عند تفاعله مع الصوديوم ينتج المركب B مع انطلاق غاز الهيدروجين H_2 وعند أكسدة المركب A باستخدام $(K_2Cr_2O_7/H^+)$ ؛ ينتج المركب العضوي C الذي يتفاعل مع كربونات الصوديوم «Na₂CO، ويطلق غاز ثاني أكسيد الكربون «CO، وعند تفاعل A مع محلول مركز من HCl ينتج المركب العضوي D الذي يتفاعل مع المركب B لينتج المركب E. أستنتج الصيغ العضوية للمركبات A, B, C, D, E.
- 9. أكتب معادلات كيميائية توضح تح<mark>ضير</mark> 3− بنتانول CH₃CH₂CHOHCH₂CH₃، إذا توافرت في المختبر المواد الآتية: الإيثين CH3CH2Cl2، ما الإيثر، CH3CH2Cl2 الإيثين -1 ،CH2=CH2 كلوروبروبان الإيثر، الإيثر، ما الإيثر، الإيثر، الإيثر
- 10. أكتب معادلات كيميائية توضح تحضير 2- بيوتين CH₃CH=CHCH₃، إذا توافر في المختبر: الإيثان CH₃CH₃، HBr , NaOH , Mg , H_2SO_4 , Br_2 , PCC/CH_2Cl_2 مصدر حرارة، الضوء ، الإيثر،

11. أختارُ الإجابة الصحيحة لكل فقرة من الفقرات الآتية:

1. مركب الألكوكسيد المستخدم في تكوين الإيثر CH3CH2OCHCH3 هو:

ONa

. CH₃CH₂CH₂ONa.

.CH₃CHCH₃ . 1

.CH₃CHCH₂CH₃ .-د. CH₃ONa

ب. CH₃CH₂OH مع الصوديوم Na.

أ . CH₃COOH مع الصوديوم Na

د. CH3CH3 مع هيدرو كسيد الصوديوم NaOH.

ج. CH₃CH₂OH مع هيدروكسيد الصوديوم

2. يُحضّر المركب إيثوكسيد الصوديوم CH3CH2ONa من تفاعل:

3. عند تسخين المركب 2 – بروبانول $CH_3CHOHCH_3$ مع حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 ينتج: .CH₃COCH₃ . \(\) د. CH₃CH₂CHO. .CH₃CHBrCH₃ .ج .CH₃CH=CH₂ .ب

4. ينتج عن إضافة HBr إلى CH₃CH=CH₂ المركب:

... CH₃CH₂CH₃. د. CH₃COCH₃.

. د CH₃CHOHCH₃.

.CH₃CHBrCH₃ .ج

5. يُستخدَم محلول البروم للتمييز بين:

أ. الألكان والألكين.

ج. الألديهايد والكيتون.

ب. الألكان والكحول.

د. الألكان والحمض الكربوكسيلي.

مراجعة الوحدة

 CH_3 : حند إضافة الماء CH_3 الى CH_3 - CH_3 الى CH_3 الى CH_3 : CH_3 - CH_3 : CH_3 : CH_3 - CH_3 : CH_3

 $A + 2HI \rightarrow CH_3CI_2CH_3$: هي التفاعل A في التفاعل . 7. صيغة المركب A + 2HI م

.CH₃CHICHI ج. .CH₃CH₂CHI₂ ب. .CH₃C≡CH . أ

O CH_3 المركب الذي لا يحدث له تفاعل إضافة هو: 8. المركب الذي لا يحدث له تفاعل إضافة هو: 8. CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3

$$\overset{O}{\underset{\parallel}{\parallel}}$$
 .CH_3-C-CH_3 ...

.CH₃CHOHCH₃ .ج

. CH₃COOH .ب

.CH₃CH=CH₂ .

. CH₃CHOHCH₃ . جـ . CH₃CH₂CH₂Br . ب . CH₃CH₂CH₂OH . أ

11. المخطط التالي يشير إلى سلسلة من التفاعلات العضوية تبدأ من مركب عضوى صيغته العامة C₃H₈O، علمًا بأن المركب العضوي A يتفاعل مع محلول تولنز، فإن الصيغة البنائية للمركب C_3H_8O هي:

$$C_3H_8O \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} A \xrightarrow{CH_3MgCl} B \xrightarrow{H_2SO_4} C$$

OH ا . CH₃CH CH₃ .ب

.CH₃CH₂CH₂OH . 1

O || .CH₃CCH₃ .ـــ

12. الصيغة البنائية للمركب العضوي C، في سلسلة التفاعلات العضوية السابقة هي: CH_3 CH_3 . $CH_3CH=CHCH_3$. $CH_3C=CH_3$. $CH_3CH=CHCH_3$. $CH_3CH=CHCH_3$.

$$CH_3C = CH_2$$

و بح. CH₃CCH₃

13. يُحضَّر الألديهايد بإحدى الطرق الآتية:

- . $K_2Cr_2O_7/H^+$ أ . أكسدة كحول ثانو ى باستخدام
- $. K_2 Cr_2 O_7 / H^+$ باستخدام څانوي باستخدام کحول ثانوي
- ج. أكسدة كحول اولى باستخدام PCC/CH₂Cl₂.
 - د . إضافة H_2SO_4 إلى الألكين بوجود H_2SO_4 د

14. يُحضَّر ثنائي إيثيل إيثر CH3CH2OCH2CH3 صناعيًّا بإحدى الطرق الآتية:

- أ . تسخين الإيثانول CH3CH2OH مع هاليد الألكيل الأولى.
 - ب. تسخين هاليد الألكيل الأولى مع الكحول.
 - ج. تفكّك الإستر في وسط قاعدي.
- د. تسخين الإيثانول CH3CH2OH مع حمض الكبريتيك المركّز.

15. في التفاعل الآتي:
$$A + X \to CH_3CH_2CH_2Br + H_2O$$
؛ فإن الصيغة الكيميائية لكل من A و X ، هي:

 $.CH_2 = CHCH_3/HBr$.

د. CH₃CH₂CH₂OH/HBr. د

.CH₃CH₂CH₂OH/Br₂ .ج

16. سلسلة التفاعلات الصحيحة لتحضير البروبانون CH₃COCH₃ بدءًا من 1− كلورو بروبان CH₃CH₂CH₂Cl هي:

ب. استدال - حذف - إضافة - أكسدة.

أ . استبدال - استبدال - أكسدة.

د. استبدال - حذف- إضافة - اختزال.

جـ. استبدال - إضافة - حذف - أكسدة.

17. يُحضَّر حمض الإيثانويك CH3COOH صناعيًّا بإحدى الطرائق الآتية:

- أ . هدرجة أول أكسيد الكربون CO.
- ب. تفاعل الإيثانول CH3CH2OH مع أول أكسيد الكربون CO.
 - ج. تفاعل الميثانول CH3OH مع أول أكسيد الكربون CO.
- د. أكسدة الإيثانول $\mathrm{CH_{2}Cl_{2}}$ باستخدام PCC، بوجود $\mathrm{CH_{2}Cl_{2}}$.

18. صيغة المركب العضوي الذي لا يتأكسد هي:

... CH₃CH₂CH₂CHO.

 $.CH_3CH_2CH_2CH_2OH$. 1

د. CH₃COCH₂CH₃.

.CH₃CH₂CHOHCH₃ .ج

19. يمكن تحضير المركب 1− بيوتانول CH₃CH₂CH₂CH₂OH بخطوة واحدة؛ باستخدام أحد المركبات الآتية:

ب. CH₃CH₂CH₂CH₂Cl.

 $.CH_3CH_2CH=CH_2$.

.د. د. CH₃CH₂CH₂OCH₃.

.CH₃CH₂CHOHCH₃ .ج

20. المركب الذي يُختزَل فقط باستخدام LiAlH $_4$ /Et، ثم إضافة محلول مخفّف من حمض الكبريتيك H_2SO_4 هو: CH_3COOH_3 . د . CH_3COOH_3 . د . CH_3COOH_3

مسر دُ المصطلحات

- سرعة التفاعل الكيميائي Rate of Chemical Reaction: مقياس لمقدار التغير في كمية مادة متفاعلة أو كمية مادة ناتجة في فترة زمنية محددة.
 - سرعة التفاعل المتوسطة (Mean Rate (S): التغير الكلّى لكمية المادة المتفاعلة أو الناتجة خلال الزمن المستغرق في ذلك.
 - السرعة الابتدائية Initial Rate: سرعة التفاعل عند الزمن صفر؛ بدلالة التراكيز الابتدائية للمادة المتفاعلة.
 - سرعة التفاعل اللحظية Instantaneous Rate: سرعة التفاعل عند أي لحظة زمنية.
- رتبة التفاعل لمادة متفاعلة Reaction Order: الأسّ المرفوع إليه تركيز المادة المتفاعلة في قانون سرعة التفاعل، ويبيّن أثر تغير تركيز مادة متفاعلة على سرعة التفاعل.
 - الرتبة الكلية للتفاعل Overall Reaction Order: مجموع رتب المواد المتفاعلة في قانون سرعة التفاعل.
- نظرية التصادم Collision Theory: لحدوث تفاعل كيميائي يجب اصطدام جسيات المواد المتفاعلة بعضها ببعض، وامتلاكها طاقة تصادم كافية لتكسير الروابط بينها، وأن يكون اتجاه تصادم هذه الجسيات صحيحا.
- التصادم الفعال Effective Collision: التصادم الذي يمتلك طاقة كافية ويكون اتجاهه صحيحا فيؤدي إلى حدوث التفاعل وتكوين النواتج.
- المعقد المنشط Activated Complex: حالة انتقالية غير مستقرة من تجمع الذرات، تمتلك أعلى طاقة، ويحدث فيها تكسير الروابط وتكوينها، وقد يؤدي إلى تكوين المواد الناتجة أو المواد المتفاعلة.
- طاقة التنشيط Activation Energy: الحدّ الأدنى من الطاقة الحركية التي يجب أن تكتسبها الجسيات المتصادمة لتكسير الروابط بين الذرات؛ كي تبدأ التفاعل وتكوّن روابط جديدة.
- الكيمياء الكهربانية Electrochemistry: أحد فروع الكيمياء، يهتم بدراسة التحوّلات بين الطاقة الكيميائية والكهربائية المرتبطة بها.
 - التأكسد Oxidation: فَقْدُ الإلكترونات أو زيادة عدد التأكسد.
 - الاختزال reduction: كسبُ الإلكترونات أو نقصانُ عدد التأكسد.
 - تفاعل التأكسد والاختزال Redox Reaction: تفاعل كيميائي تحدث فيه عمليَّتا التأكسد والاختزال معًا.
- عدد التأكسد Oxidation Number: الشحنة الفعليَّة لأيون الذرّة في المركّبات الأيونيَّة، أمّا في المركبات الجزيئية؛ فيُعرَّف أنه الشحنة التي تكتسبها الذرّة المكوِّنة للرابطة في ما لو انتقلت إلكترونات الرابطة كليَّا إلى الذرّة التي لها أعلى سالبيَّة كهربائيَّة.

- العامل المؤكسد Oxidising agent: المادّة التي تؤكسد مادّة أخرى في التفاعل الكيميائي؛ إذ يكتسب إلكترونات من المادّة التي يؤكسدها وتحدث له عمليّة اختزال.
- العامل المختزل Reducing agent: المادّة التي تَختزل مادّة أخرى في التفاعل الكيميائي؛ إذ يفقد إلكترونات تكسبها المادّة التي يختزلها وتحدث له عملية تأكسد.
- التأكسد والاختزال الذاتي Autoxidation—Reduction: سلوك المادّة كعامل مؤكسد وعامل مختزل في التفاعل نفسه.
- الخلايا الكهروكيميائية Electrochemical Cells: أجهزة أو أدوات تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال منتجة للطاقة الكهربائيّة أو مستهلكة لها.
- الخلايا الجلفانية Galvanic Cells: أجهزة أو أدوات تجري فيها تفاعلات تأكسد واختزال تلقائية منتجة للطاقة الكهربائية.
 - نصف الخلية Half cell : جزء من الخلية الجلفانية يحديث فيه نصف تفاعل تأكسد أو نصف تفاعل اختزال.
- القنطرة الملحيّة Salt bridge: أنبوب زجاجي على شكل حرف U، يحتوي على محلول مشبع لأحد الأملاح يصل بين نصفي الخليّة و يحافظ على تعادل شحناتها الكهربائيّة.
- جهد الخليّة المعياري Standard cell potential: مقياس لقدرة الخليّة على إنتاج تيّار كهربائي، وهو القوّة الدافعة الكهربائيّة المتولّدة بين قطبي الخليّة بسبب فرق الجهد بينها في الظروف المعياريّة، ويُقاس بالفولت.
- قطب الهيدروجين المعياري Standard Hydrogen electrode: قطب مرجعيّ يُستخدَم لقياس جهود الاختزال المعياريّة الله المعياريّة المعياريّة المعياريّة، وهي: ضغط الغاز latm ، ودرجة حرارة °C ، وتركيز أيونات 'H+ يساوى 1M.
- جهد الاختزال المعياري Standard Reduction potential: مقياس لميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث في الظروف المعياريّة.
- تلقائية التفاعل Spontaneity of Reaction: حدوث التفاعل، وتكون النواتجُ دون الحاجة إلى طاقة كهربائيّة لإحداثه.
- التحليل الكهربائي Electrolysis: عمليّة تمرير تيّار كهربائي في مصهور أو محلول مادّة كهرليّة؛ فيسبّب حدوث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي.
- خلايا التحليل الكهربائي Electrolysis Cells: خلية كهروكيميائية يحدث فيها تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي بفعل الطاقة الكهربائية.
- تفاعل الإضافة Addition Reaction: تفاعل بين جزيئين لتكوين جزيء واحد جديد. ويتضمن ذلك أن يحتوي أحد الجزيئين المتفاعلين الرابطة الثنائية أو الثلاثية.

- نيوكليوفيل Nucleophile: جزيء متعادل أو أيون سالب مثل -OH أو -RO يمتلك زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة، وينجذب للطرف الموجبة.
- الكتروفيل Electrophile: الأطراف الموجبة للجزيئات، وهي أطراف محبة للإلكترونات تنجذب إلى منطقة الكثافة الإلكترونية السالبة؛ وذلك لحاجتها إلى زوج إلكترونات.
- إضافة الكتروفيلية Electrophilic Addition: انجذاب الإلكتروفيل إلى إلكترونات الرابطة π من الرابطة الثنائية في الألكين.
- قاعدة ماركوفينيكوف Markovnikov,s Rule: عند إضافة هاليد الهيدروجين HX إلى ألكين غير متهاثل؛ فإن ذرة الهيدروجين ترتبط بذرة كربون الرابطة الثنائية المرتبطة بالعدد الأكبر من ذرات الهيدروجين.
- إضافة نيوكليوفيلية Nucleophilic Addition: انجذاب النيوكليوفيل إلى ذرة الكربون الموجبة في مجموعة الكربونيل في الألديهايد أو الكيتون.
- 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 المركّز؛ فيتنج عن كلا الحالتين الألكين المقابل.
- تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions: تفاعل تحلّ فيه ذرة أو مجموعة ذرات محل ذرة أو مجموعة ذرات أخرى في المركب العضوى.
 - جذر حرّ Free Radical: ذرة أو مجموعة ذرات تمتلك إلكترونًا منفردًا، مما يجعله شديد النشاط.
- استبدال نيو كليو فيلي Nucleophilic Substitution: تفاعل يرتبط فيه النيو كليو فيل الذي يمتلك زوجًا من الإلكترونات غير الرابطة مع ذرة الكربون التي تحمل شحنة جزئية موجبة في المركب العضوي، بحيث يحل محل ذرة أو مجموعة ذرات فيه.
- تفاعل الأسترة Esterification: تفاعل الحموض الكربوكسيلية مع الكحولات بوجود عامل مساعد، مثل حمض الكربيتيك المركّز لتكوين الإسترات.
- التصبّن Saponification: تفاعل تفكك الإستر عند تسخينه مع محلول قاعدة قوية، مثل NaOH، منتجًا الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي.
- عملية التكسير الحراري Thermal Cracking: عملية كيميائية يجري فيها تكسير مركبات الهيدروكربون ذات السلاسل الطويلة إلى مركبات ذات سلاسل أصغر.