المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم
المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

الكيمياء

الصف العاشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

10

المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

الكيمياء

الصف العاشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

10

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

بلال فارس محمود تيسير أحمد الصبيحات

عبد الله نايف دواغرة

منهاجي
متعة التعليم الهادف

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

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

قـرَّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هذا الكتـاب في مدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعها، بنـاءً على قـرار المجلس الأعلى للمركـز الوطنـي لتطوير المناهج في جلسـته رقـم (2020/7)، تاريخ 2020/12/1 م، وقـرار مجلس التربية والتعليـم رقم (2020/171)، تاريـخ 2020/12/17 م، بـدءًا من العام الـدراسي 2020 / 2021 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2020.
- 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 - 284 - 8

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:
(2022/4/1866)

375,001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

الكيمياء: الصف العاشر: الفصل الثاني (كتاب الطالب)/ المركز الوطني لتطوير المناهج.- ط2؛ مزيدة ومنقحة.- عمان: المركز، 2022

(84) ص.

ر.إ.: 2022/4/1866

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

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبّر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

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

الطبعة الأولى 1441 هـ / 2020 م

أعيدت طباعته 2021 م – 2023 م

قائمةُ المحتوياتِ

الموضوعُ ..... الصفحةُ

المقدمة .....

الوحدةُ الرابعةُ: التفاعلاتُ والحساباتُ الكيميائيةُ 7

تجربةٌ استهلاليةٌ: المعادلةُ الكيميائيةُ 9

الدرسُ الأولُ: التفاعلاتُ الكيميائيةُ 10

الدرسُ الثاني: المولُ والكتلةُ المولية 20

الدرسُ الثالثُ: الحساباتُ الكيميائيةُ 28

الإثراءُ والتوسعُ: الوسادةُ الهوائيةُ 38

مراجعةُ الوحدةِ 39

الوحدةُ الخامسةُ: الطاقةُ الكيميائيةُ 41

تجربةٌ استهلاليةٌ: الطاقةُ المرافقةُ للتفاعلِ 43

الدرسُ الأولُ: تغيراتُ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ 44

الدرسُ الثاني: الطاقةُ الممتصةُ والطاقةُ المنبعثةُ منَ المادةِ 54

الدرسُ الثالثُ: حساباتُ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ 62

الإثراءُ والتوسعُ: الهيدروجينُ وقودًا 76

مراجعةُ الوحدةِ 77

مسردُ المصطلحاتِ 81

قائمةُ المراجعِ 84

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

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

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

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

يتألف الفصل الدراسي الثاني من الكتاب من وحدتين، يتصف محتواهما بالتنوع في أساليب العرض، وهي: التفاعلات والحسابات الكيميائية، والطاقة الكيميائية. يضم الكتاب أيضًا رسومًا كثيرة ومتنوعة، والصور، والأشكال التوضيحية، والأنشطة، والتجارب العملية التي تنمي مهارات العمل المخبري، وتساعد الطلبة على اكتساب مهارات العلم، مثل: الملاحظة العلمية، والاستقصاء، ووضع الفرضيات، وتحليل البيانات، والاستنتاج القائم على التجربة العلمية المضبوطة، وصولًا إلى المعرفة التي تعين الطلبة على فهم ظواهر الحياة من حولنا.

روعي في تأليف الكتاب التركيز على مهارات التواصل مع الآخرين، ولا سيما احترام الرأي والرأي الآخر، وتحفيز الطلبة إلى البحث في مصادر المعرفة المختلفة؛ فلغة الكتاب تشجع الطالب أن يتفاعل مع المادة العلمية، وتحثه على بذل مزيد من البحث والاستقصاء. وقد تضمن الكتاب أسئلة متنوعة تراعي الفروق الفردية، وتنمي لدى الطلبة مهارات التفكير وحل المشكلات.

ألحق بالكتاب كتاب للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعده على تنفيذها بسهولة.

ونحن إذ نُقدِّم هذه الطبعة من الكتاب، فإنّا نأمل أنْ يُسهِم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية لبناء شخصية المُتعلِّم، وتنمية اتجاهات حُبِّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمر، فضلًا عن تحسين الكتاب؛ بإضافة الجديد إلى المحتوى، والأخذ بملاحظات المعلِّمين والمعلِّمات، وإثراء أنشطته المتنوعة.

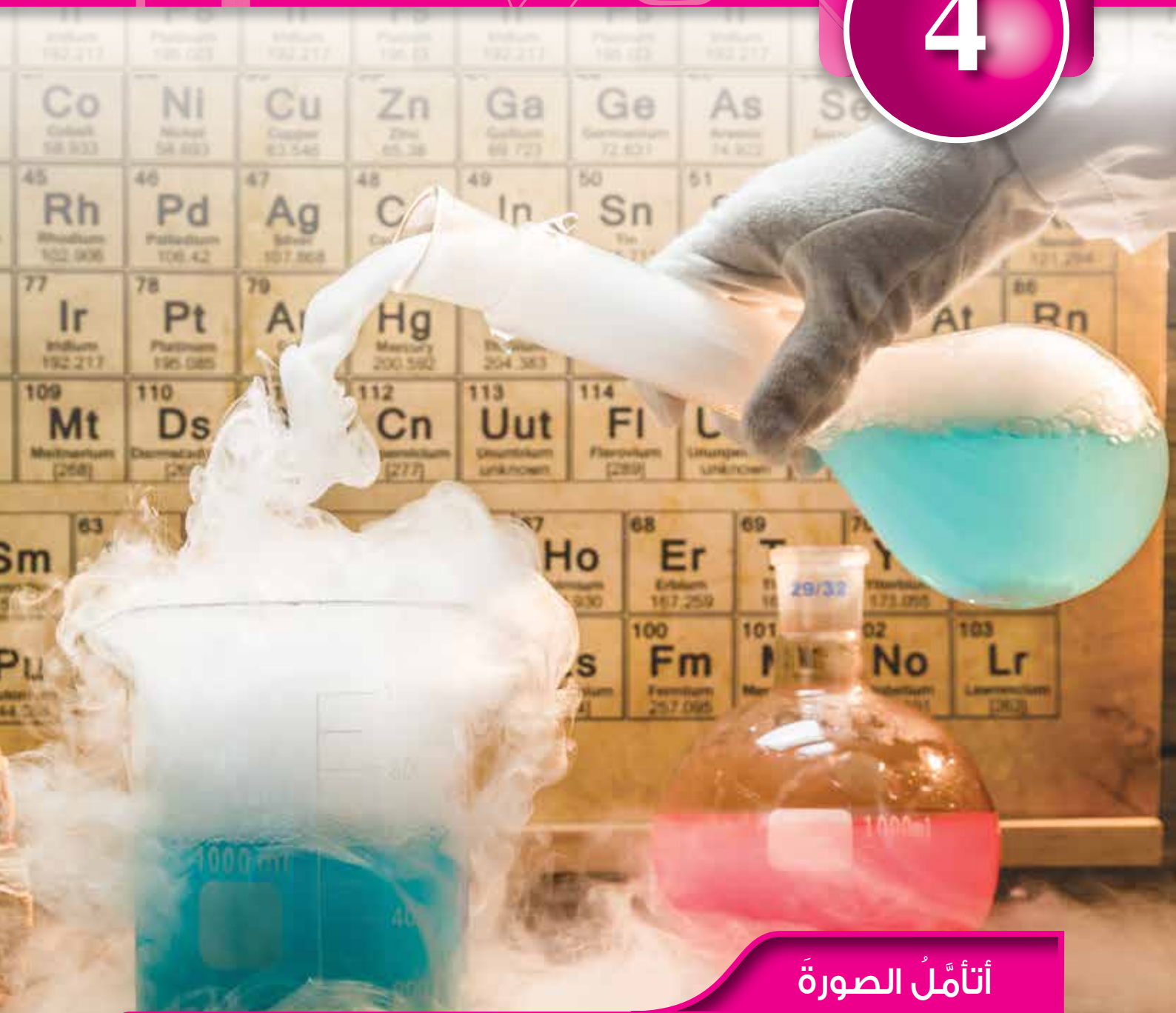
والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدةُ 4

التفاعلاتُ والحساباتُ الكيميائيةُ

Reactions and Stoichiometry



أتأمَّلُ الصورةَ

تُنتَجُ الموادُّ الكيميائيةُ المختلفةُ منْ تفاعلِ العناصرِ والمركباتِ، فما التفاعلُ الكيميائيُّ؟ وكيفَ نعبِّرُ عنهُ؟ وكيفَ نحسبُ كمياتِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ؟

الفكرةُ العامةُ:

تعبِّرُ المعادلةُ الكيميائيةُ الموزونةُ عنِ التفاعلِ الكيميائيِّ، وتعدُّ الأساسَ في حسابِ كمياتِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ.

الدرسُ الأولُ: التفاعلاتُ الكيميائيةُ

الفكرةُ الرئيسةُ: يُعبَّرُ عنِ التفاعلاتِ الكيميائيةِ المختلفةِ بمعادلاتٍ موزونةٍ تبينُ الموادَّ المتفاعلةَ والناتجةَ وكمياتِها وحالاتِها الفيزيائيةَ.

الدرسُ الثاني: المولُ والكتلةُ المولية

الفكرةُ الرئيسةُ: يرتبطُ مفهومُ المولِ بالكتلةِ المولية وكتلةِ الصيغةِ والكتلةِ الذريةِ.

الدرسُ الثالثُ: الحساباتُ الكيميائيةُ

الفكرةُ الرئيسةُ: يمكنُ حسابُ نسبِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ وكمياتِها في التفاعلاتِ المختلفةِ بالاعتمادِ على المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونةِ.

المعادلةُ الكيميائيةُ

المـوادُّ والأدواتُ: محلـولُ نتـراتِ الرصـاصِ (II) $Pb(NO_3)_2$، محلـولُ يوديـدِ البوتاسـيومِ KI، ميـزانٌ حسـاسٌ، مخبـارٌ مـدرجٌ، كأسـانِ زجاجيتـانِ سـعةُ كلٍّ منْهـا 100 mL.

إرشاداتُ السلامةِ: أحذرُ عندَ التعاملِ معَ الأدواتِ الزجاجيةِ والموادِّ الكيميائيةِ، وأرتدي القفازاتِ والنظاراتِ الواقيةَ، ومعطفَ المختبرِ.

خطواتُ العملِ:

1. أضعُ كأسيْنِ زجاجيتيْنِ على الميزانِ الحساسِ، وأضبطهُ للحصولِ على قراءةِ مؤشرِ صفرٍ.
2. **أقيسُ:** أضعُ (10 mL) منْ محلولِ يوديدِ البوتاسيومِ في إحدى الكأسيْنِ، وأضعُ (10 mL) منْ محلولِ نتراتِ الرصاصِ في الكأسِ الأخرى. ثمَّ أسجلُ قراءةَ الميزانِ.
3. **ألاحظُ:** أضيفُ محتوياتِ الكأسِ الأولى إلى الكأسِ الثانيةِ، وأُبقي الكأسيْنِ على الميزانِ. ماذا يحصلُ؟ أسجلُ قراءةَ الميزانِ.
4. أنظفُ مكانَ عملي وأغسلُ يديَّ جيدًا بعدَ الانتهاءِ منَ العملِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1 – **أقارنُ** قراءةَ الميزانِ قبلَ خلطِ المادتيْنِ وبعدَها.

2 – **ألاحظُ** التغيراتِ التي تدلُّ على حدوثِ التفاعلِ.

3 – أعبرُ عنِ التفاعلِ الحاصلِ بمعادلةٍ كيميائيةٍ موزونةٍ متضمنًا الحالةَ الفيزيائيةَ للموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ.

التفاعلاتُ الكيميائيةُ
Chemical Reactions

الدرسُ 1

الفكرةُ الرئيسةُ :

يعبَّرُ عنِ التفاعلاتِ الكيميائيةِ المختلفةِ بمعادلاتٍ موزونةٍ تبينُ الموادَّ المتفاعلةَ والناتجةَ وكمياتِها وحالاتِها الفيزيائيةَ.

نتاجاتُ التعلمِ :

- أعبرُ عنِ التغيرِ الكيميائيِّ بمعادلةٍ كيميائيةٍ موزونةٍ .
- أستكشفُ أنواعَ التفاعلاتِ الكيميائيةِ، وأميزُ بينَها.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ :

تفاعلٌ كيميائيٌّ Chemical Reaction

معادلةٌ كيميائيةٌ موزونةٌ
Balanced Chemical Equation

قانونُ حفظِ الكتلةِ
Law of Conservation of Mass

تفاعلُ الاحتراقِ
Combustion Reaction

تفاعلُ الاتحادِ
Combination Reaction

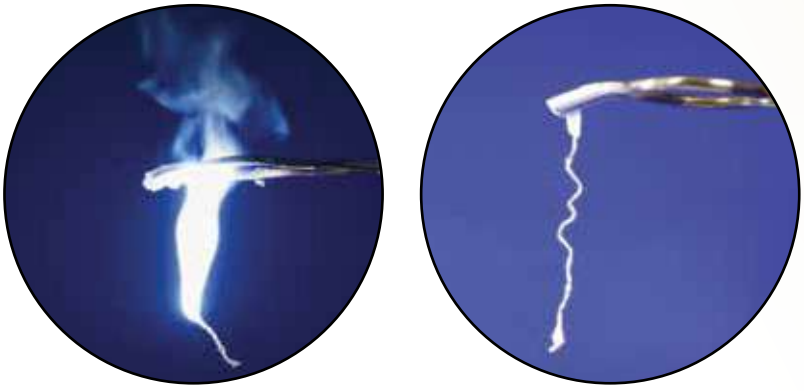
تفاعلُ التحللِ (التفككِ)
Decomposition Reaction

تفاعلُ الإحلالِ الأحاديِّ
Single Displacement Reaction

التغيرُ الكيميائيُّ Chemical Change

تطرأُ عادةً على المادةِ تغيراتٌ؛ فيزيائيةٌ أو كيميائيةٌ. تؤثرُ التغيراتُ الفيزيائيةُ في الخواصِّ الفيزيائيةِ للمادةِ كحالةِ المادةِ (صلبةً كانتْ، أوْ سائلةً، أوْ غازيةً) وشكلِها وحجمِها، ولا ينتجُ عنها تغيُّرٌ في تركيبِ المادةِ نفسِها؛ فمثلًا، عندَ تجمدِ الماءِ تتغيرُ حالتهُ منَ الحالةِ السائلةِ إلى الصلبةِ، ولكنَّهُ يبقى ماءً.

أما التغيراتُ الكيميائيةُ، فينتجُ منها موادٌّ جديدةٌ تختلفُ في خصائصِها عنْ خصائصِ الموادِّ الأصليةِ. فعندَما يحترقُ عنصرُ المغنيسيومِ بوجودِ غازِ الأكسجينِ ينتجُ رمادٌ أبيضُ اللونِ يُسمّى أكسيدَ المغنيسيومِ MgO يختلفُ في خصائصهِ عنْ خصائصِ كلٍّ منْ العنصرَيْنِ: المغنيسيومِ والأكسجينِ اللذيْنِ يتكونُ منهُما، أنظرُ الشكلَ (1).



الشكلُ (1): احتراقُ فلزِّ المغنيسيومِ؛ لإنتاجِ مركبِ أكسيدِ المغنيسيومِ.

منهاجي
متعة التعليم الهادف

الشكلُ (2): تفاعلُ عنصرَيِ الصوديومِ والكلورِ لإنتاجِ مركبِ كلوريدِ الصوديوم

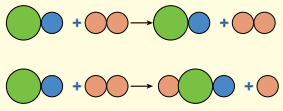
يمتازُ الصوديومُ بأنَّهُ فلزٌّ يتفاعلُ بشدةٍ معَ الماءِ، أما الكلورُ فغازٌ سامٌّ لونهُ أصفرُ مخضرٌّ، وينتجُ منْ تفاعلِهما مركبُ كلوريدِ الصوديومِ (ملحُ الطعامِ) الأبيضُ، الذي يحتاجُ الجسمُ إليهِ، أنظرُ الشكلَ (2).

تُسمى العمليةُ التي تحدثُ فيها تغيراتٌ كيميائيةٌ: التفاعلَ الكيميائيَّ Chemical Reaction. فما التفاعلُ الكيميائيُّ؟ وكيفَ نعبرُ عنهُ بمعادلةٍ كيميائيةٍ؟ وما أنواعُ التفاعلاتِ الكيميائيةِ؟

يتفاعلُ غازُ الهيدروجينِ H_2 معَ غازِ الكلورِ Cl_2 لإنتاجِ غازِ كلوريدِ الهيدروجينِ HCl كما هوَ موضحٌ في الشكلِ (3)؛ حيثُ تتكسرُ الروابطُ بينَ ذراتِ كلٍّ منْ H_2، وذراتِ Cl_2، وتتكونُ روابطُ كيميائيةٌ جديدةٌ بينَ ذراتِ H وذراتِ Cl منتجةً جزيئاتِ HCl .

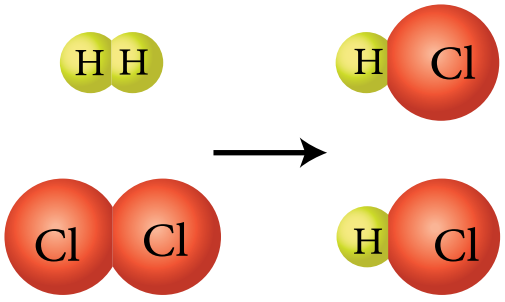
وتختلفُ صفاتُ كلوريدِ الهيدروجينِ الناتجِ عنْ صفاتِ كلٍّ منْ عنصرَيِ الهيدروجينِ والكلورِ المكونيْنِ لهُ. ويُعرَّفُ **التفاعلُ الكيميائيُّ Chemical Reaction** بأنَّهُ عمليةٌ يحدثُ فيها تكسيرُ الروابطِ بينَ ذراتِ الموادِّ المتفاعلةِ، وتكوينُ روابطَ جديدةٍ بينَ ذراتِ الموادِّ الناتجةِ، ويتضمنُ إعادةُ ترتيبٍ للذراتِ دونَ المساسِ بنوعِها وعددِها، وتختلفُ الصفاتُ الفيزيائيةُ والكيميائيةُ للموادِّ الناتجةِ منها للموادِّ المتفاعلةِ.

أفكّرُ: أيُّ الشكليْنِ الآتييْنِ يمثلُ تفاعلًا كيميائيًّا؟ أفسّرُ إجابتي.



أصممُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضًا يوضحُ كيفَ يتفاعلُ جزيْءٌ منَ الهيدروجينِ معَ جزيْءٍ منَ الكلورِ؛ لإنتاجِ جزيئينِ منْ كلوريدِ الهيدروجينِ، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

أتحقَّقُ: ما المقصودُ بالتفاعلِ الكيميائيِّ؟



الشكلُ (3): تفاعلُ جزيئاتِ H_2 معَ جزيئاتِ Cl_2 لإنتاجِ جزيئاتِ HCl.

أتوقعُ: ما نوعُ الرابطةِ الكيميائيةِ بينَ ذراتِ H-Cl , Cl-Cl , H-H؟

المعادلةُ الكيميائيةُ الموزونةُ Balanced Chemical Equation

يمكنُ التعبيرُ عنِ التفاعلِ الكيميائيِّ **بمعادلةٍ كيميائيةٍ موزونةٍ** **Balanced Chemical Equation** وهيَ تعبيرٌ بالرموزِ والصيغِ يبينُ نوعَ الموادِّ المتفاعلةَ والناتجةَ، ونسبَ كمياتِها في التفاعلِ، وحالاتِها الفيزيائيـةَ، والظروفَ التي يُجرى فيها التفاعلُ بما يحققُ قانونَ حفظِ الكتلةِ.

ينصُّ **قانونُ حفظِ الكتلةِ** **Law of Conservation of Mass** على أنَّ المادةَ لا تفنى ولا تُستحدثُ منَ العدمِ وإنما تتحولُ منْ شكلٍ إلى آخرَ؛ وبهذا فإنَّ مجموعَ كتلِ الموادِّ المتفاعلةِ يساوي مجموعَ كتلِ الموادِّ الناتجةِ، أنظرُ الشكلَ (4)؛ ما يشيرُ الى أنَّ عددَ ذراتِ كلِّ عنصرٍ ونوعَها في الموادِّ المتفاعلةِ يماثلُ عددَ ذراتِه ونوعَها في الموادِّ الناتجةِ، وهذا يفسرُ قانونَ حفظِ الكتلةِ. ويبينُ الشكلُ (5) تمثيلًا مبسطًا لتفاعل احتراق غازِ الإيثانِ بوجودِ غازِ الأكسجينِ لإنتاجِ غازِ ثاني أكسيدِ الكربونِ وبخارِ الماءِ، ويصفُ الكيميائيونَ هذا التفاعلَ بالمعادلةِ الرمزيةِ الموزونةِ كما يأتي:

$$2C_2H_{6(g)} + 7O_{2(g)} \rightarrow 4CO_{2(g)} + 6H_2O_{(g)}$$

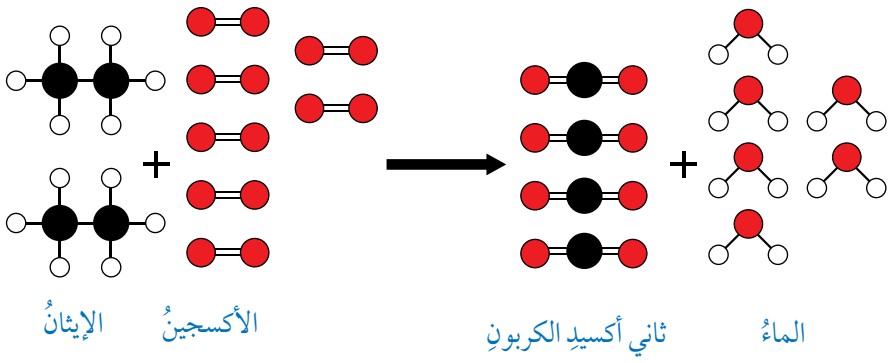
ولكتابةِ المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونةِ لتفاعلٍ ما، يجبُ أولًا كتابةُ معادلـةٍ كيميائيةٍ لفظيةٍ تصفُ التفاعلَ، وبعدَها تُحـوَّلُ الكلماتُ إلى رموزٍ وصيغٍ كيميائيةٍ؛ لتصبحَ معادلةً رمزيةً، وتتضمنُ الحالةَ الفيزيائيةَ لكلِّ مادةٍ . أخيرًا تجري موازنةُ المعادلةِ بجعلِ عددِ ذراتِ عناصرِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ التي منَ النوعِ نفسهِ متساويةً على طرفَي المعادلةِ.

الأكسجينُ O_2 7.39 g

الزئبقُ 2Hg 92.61 g

أكسيدُ الزئبقِ 2HgO 100 g

الشكلُ (4): قانونُ حفظِ الكتلةِ.



الإيثانُ الأكسجينُ الماءُ ثاني أكسيدِ الكربونِ

هيدروجين أكسجين كربون

الشكلُ (5): تمثيلٌ مبسطٌ لتفاعل احتراق غازِ الإيثانِ بوجودِ غازِ الأكسجينِ لإنتاجِ غازِ ثاني أكسيدِ الكربونِ وبخارِ الماءِ.

أفسرُ: كيفَ تغيرَ ترتيبُ ذراتِ العناصرِ بالنسبةِ إلى بعضِها؟

المثالُ 1

أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونةً لتفاعلِ غازِ الهيدروجينِ معَ غازِ الأكسجينِ لإنتاجِ الماءِ السائلِ.

الحلُّ:

- أكتبُ المعادلةَ اللفظيةَ: غازُ الهيدروجينِ + غازِ الأكسجينِ ← الماء.
- أكتبُ المعادلةَ بالرموزِ والصيغِ: $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$
- أوازنُ المعادلةَ: أحددُ عددَ ذراتِ كلِّ نوعٍ في الموادِّ المتفاعلةِ والناتجة.

	H	O
عددُ الذراتِ المتفاعلةِ	2	2
عددُ الذراتِ الناتجةِ	2	1

ألاحظُ أنَّ عددَ ذراتِ H المتفاعلةِ يساوي عددَها في المادةِ الناتجةِ، في حينِ يختلفُ عددُ ذراتِ O المتفاعلةِ عنِ الناتجةِ. ولمساواةِ عددِ ذراتِ O في طرفَي المعادلةِ أستخدمُ طريقةَ المحاولةِ والخطأِ، وفي هـذا التفاعـلِ إذا وُضعَ الرقمُ 2 يسـارَ الصيغةِ H_2O كما يأتي: $2\ H_2O$ يصبحُ عددُ ذراتِ O متساويًا في طرفَي المعادلةِ.

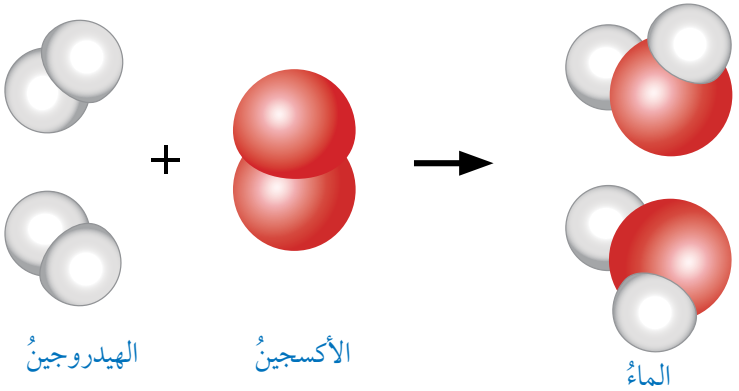
	H	O
عددُ الذراتِ المتفاعلةِ	2	2
عددُ الذراتِ الناتجةِ	4	2

ونتيجةً لذلكَ سوفَ يختلفُ عددُ ذراتِ H، ولمساواةِ عددِها يوضعُ الرقمُ 2 يسارَ الصيغةِ H_2 في الموادِّ المتفاعلةِ؛ فيصبحُ عددُ ذراتِها في الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ متساويًا، وهوَ 4.

وبذلكَ تصبحُ المعادلةُ موزونةً، وتُكتَبُ متضمِّنةً الحالةَ الفيزيائيةَ للموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ، كالآتي:

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

وعندَ موازنةِ المعادلةِ الكيميائيةِ، يجبُ المحافظةُ على الصيغةِ الكيميائيةِ للمادةِ حتى لا يتناقضَ ذلكَ معَ قانونِ حفظِ الكتلةِ؛ لذلكَ يوضعُ الرقمُ 2 يسارَ الصيغةِ H_2O أيْ: $2\ H_2O$، وهذا يعني جزيئيْنِ منَ الماءِ، أمّا لوْ جرتِ الموازنةُ بوضعِ الرقمِ 2 يمينَ الصيغةِ، أيْ، H_2O2 فسيُنتجُ مركبًا جديدًا هوَ H_2O_2 الذي يختلفُ في الخواصِّ الفيزيائيةِ والكيميائيةِ عنْ H_2O على الرغمِ منْ أنَّ عددَ ذراتِ H و O متساوٍ في طرفَي المعادلةِ الكيميائيةِ، أنظرُ الشكلَ (6).



الشكلُ (6): نموذجُ تفاعلِ الأكسجينِ معَ الهيدروجينِ لإنتاجِ الماءِ.

المثالُ 2

أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونةً لتفاعلِ غازِ الميثانِ CH_4 معَ غازِ الأكسجينِ O_2 لإنتاجِ غازِ ثاني أكسيدِ الكربونِ CO_2 وبخارِ الماءِ.

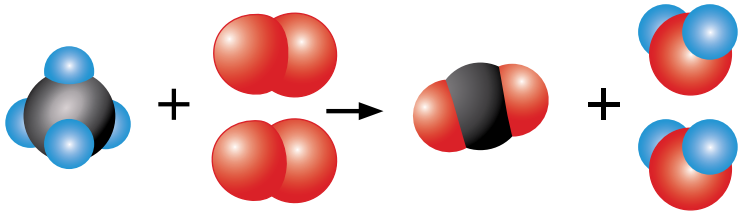
الحلُّ:

- أكتبُ المعادلةَ اللفظيةَ: غاز الميثان + غاز الأكسجين ← غاز ثاني أكسيد الكربون + بخار الماء
- أكتبُ المعادلة بالرموزِ والصيغِ: $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$
- أوازن المعادلة: أحددُ عددَ ذراتِ كلِّ نوعٍ في الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ، وأزنُها:

	الموادُّ المتفاعلةُ	الموادُّ الناتجةُ
الموادُّ المتفاعلةُ والناتجةُ	$CH_4 + O_2$	$CO_2 + H_2O$
أعُدُّ ذراتِ كلِّ عنصرٍ في الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ	1C , 4H , 2O	1C , 2H , 3O
أزيدُ عددَ ذراتِ H الناتجةِ أضعُ الرقمَ 2 يسار الصيغةِ H_2O	$CH_4 + O_2$	$CO_2 + 2H_2O$
أعُدُّ الذراتِ المتفاعلةَ والناتجةَ مرةً أخرى	1C , 4H , 2O	1C , 4H , 4O
أزيدُ عددَ ذراتِ O المتفاعلةِ أضعُ الرقمَ 2 يسار الصيغةِ O_2	$CH_4 + 2O_2$	$CO_2 + 2H_2O$
أتأكدُ منْ عددِ الذراتِ المتفاعلةِ والناتجةِ في المعادلةِ	1C , 4H , 4O	1C , 4H , 4O

ألاحظُ أنَّ المعادلةَ موزونةٌ وتُكتَبُ على النحوِ الآتي:

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



أفكِّرُ: كيفَ يتحققُ قانونُ حفظِ الكتلةِ في التفاعلِ الموضّحِ في المثالِ السابقِ؟

أتحقَّقُ: أوازنُ المعادلةَ الكيميائيةَ الآتيةَ:

$$Pb(NO_3)_{2(s)} \xrightarrow{\Delta} PbO_{(s)} + NO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

أنواعُ التفاعلاتِ الكيميائيةِ Types of Chemical Reactions

1- تفاعلُ الاحتراقِ Combustion Reaction

تفاعلُ الاحتراقِ Combustion Reaction هوَ تفاعلُ مادةٍ ما (عنصرٍ أوْ مركبٍ) معَ غازِ الأكسجينِ ويصاحبُ التفاعلَ عمومًا انطلاقُ طاقةٍ في صورةِ حرارةٍ أوْ ضوءٍ. فمثلًا، احتراقُ قطعةٍ منَ الفحمِ (الكربونِ) بوجودِ غازِ الأكسجينِ تنتجُ منهُ حرارةٌ Heat، أنظرُ الشكلَ (7)، حيثُ يمكنُ التعبيرُ عنِ التفاعلِ بالمعادلةِ الآتيةِ:

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + Heat$$

والأمثلةُ على تفاعلاتِ الاحتراقِ كثيرةٌ؛ كاحتراقِ الخشبِ واحتراقِ أنواعِ الوقودِ المختلفةِ. وتفيدُنا الحرارةُ الناتجةُ في التدفئةِ وتحريكِ وسائلِ المواصلاتِ وطهيِ الطعامِ وغيرِها. بالإضافةِ إلى أنَّ احتراقَ الغذاءِ في الجسمِ يزودهُ بالطاقةِ اللازمةِ لأداءِ وظائفهِ الحيويةِ المتنوعةِ. وعادةً عندَ احتراقِ المركباتِ التي تتكونُ منَ الهيدروجينِ والكربونِ فإنَّهُ يَنتجُ غازُ ثاني أكسيدِ الكربونِ، وبخارُ الماءِ، فضلًا عنِ انطلاقِ حرارةٍ، كما في المعادلةِ الآتيةِ:

$$2C_5H_{10(g)} + 15O_{2(g)} \rightarrow 10CO_{2(g)} + 10H_2O_{(g)} + Heat$$

2- تفاعلُ الاتحادِ Combination Reaction

تفاعلُ الاتحادِ Combination Reaction هو تفاعلُ مادتيْنِ أوْ أكثرَ (عناصرَ أوْ مركباتٍ) ليُنتجَ مركبًا واحدًا جديدًا. فمثلًا يتفاعلُ عنصرُ النحاسِ معَ عنصرِ الكبريتِ ليُنتجَا مركبَ كبريتيدِ النحاسِ (II)، ويُعبَّرُ عنِ التفاعلِ بالمعادلةِ الآتيةِ:

$$Cu_{(s)} + S_{(s)} \xrightarrow{\Delta} CuS_{(s)}$$

حيثُ يشيرُ الرمزُ (Δ) إلى التسخينِ (حرارة).

الشكلُ (7): تفاعلُ احتراقِ قطعٍ منَ الفحمِ.

أفكّرُ: عندَ حرقِ (100 g) منَ الفحمِ في كميةٍ معلومةٍ منْ غازِ الأكسجينِ حرقًا تامًّا، فإنَّ كميةَ الناتجِ تكونُ أقلَّ منَ المتوقعِ.

أعملُ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (Movie Maker)، يوضحُ أنواعَ التفاعلاتِ الكيميائيةِ: (وهيَ الاحتراقُ، والتحللُ، والاتحادُ، والإحلالُ الأحادي)، وأحرصُ على أنْ يشتملَ الفيلمُ على مفهومِ كلِّ نوعٍ منْها، ومعادلةِ التفاعلِ، ثمَّ أشاركُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

التجربةُ 1

تفاعلُ الاتحادِ

الموادُّ والأدواتُ: برادةُ الحديدِ Fe، مسحوقُ الكبريتِ S، جفنةُ تسخينٍ، لهبُ بنسن، ملعقةٌ، ميزانٌ حساسٌ، منصبٌ ثلاثيٌّ، مغناطيسٌ.

إرشاداتُ السلامةِ:

- أحذرُ عندَ التعاملِ معَ اللهبِ.
- أرتدي معطفَ المختبرِ، وألبسُ القفازيْنِ، وأضعُ النظاراتِ الواقيةَ.

خطواتُ العملِ:

1. **أزنُ** 6 g منْ برادةِ الحديدِ ثم 3 g منَ الكبريتِ وأخلطُهما معًا في جفنةِ التسخينِ.
2. **أجربُ:** أقرِّبُ طرفَ المغناطيسِ منَ الخليطِ، أيُّ المادتيْنِ تنجذبُ إليهِ؟
3. **ألاحظُ:** أضعُ المادتيْنِ مرةً أخرى في الجفنةِ، وأخلطُهما خلطًا جيدًا، وأسخنُ الجفنةَ على اللهبِ 4 min، ثمَّ أتركُ الجفنةَ حتى تبردَ، وألاحظُ التغيرَ الحاصلَ.
4. **أجربُ:** أقرِّبُ طرفَ المغناطيسِ منَ المادةِ الموجودةِ في الجفنةِ، هلْ تنجذبُ إليهِ؟
5. **أتواصلُ:** أسجلُ ملاحظاتي وأقارنُها مع ملاحظاتِ زُملائي/ زَميلاتي.

التحليلُ والاستنتاجُ:

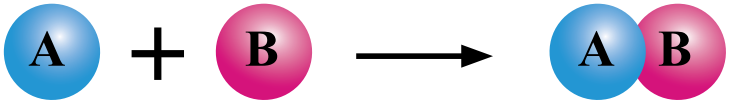
1- **أصفُ** التغيرَ الذي حدثَ لكلٍّ منَ الحديدِ والكبريتِ بعدَ تسخينِ مخلوطِهما.

2- أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونةً للتفاعلِ.

ومنَ الأمثلةِ أيضًا تفاعلُ أكسيدِ المغنيسيومِ، معَ غازِ ثاني أكسيدِ الكربونِ؛ لإنتاجِ كربوناتِ المغنيسيومِ كما هوَ موضحٌ في المعادلةِ الآتيةِ:

$$MgO_{(s)} + CO_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} MgCO_{3(s)}$$

ويمكنُ تمثيلُ تفاعلاتِ الاتحادِ بالصورةِ المبسطةِ الآتيةِ:



3- تفاعلُ التحللِ (التفككِ) Decompostion Reaction

تفاعلُ التحللِ (التفككِ) Decompostion Reaction هوَ تحللُّ مركبٍ واحدٍ بالحرارةِ أوْ بالكهرباءِ أوْ بالضوءِ منتجًا مادتيْنِ أوْ أكثرَ، وقدْ تكونُ النواتجُ عناصرَ أوْ مركباتٍ. فمثلًا، تتحللُ كربوناتُ النحاسِ بالحرارةِ، منتجةً أكسيدَ النحاسِ وغازَ ثاني أكسيدِ الكربونِ، ويُعبَّرُ عنْ تفاعلِها بالمعادلةِ الآتيةِ:

$$CuCO_{3(s)} \xrightarrow{\Delta} CuO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

الربط بالعلوم الحياتية

تحتوي أوراقُ كثيرٍ منَ الأشجارِ على اللونيْنِ البرتقاليِّ والأصفرِ، ويغطيهما لونُ الكلوروفيلِ الأخضرُ، وفي فصلِ الخريفِ تتغيرُ ألوانُ أوراقِ الشجرِ؛ نتيجةَ تفاعلٍ كيميائيٍّ يتفككُ فيهِ الكلوروفيلُ بمعدلٍ أكبرَ منْ إنتاجِهِ؛ مُظهرًا اللونيْنِ البرتقاليَّ والأصفرَ على الأوراقِ.

التجربةُ 2

تفاعلُ التحللِ

الموادُّ والأدواتُ: هيدروكسيدُ النحاسِ (II) $Cu(OH)_2$، جفنةُ تسخينٍ، لهبُ بنسن، ملعقةٌ، منصبٌّ ثلاثيٌّ.

إرشاداتُ السلامةِ:

- أحذرُ عندَ التعاملِ معَ اللهبِ.
- أرتدي معطفَ المختبرِ، وألبسُ القفازيْنِ، وأضعُ النظاراتِ الواقيةَ.

خطواتُ العملِ:

1. أضعُ ملعقةً منْ هيدروكسيدِ النحاسِ في الجفنةِ.
2. أسخنُ الجفنةَ على اللهبِ 5 min، ثم أتركُ الجفنةَ حتى تبردَ.
3. **ألاحظُ** التغيرَ الذي طرأَ على هيدروكسيدِ النحاسِ، ثمَّ أسجلُ ملاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- **أصفُ** التغيرَ الذي حدثَ للمادةِ المتفاعلةِ قبلَ التسخينِ وبعدَهُ.

2- أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونةً للتفاعلِ.

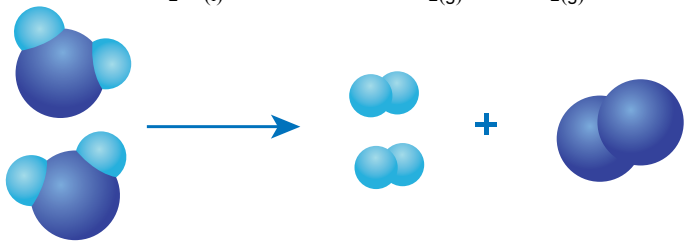
ومنَ الأمثلةِ أيضًا على هذهِ التفاعلاتِ تحللُ نتراتِ الأمونيومِ بالحرارةِ، منتجةً أكسيدَ ثنائي النيتروجينِ وبخارَ الماءِ، كما يأتي:

$$NH_4NO_{3(s)} \xrightarrow{\Delta} N_2O_{(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

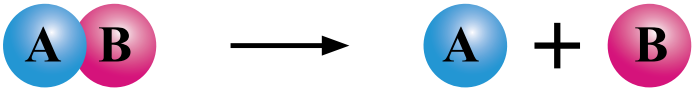
وكذلكَ تتحللُ دايكروماتُ الأمونيومِ $(NH_4)_2Cr_2O_7$ بالحرارةِ، منتجةً أكسيدَ الكرومِ وغازَ النيتروجينِ وبخارَ الماءِ؛ حيثُ تسببُ الغازاتُ الناتجةُ فورانًا يشبهُ البركانَ، أنظرُ الشكلَ (8).

وقدْ تعتمدُ بعضُ تفاعلاتِ التحللِ على استخدامِ التيارِ الكهربائيِّ بدلًا منَ الحرارةِ، فمثلًا، يتحللُ الماءُ تحلُّلاً كهربائيًّا إلى عنصرَي الهيدروجينِ والأكسجينِ، كما يأتي:

$$2H_2O_{(l)} \xrightarrow{\text{تحلل كهربائي}} 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$$



وعادةً يمكنُ تمثيلُ تفاعلاتِ التحللِ بالصورةِ المبسطةِ الآتيةِ:



الشكلُ (8): التحللُ الحراريُّ لمركَّبِ دايكروماتِ الأمونيومِ.

أكتبُ المعادلةَ الكيميائيةَ الموزونةَ للتفاعلِ.

4 ـ تفاعلُ الإحلالِ الأحاديِّ Single Displacement Reaction

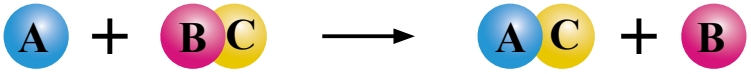
تفاعلُ الإحلالِ الأحاديِّ Single Displacement Reaction؛ هوَ تفاعلٌ يحلُّ فيهِ عنصرٌ نشطٌ محلَّ عنصرٍ آخرَ أقلَّ نشاطًا منهُ في أحدِ مركباته، أو محاليلِ أملاحهِ. فمثلًا، عندَ وضعِ مسمارٍ منَ الحديدِ في محلولِ كبريتاتِ النحاسِ (II)، أنظرُ الشكلَ (9)، فإنَّ عنصرَ الحديدِ يحلُّ محلَّ أيوناتِ النحاسِ في المحلولِ، وينتجُ منْ ذلكَ محلولُ كبريتاتِ الحديدِ (II)، وتترسبُ ذراتُ النحاسِ، ويُعبَّرُ عنِ التفاعلِ كما في المعادلةِ الآتيةِ:

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

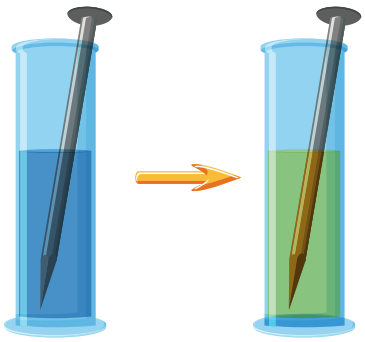
ومنَ الأمثلةِ أيضًا، تفاعلُ عنصرِ النحاسِ معَ محلولِ نتراتِ الفضةِ؛ فتنتجُ نتراتُ النحاسِ، وتترسبُ ذراتُ الفضةِ ؛ كما في معادلةِ التفاعلِ الآتيةِ:

$$Cu_{(s)} + 2AgNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2Ag_{(s)}$$

ويمكنُ عادةً تمثيلُ تفاعلاتِ الإحلالِ بالصورةِ المبسطةِ الآتيةِ:



✓ **أتحقَّقُ:** بِمَ يختلفُ تفاعلُ الاتحادِ عنْ تفاعلِ التحللِ؟



الشكلُ (9): تفاعلُ إحلالِ عنصرِ الحديدِ محلَّ أيوناتِ النحاسِ.

أفكّرُ: لماذا تترسبُ ذراتُ النيكل Ni عندَ وضعِ قطعةٍ منْ عنصرِ الخارصينِ Zn في محلولٍ منْ كبريتاتِ النيكل (II) $NiSO_4$؟ أكتبُ معادلةَ التفاعلِ الحاصلِ.

التجربةُ 3

تفاعلُ الإحلالِ الأحاديِّ

الموادُّ والأدواتُ: كبريتاتُ النحاسِ (II) $CuSO_4$، ماءٌ مقطرٌ، كأسٌ زجاجيةٌ بسعةِ 250 mL، ملعقةٌ، صفيحةُ خارصينٍ Zn.

إرشاداتُ السلامةِ: أرتدي معطفَ المختبرِ، وألبسُ القفازيْنِ، وأضعُ النظاراتِ الواقيةَ.

خطواتُ العملِ:

1. أضعُ ملعقةً منْ كبريتاتِ النحاسِ في الكأسِ الزجاجيةِ، وأضيفُ إليْها 20 mL منَ الماءِ المقطرِ، ثمَّ أحركُ الخليطَ جيدًا؛ حتى يذوبَ تمامًا.
2. أغمسُ صفيحةَ الخارصينِ في المحلولِ منْ (5-10) min.
3. **ألاحظُ** التغيرَ الذي حدثَ لصفيحةِ الخارصينِ والمحلولِ، وأسجلُ ملاحظاتي.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- **أفسرُ:** ماذا حدثَ للونِ صفيحةِ الخارصينِ ولونِ المحلولِ في الكأسِ الزجاجيةِ؟

2- أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونةً للتفاعلِ.

مراجعةُ الدرسِ

1- **الفكرةُ الرئيسةُ:** أوضحُ أهميةَ المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونةِ.

2- أوضحُ المقصودَ بكلٍّ منْ:

- تفاعلِ الاتحادِ.
- التفاعلِ الكيميائيِّ.
- تفاعلِ التحللِ.
- تفاعلِ الاحتراقِ.
- تفاعلِ الإحلالِ الأحاديِّ.
- قانونَ حفظِ الكتلةِ.

3- **أوازنُ** المعادلاتِ الكيميائيةَ الآتيةَ:

$$H_2S_{(g)} + O_{2\,(g)} \rightarrow SO_{2\,(g)} + H_2O_{(g)}$$

$$C_2H_{6\,(g)} + O_{2\,(g)} \rightarrow CO_{2\,(g)} + H_2O_{(g)}$$

$$Fe_2O_{3\,(s)} + CO_{(g)} \rightarrow Fe_{(s)} + CO_{2\,(g)}$$

4- **أصنفُ** التفاعلاتِ الآتيةَ إلى أنواعِها، وهيَ: (الاتحادُ، والتحللُ، والاحتراقُ، والإحلالُ الأحاديُّ):

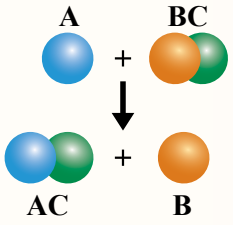
$$S_{(s)} + Mg_{(s)} \rightarrow MgS_{(s)}$$

$$2HgO_{(s)} \xrightarrow{\Delta} 2Hg_{(l)} + O_{2\,(g)}$$

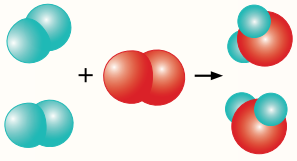
$$2Zn_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2ZnO_{(s)}$$

$$Fe_{(s)} + Pb(NO_3)_{2\,(aq)} \rightarrow Fe(NO_3)_{2\,(aq)} + Pb_{(s)}$$

5- **أميزُ** التفاعلَ الآتيَ الموضحَ في الشكلِ، وأفسرهُ.



6- **أفسرُ** قانونَ حفظِ الكتلةِ باستخدامِ التفاعلِ الآتي:



$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

المولُ والكتلةُ المولية
The Mole and Molar Mass

الدرسُ 2

الفكرةُ الرئيسةُ:
يرتبطُ مفهومُ المولِ بالكتلةِ المولية وكتلةِ الصيغةِ، والكتلةِ الذريةِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:
- أوضحُ مفهومَ المولِ.
- أربطُ بينَ المولِ وعددِ أفوجادرو.
- أتعرفُ الكتلةَ الذريةَ النسبيةَ، والكتلةَ الجزيئيةَ، والكتلةَ المولية وكتلةَ الصيغةِ.
- أوظفُ مفهومَ المولِ في بعضِ الحساباتِ الكيميائيةِ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:
المولُ Mole
عددُ أفوجادرو Avogadro's Number
الكتلةُ المولية Molar Mass (M_r)
الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ Relative Atomic Mass (A_m)
الكتلةُ الجزيئيةُ Molecular Mass (M_m)
كتلةُ الصيغةِ Formula Mass (F_m)

الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ Relative Atomic Mass (RAM)

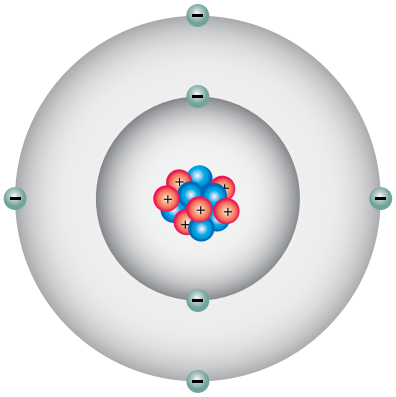
هلْ شاهدتُ والدتي وهيَ تصنعُ قالبًا منَ الحلوى؟ هلِ استخدمتْ أداةَ القياسِ ذاتَها لتحضيرِ جميعِ المكوناتِ؟ هلْ عدَّتْ حباتِ الدقيقِ، أوْ حباتِ السكرِ التي استخدمتْها؟ أنظرُ الشكلَ (10).

لعلّني لاحظتُ اختلافَ وحداتِ القياسِ المستخدمةِ في إعدادِ قالبِ الحلوى بحسبِ المكونِ وطبيعتِهِ؛ فالطحينُ مثلًا يُقاسُ بالكتلةِ، وتعدُّ حباتُ البيضِ بالحبةِ، ويُستخدَمُ مقياسُ الحجمِ للزيوتِ والحليبِ والماءِ، والملعقةُ للكمياتِ الصغيرةِ منَ الملحِ ومنْ كربوناتِ الصوديومِ الهيدروجينيةِ (مسحوقِ الخَبيزِ).

نستخدمُ في حياتِنا اليوميةِ أدواتٍ مختلفةً لقياسِ الأشياءِ منْ حولِنا، فيُستخدَمُ (الميزانُ) لقياسِ الكتلةِ، وتُقاسُ المسافاتُ وأطوالُ الأجسامِ باستخدامِ المترِ أوِ المسطرةِ، ونستخدمُ بعضَ المصطلحاتِ التي تعبِّرُ عنْ عددٍ محددٍ منَ الأشياءِ مثلَ: كلمةِ زوجٍ "pair" التي تدلُّ على العددِ اثنيْنِ (2) من أيِّ شيْءٍ، وكلمةِ دزينةٍ "dozen" للدلالةِ على عددِ اثنَيْ عشرَ (12) من أيِّ شيءٍ قابلٍ للعدِّ، بغضِّ النظرِ عنِ المادةِ المعدودةِ.

الشكلُ (10): مكوناتُ قالبِ حلوى

وقدْ توصلَ العلماءُ إلى أنَّ ذرةَ العنصرِ تتكونُ منْ إلكتروناتٍ وبروتوناتٍ ونيوتروناتٍ متناهيةٍ في الصغرِ، فكتلةُ كلٍّ منَ البروتونِ أوِ النيوترونِ تقريبًا تساوي 1.67×10^{-24}g، وكتلةُ الإلكترونِ تساوي 1/1840 منْ كتلةِ البروتونِ. ولأنَّ كتلةَ الذرةِ صغيرةٌ جدًّا؛ فقدْ وجدَ العلماءُ صعوبةً في التعاملِ معَها باستخدامِ أدواتِ القياسِ الشائعةِ، فلجؤوا إلى طريقةٍ لقياسِ كتلةِ الذرةِ بالنسبةِ إلى كتلةِ ذرةٍ معياريةٍ، وقدِ اعتمدوا ذرةَ الكربونِ ^{12}C التي تحتوي على 6 بروتوناتٍ و 6 نيوتروناتٍ كونَها أساسًا لقياسِ كتلِ الذراتِ الأخرى، أنظرُ الشكلَ (11). وكتلةُ هذهِ الذرةِ تساوي 12 وحدةً سُمِّيَتْ كلٌّ منْها (وحدةَ كتلةٍ ذريةٍ) (amu). وبذلكَ؛ فإنَّ لأيِّ عنصرٍ تساوي $\frac{1}{12}$ منْ كتلةِ ذرةِ الكربونِ ^{12}C.



الشكلُ (11): تركيبُ ذرةِ الكربونِ.

إنَّ كتلةَ الذرةِ تعتمدُ على كتلةِ البروتوناتِ والنيوتروناتِ فيها؛ وبما أنَّ كتلةَ البروتونِ أوِ النيوترونِ تساوي 1 amu تقريبًا، لذا؛ يُتوقَّعُ أنْ تكونَ الكتلةُ الذريةُ للعنصرِ رقمًا صحيحًا، ولكنَّ القيمَ المَقيسةَ تحتوي عادةً على كسورٍ؛ نظرًا إلى وجودِ نظائرَ للعنصرِ لَها كتلٌ مختلفةٌ؛ ولذلكَ فإنَّ متوسطَ كتلِها ليسَ رقمًا صحيحًا. وبهذا تمَّ حسابُ **الكتلةِ الذريةِ النسبيةِ Relative Atomic Mass(A_m)** وهيَ متوسطُ الكتلِ الذريةِ لنظائرِ ذرةِ عنصرٍ ما.

وعندَ حسابِ الكتلةِ الذريةِ النسبيةِ للعنصرِ، يجبُ مراعاةُ نظائرِهِ ونسبِ توافرِها في الطبيعةِ؛ فالكتلُ الذريةُ التي تُستخدَمُ في الجدولِ الدوريِّ تُعبِّرُ عنْ متوسطِ الكتلِ الذريةِ النسبيةِ لنظائرِ ذراتِ العنصرِ. ولتسهيلِ التعاملِ معَها نستخدمُ قيمًا تقريبيةً كما في الأمثلةِ الواردةِ في الجدولِ (1).

وتُقاسُ الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ بوحدةِ الكتلِ الذريةِ amu. أو (g).

الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ A_m = (الكتلةَ الذريةَ للنظيرِ 1 $\times$ $\frac{\text{نسبةِ توافرِهِ في الطبيعةِ}}{100}$)

+ (الكتلةُ الذريةُ للنظيرِ 2 $\times$ $\frac{\text{نسبةِ توافرِهِ في الطبيعةِ}}{100}$).

$$A_m = (A_{m_1} \times \frac{I_1}{100}) + (A_{m_2} \times \frac{I_2}{100})$$

النظائرُ: ذراتُ العنصرِ نفسِهِ لها العددُ الذريُّ نفسُه وتختلفُ في العددِ الكتليِّ.

الجدولُ (1): الكتلُ الذريةُ النسبيةُ والتقريبيةُ لبعضِ الذراتِ.

العنصرُ	الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ	الكتلةُ الذريةُ التقريبيةُ
H	1.008	1
N	14.007	14
O	15.999	16
Na	22.989	23

الكتلةُ الذريةُ للنظيرِ 1: A_{m_1}
الكتلةُ الذريةُ للنظيرِ 2: A_{m_2}
نسبةُ توافرِ النظيرِ 1: I_1
نسبةُ توافرِ النظيرِ2: I_2

المثالُ 3

إذا علمتُ أنَّ منْ نظائرِ عنصرِ الليثيوم في الطبيعةِ النظيرَ $^{6}_{3}Li$ ، وأنَّ كتلتَهُ الذريةَ = 6.02 بنسبةِ 7.5 %، والنظيرَ $^{7}_{3}Li$ وأنَّ كتلتَهُ الذريةَ 7.02 بنسبةِ 92.5 %، فأحسبُ الكتلةَ الذريةَ النسبيةَ لعنصرِ الليثيومِ.

الحلُّ:

$$A_m = \left(\frac{7.5}{100} \times 6.02\right) + \left(\frac{92.5}{100} \times 7.02\right)$$

$$A_m = 0.4515 + 6.4935 = 6.945 \text{ amu}$$

الكتلةُ الجزيئيةُ Molecular Mass (M_m)

تختلفُ المركباتُ الكيميائيةُ بحسبِ أنواعِ الذراتِ المكونةِ لَها وأعدادِها. وبمعرفةِ الصيغةِ الجزيئيةِ للمركبِ، فإنَّهُ يمكنُ حسابُ الكتلةِ الجزيئيةِ للجزيءِ الواحدِ في المركبِ التساهميِّ.

عددُ الجسيماتِ: N

الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ: Am

وتُعرَّفُ **الكتلةُ الجزيئيةُ Molecular Mass (M_m)** بأنَّها مجموعُ الكتلِ الذريةِ للذراتِ الموجودةِ في الجزيءِ الذي ترتبطُ ذراتهُ بروابطَ تساهميةٍ مقيسةٍ بوحدةِ amu فمثلًا الكتلةُ الجزيئيةُ لجزيءِ الماءِ H_2O تُحسَبُ كما يأتي:

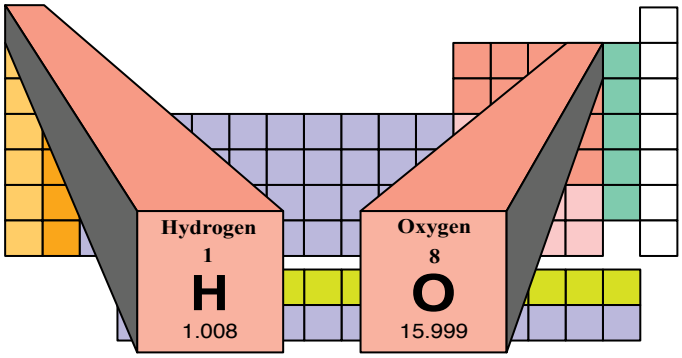
الكتلةُ الجزيئيةُ M_m = (الكتلةَ الذريةَ للهيدروجينِ × عددِ الذراتِ) + (الكتلةُ الذريةُ للأكسجينِ × عددِ الذراتِ)

$$M_m = Am_H \times N + Am_O \times N$$

$$M_m = (1 \times 2) + (16 \times 1) = 18 \text{ amu}$$

ويوضحُ الشكلُ (12) الكتلَ الذريةَ النسبيةَ للهيدروجينِ والأكسجينِ.

أتحقَّقُ: أحسبُ الكتلةَ الجزيئيةَ لجزيءِ الجلوكوزِ $C_6H_{12}O_6$.



الشكلُ (12): الكتلُ الذريةُ النسبيةُ للهيدروجينِ والأكسجينِ.

المثالُ 4

أحسبُ الكتلةَ الجزيئيةَ للجزيءِ HNO_3 علمًا بأنَّ الكتلَ الذريةَ لذراتِ العناصرِ بوحدةِ amu هيَ: (O = 16 , N = 14 , H = 1).

الحلُّ:

يُلاحَظُ أنَّ الجزيءَ HNO_3 يتكونُ منْ ذرةِ هيدروجينٍ H وذرةِ نيتروجينٍ N، وثلاثِ ذراتِ أكسجينٍ O، وبذلكَ نحسبُ الكتلةَ الجزيئيةَ لهُ على النحوِ الآتي:

الكتلةُ الجزيئيةُ = (الكتلةَ الذريةَ للهيدروجينِ × عددِ الذراتِ) + (الكتلةُ الذريةُ للنيتروجينِ × عددِ الذراتِ) + (الكتلةُ الذريةُ للأكسجينِ × عددِ الذراتِ).

$$Mm = Am_H \times N + Am_N \times N + Am_O \times N$$
$$= (1 \times 1) + (14 \times 1) + (16 \times 3)$$
$$= 1 + 14 + 48 = 63 \text{ amu}$$

كتلةُ الصيغةِ Formula Mass (Fm)

ترتبطُ الأيوناتُ الموجبةُ والسالبةُ بروابطَ أيونيةٍ، وتُسمّى الصيغةُ الكيميائيةُ للمركبِ الأيونيِّ وحدةَ الصيغةِ الكيميائيةِ Chemical Formula Unit وتمثلُ أبسطَ نسبةٍ للأيوناتِ في المركبِ الأيونيِّ. ويُعرَفُ مجموعُ الكتلِ الذريةِ للعناصرِ في وحدةِ الصيغةِ الكيميائيةِ **بكتلةِ الصيغةِ Formula Mass (Fm)**، وتُقاسُ بوحدةِ amu. تُحسَبُ كتلةُ الصيغةِ بالطريقةِ نفسِها المتبعةِ لحسابِ الكتلةِ الجزيئيةِ.

✓ **أتحقَّقُ:** أحسبُ كتلةَ الصيغةِ للمركبِ NaCl.

المثالُ 5

أحسبُ كتلةَ الصيغةِ للمركبِ $Al(NO_3)_3$

الحلُّ:

الكتلُ الذريةُ بوحدة amu: (Al = 27 , N = 14 , O = 16)

$$Mm = Am_{Al} \times N + Am_N \times N + Am_O \times N$$
$$Fm = (27 \times 1) + (14 \times 3) + (16 \times 9)$$
$$= 27 + 42 + 144 = 213 \text{ amu}$$

المولُ The Mole

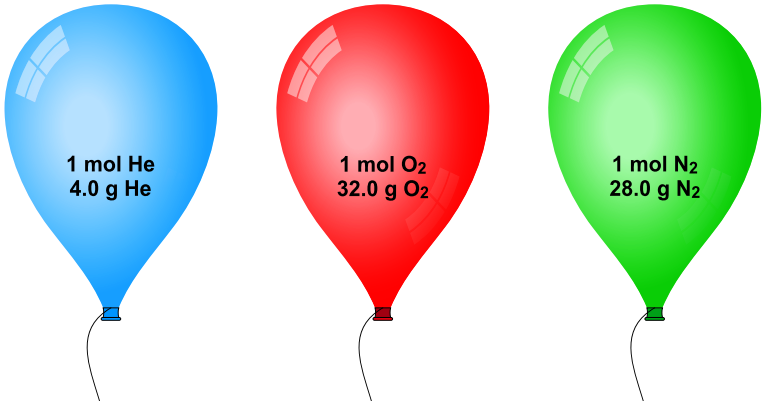
تُسمّى الوحدةُ الدوليةُ التي تُستخدَمُ في قياسِ كميةِ المادةِ **المولَ (Mole)**، ويساوي عددَ ذراتِ الكربونِ ^{12}C التي توجدُ في 12 g منهُ. وقدْ توصلَّ الفيزيائيُّ الإيطاليُّ أفوجادرو إلى أنَّ المولَ الواحدَ منَ المادةِ يحوي 6.022×10^{23} منَ الذراتِ أوِ الجزيئاتِ أوِ الأيوناتِ أوِ وحداتِ الصيغةِ. وسُمّيَ هذا العددُ **عددَ أفوجادرو Avogadro's Number** تكريمًا لهُ، ويُرمَزُ إليهِ بالرمزِ N_A.

يختلفُ المولُ الواحدُ لكلٍّ منَ الحديدِ وملحِ الطعامِ والماءِ في أنواعِ الجسيماتِ وكتلِها التي يتكونُ منْها، كما يبينُ الشكلُ (13).

الشكلُ (13): مولٌ واحدٌ منْ عناصرَ مختلفةٍ.

وبناءً عليهِ؛ فإنَّ كتلةَ المولِ الواحدِ تختلفُ منْ مادةٍ إلى أخرى، إلّا أنَّها تحوي العددَ نفسَهُ منَ الجسيماتِ N يساوي عددَ أفوجادرو، مثلًا كتلةُ مولٍ منَ الهيليومِ 4 g تحوي عددَ أفوجادرو منْ ذراتِ الهيليومِ، وكتلةُ مولٍ منَ الأكسجينِ 32 g تحوي عددَ أفوجادرو من جزيئاتِ الأكسجينِ، كما يبينُ الشكلُ (14).

اصْطُلِحَ على استخدامِ مفهومِ **الكتلةِ المولية Molar Mass** للدلالةِ على كتلةِ المولِ الواحدِ منَ المادةِ؛ ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (M_r) وتُقاسُ بوحدةِ g/mol، فمثلًا، كتلةُ المولِ الواحدِ منْ ذراتِ العنصرِ تُسمّى الكتلةَ المولية للعنصرِ، وهيَ تساوي عدديًّا كتلتَهُ الذريةَ، فمثلًا، إنَّ مولًا واحدًا منْ ذراتِ عنصرِ المغنيسيومِ يحوي عددَ أفوجادرو منْ ذراتِ المغنيسيومِ، وكتلتهُ 24 g.



الشكلُ (14): كتلةُ مولٍ واحدٍ منْ عناصرِ الهيليومِ والأكسجينِ والنيتروجينِ.

وكتلةُ المولِ الواحدِ من الجزيء تُسمّى الكتلةَ المولية للجزيء، وتساوي عدديًّا كتلتَهُ الجزيئيةَ، فمثلًا، مولٌ واحدٌ من جزيئاتِ CO_2 يحوي عددَ أفوجادرو من جزيئاتِ CO_2 وكتلتهُ 44 g.

ويرتبطُ عددُ المولاتِ Moles (n) بعلاقةٍ رياضيةٍ معَ عددِ أفوجادرو (N_A) وعددِ الجسيماتِ (N) منَ الذراتِ أوِ الجزيئاتِ أوِ الأيوناتِ أوْ وحداتِ الصيغةِ، كما يأتي:

عددُ الجسيماتِ = عددَ المولاتِ × عددِ أفوجادرو

$$N = N_A \times n$$

أفكّرُ: ما نوعُ الجسيماتِ في كلٍّ ممّا يأتي:

$NaCl$ ، K^+ ، N_2 ، Na؟

وكذلكَ يرتبطُ عددُ مولاتِ المادةِ (n)، بكتلةِ المادةِ (m) مقيسةً بوحدةِ g وكتلتُها المولية (M_r)، كما يأتي:

عددُ المولاتِ = كتلةَ المادةِ / كتلتِها المولية

$$n = \frac{m}{M_r}$$

المثالُ 6

أحسبُ عددَ مولاتِ الكربونِ في عينةٍ منه تحتوي على 3.01×10^{23} ذراتٍ.

الحلُّ:

عددُ مولاتِ الكربونِ = عددَ ذراتِ الكربونِ / عددِ أفوجادرو

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{3.01 \times 10^{23}}{6.022 \times 10^{23}} = 0.5 \text{ mol}$$

المثالُ 7

أحسبُ عددَ الجزيئاتِ الموجودةِ في 3 mol منْ غازِ الميثانِ CH_4:

الحلُّ:

$$N = N_A \times n$$
$$= 6.02 \times 10^{23} \times 3$$
$$= 1.806 \times 10^{24} \text{ جزيء}$$

المثالُ 8

أحسبُ كتلةَ مول منْ جزيئاتِ H_2O؛ علمًا بأنَّ الكتلةَ الذريةَ بوحدةِ amu لكلٍّ منْ O = 16, H = 1

الحلُّ:

كتلةُ مول من جزيئاتِ الماءِ تمثّلُ كتلتَه المولية وتُحسبُ بطريقةِ حسابِ الكتلةِ الجزيئيةِ نفسِها.

$$M_r = (16 \times 1) + (1 \times 2) = 18 \text{ g/mol}$$

✓ أتحقَّقُ:

عينةٌ منْ مركبٍ ما كتلتُها 4 g، والكتلةُ المولية M_r للمركبِ؛ 40 g/mol

فما عددُ المولاتِ n؟

مراجعةُ الدرسِ

1- **الفكرةُ الرئيسةُ:** أوضحُ العلاقةَ بينَ الكتلةِ الجزيئيةِ والكتلةِ المولية.

2- أوضحُ المقصودَ بكلٍّ منَ:

- الكتلةِ الذريةِ.
- الكتلةِ الجزيئيةِ.
- الكتلةِ الموليةِ.
- كتلةِ الصيغةِ.
- المولِ.

3- **أحسبُ** الكتلةَ الموليةَ (M_r) لكلٍّ منْ CH_4 , C_2H_5OH. علمًا بأن الكتل الذرية بوحدة amu (C = 12, H =1, O = 16).

4- **أحسبُ** كتلةَ الصيغةِ (F_m) للمركبيْنِ: $Mg(NO_3)_2$ ، $Ca(OH)_2$. علمًا بأن الكتل الذرية بوحدة amu (Ca = 40, H = 1, O = 16, Mg = 24, N = 14).

5- **أحسبُ** عددَ المولاتِ (n) الموجودةِ في 72 g منْ عنصرِ المغنيسيومِ.

6- **أحسبُ** كتلةَ 0.1 mol منْ ذراتِ الألمنيومِ.

7- **أحسبُ** عددَ جزيئاتِ NH_3 الموجودةِ في 2 mol منْها.

8- **أحسبُ** عددَ ذراتِ عنصرِ البوتاسيومِ K الموجودةِ في 1×10^3 mol منهُ؟

9- أكملُ الجدولَ الآتيَ المتعلق بالتفاعل: $H_{2\,(g)} + Cl_{2\,(g)} \rightarrow 2HCl_{(g)}$

	HCl	Cl_2	H_2
عددُ المولاتِ n			
عددُ الجزيئاتِ N			
الكتلةُ المولية M_r			

الحساباتُ الكيميائيةُ
Stoichiometry

الفكرةُ الرئيسةُ:

يمكنُ حسابُ نسبِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ وكمياتِها في التفاعلاتِ المختلفةِ بالاعتمادِ على المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونةِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أحسبُ النسبةَ المئويةَ لكتلةِ عنصرٍ في مركبٍ.
- أحددُ الصيغةَ الأوليةَ والصيغةَ الجزيئيةَ للمركبِ .
- أحسبُ عددَ مولاتِ مركبٍ وكتلتَهُ المتفاعلةَ أوِ الناتجةَ.
- أحسبُ المردودَ المئويَّ للتفاعلِ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

النسبةُ المئويةُ بالكتلةِ Percent Composition

الصيغةُ الأوليةُ Empirical Formula

الصيغةُ الجزيئيةُ Molecular Formula

النسبةُ المولية Mole Ratio

المردودُ المئويُّ Percentage Yield

المردودُ المتوقع Predict Yield

المردودُ الفعليِّ Yield Actual

الحساباتُ المبنيةُ على الكميات
Calculations Based on Quantities

تُعدُّ المعادلةُ الكيميائيةُ الموزونةُ الركيزةَ الأساسيةَ للحساباتِ الكيميائيةِ، ويمكنُ عنْ طريقِها تحديدُ عددِ مولاتِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ؛ فيسهمُ في تحديدِ كتلِها بدقةٍ، وكذلكَ في تحديدِ النسبةِ المئويةِ لكتلةِ عنصرٍ في مركبٍ، وتحديدِ المردودِ المئويِّ لناتجِ تفاعلٍ ما.

النسبةُ المئويةُ لكتلةِ العنصرِ Percent Composition

عندَ تفحصكَ بطاقةَ المعلوماتِ الملصقةَ على عبواتِ ماءِ الشربِ مثلًا، ستلاحظُ أنَّهُ مكتوبٌ عليْها أسماءُ الموادِّ المكونةِ لهُ، ونسبةُ وجودِها في حجمٍ معينٍ في العبوةِ. ويشبهُ هذا الحالُ المركباتِ الكيميائيةَ؛ حيثُ تتكونُ منْ عناصرَمحددةٍ بنسبٍ معينةٍ. ويُجري بعضُ الكيميائيين الأبحاثَ المتنوعةَ لمعرفةِ المُكوناتِ الأساسيةِ للمادةِ لتحديدِ العناصرِ الداخلةِ في تركيبِها، والنسبةِ المئويةِ لكتلِ هذهِ العناصرِ؛ فيسهمُ في معرفةِ الصيغةِ الكيميائيةِ للمركبِ وتطويرِ خصائصِهِ وتحسينِها. وتُعرَّفُ **النسبةُ المئويةُ لكتلةِ العنصرِ Percent Composition** بأنَّها نسبةُ كتلةِ العنصرِ في المركبِ إلى الكتلةِ الكليةِ للمركبِ. وتُحسَبُ هذهِ النسبةُ لأيِّ عنصرٍ بقسمةِ كتلةِ العنصرِ على كتلةِ المركبِ مضروبةً في (100%)، ويمكنُ التعبيرُعن ذلكَ بالقانونِ الآتي:

$$\text{النسبةُ المئويةُ بالكتلةِ (للعنصرِ)} = \frac{\text{كتلةَ العنصرِ}}{\text{كتلةِ المركبِ}} \times 100\%$$

$$\text{Percent Composition} = \frac{m.\text{element}}{m.\text{Compound}} \times 100\%$$

المثالُ 9

عينةٌ نقيةٌ منْ مركبِ كبريتيدِ الحديدِ FeS تكونتْ منْ تفاعلِ 6.4 g منْ عنصرِ الحديدِ معَ 3.2 g منْ عنصرِ الكبريتِ. أحسبُ النسبةَ المئويةَ بالكتلةِ لكلٍّ منَ العنصريْنِ Fe و S في العينةِ؟

الحلُّ:

أحسبُ كتلةَ المركبِ كبريتيدِ الحديدِ FeS كما يأتي:

$$m\,(\text{FeS}) = m\,(\text{Fe}) + m\,(\text{S})$$
$$= 6.4 + 3.2$$
$$= 9.6\ \text{g}$$

- أحسبُ النسبةَ المئويةَ بالكتلةِ لعنصرِ Fe كما يأتي:

$$\text{Fe}\% = \frac{m.\text{element}}{m.\text{Compound}} \times 100\%$$
$$= \frac{6.4}{9.6} \times 100\% = 67\%$$

- أحسبُ النسبةَ المئويةَ بالكتلةِ لعنصرِ S كما يأتي:

$$\text{S}\% = \frac{3.2}{9.6} \times 100\% = 33\%$$

يُلاحَظُ أنَّ مجموعَ النسبِ المئويةِ بالكتلةِ للعناصرِ المكونةِ للمركبِ تساوي 100%.

وبمعرفةِ صيغةِ المركبِ وكتلتهِ المولية يمكنُ حسابُ نسبةِ العنصرِ في المثالِ الآتي:

المثالُ 10

أحسبُ النسبةَ المئويةَ لكلٍّ منْ عنصريِ الكربونِ والهيدروجينِ في جزيءِ الغلوكوز الذي صيغتهُ $C_6H_{12}O_6$ وكتلتهُ المولية؛ 180 g/mol علمًا بأنَّ الكتلَ الذريةَ بوحدةِ amu (C = 12 , O = 16 , H = 1).

الحلُّ:

$$\text{C}\% = \frac{72}{180} \times 100\% = 40\%$$

$$\text{H}\% = \frac{12}{180} \times 100\% = 6.67\%$$

أتحقَّقُ:

1- أحسبُ النسبةَ المئويةَ بالكتلةِ لعنصرِ H في مركبٍ كتلتهُ 4.4 g ويحتوي على 0.8 g منهُ.

2- أحسبُ النسبةَ المئويةَ لعنصرِ الأكسجينِ في جزيءِ الغلوكوز الذي صيغتهُ $C_6H_{12}O_6$.

الصيغةُ الكيميائيةُ للمركبِ Chemical Formula

تعدُّ الصيغةُ الكيميائيةُ للمركبِ طريقةً للتعبيرِ عنْ عددِ ذراتِ العناصرِ المكونةِ لهُ ونوعِها؛ حيثُ يظهرُ في الصيغةِ الرمزُ الكيميائيُّ للعنصرِ، وعددُ ذراتِهِ.

الصيغةُ الأوليةُ Empirical Formula

تُسمّى الصيغةُ التي تدلُّ على أبسطِ نسبةٍ عدديةٍ صحيحةٍ بينَ ذراتِ العناصرِ المكونةِ للمركبِ **الصيغةَ الأوليةَ Empirical Formula**، ويمكنُ حسابُها مثلَما في المثالَينِ الآتيينِ:

المثالُ 11

ما الصيغةُ الأوليةُ لمركبٍ هيدروكربونيٍّ يحتوي على (60 g) كربونًا، و (20 g) هيدروجينًا؛ علمًا بأنَّ الكتلَ الذريةَ بوحدةِ amu (H = 1 ,C = 12)؟

الحلُّ: أتبعُ الإجراءاتِ المبسطةَ الآتيةَ:

	C	H
أكتبُ كتلةَ كلِّ عنصرٍ منَ العناصرِ المذكورةِ في السؤالِ.	60	20
أجدُ عددَ مولاتِ كلِّ عنصرٍ؛ حيثُ $(n = \frac{m}{M_r})$.	$\frac{60}{12} = 5$	$\frac{20}{1} = 20$
أجدُ أبسطَ نسبةٍ عدديةٍ صحيحةٍ (أقسمُ عددَ مولاتِ العنصرِ على القيمةِ الأقلِّ لعددِ المولاتِ).	$\frac{5}{5} = 1$	$\frac{20}{5} = 4$

ولأنَّ النسبةَ بينَ ذراتِ C : H هيَ 1:4 على الترتيبِ؛ فإنَّ الصيغةَ الأوليةَ للمركبِ هيَ CH_4.

المثالُ 12

ما الصيغةُ الأوليةُ لمركبٍ يتكونُ منْ 40 % منَ الكالسيومِ، و 12% منَ الكربونِ، و 48 % منَ الأكسجينِ؛ علمًا بأنَّ الكتلةَ الذريةَ بوحدةِ amu (Ca = 40 ,O = 16 ,C = 12)؟

الحلُّ:

	Ca	C	O
أكتبُ النسبةَ المئويةَ لكلِّ عنصرٍ.	40	12	48
$(n = \frac{m}{M_r})$.	$\frac{40}{40} = 1$	$\frac{12}{12} = 1$	$\frac{48}{16} = 3$
أجدُ أبسطَ نسبةٍ عدديةٍ صحيحةٍ (أقسمُ عددَ مولاتِ العنصرِ على القيمةِ الأقلِّ لعددِ المولاتِ).	1	1	3

وبذلكَ تكونُ الصيغةُ الأوليةُ للمركبِ $CaCO_3$.

الصيغةُ الجزيئيةُ Molecular Formula

منَ المُلاحَظِ أنَّ الصيغةَ الأوليةَ تدلُّ على أبسطِ نسبةٍ عدديةٍ صحيحةٍ لذراتِ العناصرِ في المركبِ، وقدْ لا تُبيِّنُ العددَ الفعليَّ لهذهِ الذراتِ؛ فمثلًا، قدْ تكونُ الصيغةُ الأوليةُ لأحدِ الجزيئاتِ CH_3، ولكنْ، لا يوجدُ في الطبيعةِ جزيءٌ صيغتهُ CH_3، وإنَّما مضاعفاتٌ منْ عددِ ذراتِ الكربونِ والهيدروجينِ، وفي الواقعِ فإنَّ الجزيءَ الواحدَ منْ هذا المركبِ يحتوي على ستِّ ذراتِ H وذرتَيْ C، وعليهِ، تكونُ صيغتهُ الفعليةُ C_2H_6، وتُسمّى **الصيغةَ الجزيئيةَ Molecular Formula** للمركبِ، وهيَ صيغةٌ تُبيِّنُ الأعدادَ الفعليةَ للذراتِ وأنواعَها.

ولمعرفةِ الصيغةِ الجزيئيةِ للمركبِ يجبُ تحديدُ الكتلةِ الموليةِ لهُ عبرَ التجاربِ العمليةِ أولًا، ومنْ ثَمَّ مقارنتُها بكتلةِ الصيغةِ الأوليةِ. فمثلًا، لوْ كانتِ الكتلةُ المولية للجزيءِ CH_3 15 g/mol فإنَّ صيغتَهُ الأوليةَ هي صيغتُهُ الجزيئيةُ، في حينِ أنَّهُ إذا كانتْ كتلتُهُ المولية 30 g/mol فتكونُ صيغتُهُ الجزيئيةُ C_2H_6.

المثالُ 13

ما الصيغةُ الأوليةُ، والصيغةُ الجزيئيةُ لمركبٍ هيدروكربونيٍّ يتكونُ منْ 85.7% منَ الكربونِ، و 14.3% منَ الهيدروجينِ، علمًا بأنَّ الكتلَ الذريةَ بوحدةِ amu (H = 1 ,C = 12)، والكتلةَ المولية للمركبِ 56 g/mol؟

الحلُّ:

	C	H
أكتبُ النسبةَ المئويةَ لكلِّ عنصرٍ.	85.7	14.3
أجدُ عددَ المولاتِ n.	$\frac{85.7}{12} = 7.1$	$\frac{14.3}{1} = 14.3$
أجدُ أبسطَ نسبةٍ عدديةٍ صحيحةٍ.	$\frac{7.1}{7.1} = 1$	$\frac{14.3}{7.1} = 2$

العددُ الفعليُّ للذراتِ: N

عددُ الذراتِ في الصيغةِ الأوليةِ: $N.\ emp$

كتلةُ الصيغةِ الأوليةُ: $m.\ emp$

أستنتجُ أنَّ الصيغةَ الأوليةَ للمركبِ هيَ CH_2، وكتلةَ هذهِ الصيغةِ 14 g، ولأنَّ الكتلةَ المولية للمركبِ 56 g/mol، فإنَّ العددَ الفعليَّ للذراتِ يُحسَبُ على النحوِ الآتي:

$$\text{العددُ الفعليُّ للذراتِ} = \text{عددُ ذراتِ العنصرِ في الصيغةِ الأوليةِ} \times \frac{\text{الكتلةُ المولية للمركبِ}}{\text{كتلةُ الصيغةِ الأوليةِ}}$$

$$N = N.\ \text{emp} \times \frac{M_r}{m.\text{emp}}$$

$$N_C = 1 \times \frac{56}{14} = 4 \qquad N_H = 2 \times \frac{56}{14} = 8$$

وبذلكَ تكونُ الصيغةُ الجزيئيةُ C_4H_8

أتحقَّقُ: ما الصيغةُ الجزيئيةُ لمركبٍ كتلتُهُ المولية 58 g/mol، وصيغتُهُ الأوليةُ C_2H_5 علمًا بأنَّ الكتلَ الذريةَ بوحدةِ amu (H = 1 ,C = 12)؟

الحساباتُ المبنيةُ على المولِ- الكتلةِ

Calculations based on Mole - Mass

يُستخدَمُ مفهومُ المولِ في الحساباتِ الكيميائيةِ كونَهُ وحدةَ قياسٍ للمادةِ؛ إذْ تُستخدَمُ المعادلةُ الكيميائيةُ الموزونةُ لتحديدِ عددِ مولاتِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ. فعلى سبيلِ المثالِ في المعادلةِ الموزونةِ.

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

يُلاحَظُ منَ المعادلةِ أنَّهُ عندِ تفاعلِ 3 mol منْ H_2 معَ 1 mol منِ N_2 فإنَّهُ ينتجُ 2 mol من NH_3، وتكونُ النسبةُ بينَ عددِ المولاتِ ($H_2 : N_2 : NH_3$ هي 3 : 1 : 2) على الترتيبِ، وتُسمّى **النسبةَ المولية** **Mole Ratio** وهيَ: النسبةُ بينَ عددِ مولاتِ مادةٍ إلى عددِ مولاتِ مادةٍ أخرى، ويمكنُ كتابةُ النسبةِ الموليةِ للهيدروجينِ مثلًا H_2 بدلالةِ عددِ مولاتهِ إلى عددِ مولاتِ النيتروجينِ N_2، كما يأتي:

$$\frac{n\ H_2}{n\ N_2} = \frac{3}{1}$$

أيضًا، يمكنُ كتابةُ النسبةِ الموليةِ للهيدروجينِ H_2 بدلالةِ عددِ مولاتهِ إلى عددِ مولاتِ NH_3، كما يأتي:

$$\frac{n\ H_2}{n\ NH_3} = \frac{3}{2}$$

وكذلكَ الحالُ عندَ كتابةِ النسبةِ الموليةِ للنيتروجينِ N_2 بدلالةِ H_2 أو NH_3.

$$\frac{n\ N_2}{n\ H_2} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{n\ N_2}{n\ NH_3} = \frac{1}{2}$$

حساباتُ (المولِ – المولِ) Calculations Mole-Mole

تُستخدَمُ النسبةُ المولية في تحويلِ عددِ مولاتِ المادةِ المعلومةِ إلى عددِ مولاتِ المادةِ الأخرى المطلوبِ حسابُها في المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونةِ، وعلى سبيلِ المثالِ في المعادلةِ السابقةِ عندَ تفاعلِ 0.1 mol منَ الهيدروجينِ فإنَّهُ يمكنُ حسابُ عددِ مولاتِ النيتروجينِ المتفاعلةِ على النحوِ الآتي:

نحددُ النسبةَ المولية للمادةِ المطلوبةِ، وهيَ النيتروجينُ N_2.

$$\frac{n\ N_2}{n\ H_2} = \frac{1}{3}$$

نحسبُ عددَ مولاتِ النيتروجينِ اللازمةِ للتفاعلِ، وذلكَ بضربِ نسبتِهِ المولية في عددِ مولاتِ الهيدروجينِ المعطاةِ في السؤالِ، كما يأتي:

$$n\ N_2 = \frac{1}{3} \times 0.1\ mol\ H_2 = 0.03\ mol\ N_2$$

المثالُ 14

في المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونةِ الآتيةِ:

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

أحسبُ عددَ مولاتِ H_2O الناتجةِ منْ تفاعلِ 4 mol منْ O_2 معَ كميةٍ كافيةٍ منَ الهيدروجينِ.

الحلُّ:

بالرجوعِ إلى المعادلةِ الكيميائيةِ الموزونةِ، أجدُ النسبةَ المولية H_2O بدلالةِ O_2 كالآتي:

$$\frac{n\ H_2O}{n\ O_2} = \frac{2}{1}$$

ولحسابِ عددِ مولاتِ H_2O الناتجةِ، أضربُ النسبةَ المولية لَها في عددِ مولاتِ O_2 المُعطاةِ في السؤالِ، كما يأتي:

$$n\ H_2O = \frac{2}{1} \times 4\ mol\ O_2 = 8\ mol\ H_2O$$

حساباتُ (مولٍ – كتلةٍ) Mass- Mole Calculations

يُلاحَظُ مما سبقَ أنَّ المعادلةَ الكيميائيةَ الموزونةَ تشيرُ إلى نسبِ أَعدادِ مولاتِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ. وحيثُ يمثلُ المولُ الواحدُ منْ أيةِ مادةٍ الكتلةَ المولية لَها؛ فإنَّهُ يمكنُ حسابُ كتلِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ في المعادلةِ الموزونةِ بمعرفةِ عددِ مولاتِها، ففي المعادلةِ الموزونةِ الآتيةِ مثلًا:

$$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$$
$$2mol \quad 1mol \quad 2mol$$

يُلاحَظُ أَنَّهُ تفاعَلَ 2 mol منْ Mg معَ 1 mol منْ O_2 لتكوينِ 2 mol منْ MgO، وبتحويلِ مولاتِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ إلى كتلٍ، ينتجُ:

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$
$$2 \times 24g \quad 32g \quad 2 \times 40g$$
$$48g \quad 32g \quad 80g$$

يُلاحظُ أنَّ مجموعَ كتلِ الموادِّ المتفاعلةِ يساوي كتلةَ المادةِ الناتجةِ، وهذا يتفقُ معَ قانونِ حفظِ الكتلةِ.

$M_{r(Mg)} = 24$ g/mol

$M_{r(O_2)} = 32$ g/mol

$M_{r(MgO)} = 40$ g/mol

المثالُ 15

في معادلةِ التفاعلِ الموزونةِ: $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)}$

أحسبُ كتلةَ H_2 اللازمةَ للتفاعلِ معَ 7 mol منْ O_2، علمًا بأنَّ كتلةَ 1 mol منْ H_2 تساوي 2 g/mol.

الحلُّ:

بالرجوعِ إلى معادلةِ التفاعلِ الموزونةِ أجدُ أنَّ النسبةَ المولية لـ H_2 هيَ:

$$\frac{n\ H_2}{n\ O_2} = \frac{2}{1}$$

أستخدمُ النسبةَ المولية لتحويلِ مولاتِ O_2 إلى مولاتِ H_2 المطلوبةِ كما يأتي:

$$n\ H_2 = \frac{2}{1} \times 7\ mol\ O_2 = 14\ mol\ H_2$$

فإنَّهُ يمكنُ تحويلُ مولاتِ الهيدروجينِ إلى كتلةٍ كما يأتي:

$$m\ H_2 = \frac{2\ g\ H_2}{1\ mol\ H_2} \times 14\ mol\ H_2 = 28\ g\ H_2$$

المثالُ 16

أحسبُ كتلةَ Fe الناتجةَ منْ تفاعلِ 9 mol منَ الكربونِ C، وفقَ المعادلةِ الموزونةِ الآتيةِ: (علمًا بأنَّ كتلةَ المولِ: Fe = 56 g/mol)

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

الحلُّ:

$$\frac{n\ Fe}{n\ C} = \frac{2}{3}$$

$$n\ Fe = \frac{2}{3} \times 9\ mol\ C = 6\ mol\ Fe$$

$$m\ Fe = \frac{56\ g\ Fe}{1\ mol\ Fe} \times 6\ mol\ Fe = 336\ g\ Fe$$

حساباتُ (كتلةٍ – كتلةٍ) Mass - Mass Calculations

منَ المُلاحَظِ في ما سبقَ أنَّهُ بمعرفةِ عددِ مولاتِ المادةِ المتفاعلةِ أوِ الناتجةِ والنسبةِ المولية لَها، يمكنُ حسابُ عددِ مولاتِ مادةٍ أخرى وكتلتِها. وبهذا؛ يمكنُ أيضًا حسابُ كتلةِ مادةٍ متفاعلةٍ أوْ ناتجةٍ عنْ طريقِ معرفةِ كتلةِ مادةٍ أخرى في المعادلةِ الموزونةِ كالآتي:

المثالُ 17

في معادلةِ التفاعلِ الآتيةِ: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$

أحسبُ كتلةَ الأمونيا NH_3 الناتجةَ منْ تفاعلِ 56g منَ النيتروجينِ، والكتلَ الذريةَ بوحدةِ amu (H = 1 , N = 14)

الحلُّ:

أحوِّلُ كتلةَ النيتروجينِ المعلومةَ في السؤالِ إلى مولاتٍ:

$$n\ N_2 = 56\ g\ N_2 \times \frac{1\ mol\ N_2}{28\ g\ N_2} = 2\ mol\ N_2$$

أجدُ النسبةَ المولية لـ NH_3

$$\frac{n\ NH_3}{n\ N_2} = \frac{2}{1}$$

أحسبُ عددَ مولاتِ NH_3:

$$n\ NH_3 = \frac{2}{1} \times 2mol\ N_2 = 4\ mol\ NH_3$$

ومنْها أحسبُ كتلتَها:

$$m\ NH_3 = \frac{17\ g\ NH_3}{1\ mol\ NH_3} \times 4\ mol\ NH_3 = 68\ g\ NH_3$$

✓ **أتحقَّقُ:** اعتمادًا على المعادلةِ الموزونةِ الآتيةِ: $2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$

1 – أحسبُ عددَ مولاتِ O_2 اللازمةِ للتفاعلِ مع 5 mol منْ عنصرِ Mg.

2 – أحسبُ كتلةَ MgO الناتجةَ منِ احتراقِ 6g منْ عنصرِ Mg احتراقًا تامًّا، بوجودِ كميةٍ كافيةٍ منَ الأكسجينِ.

المردودُ المئويُّ Percentage Yield

تعلمتُ في الحساباتِ السابقةِ حسابَ كميةِ مادةٍ ناتجةٍ منَ التفاعلِ منْ معرفةِ كميةِ مادةٍ أخرى في التفاعلِ، ومعادلةِ التفاعلِ الكيميائيةِ الموزونةِ، وتُسمّى كميةُ المادةِ الناتجةُ المحسوبةُ منَ التفاعلِ **المردودَ المتوقعَ (النظريَّ) Predict Yield** ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (P_y). أمّا كميةُ المادةِ الناتجةُ فعليًّا منَ التفاعلِ التي يحددُها الكيميائيُّ منَ التجاربِ الدقيقةِ فتُسمّى **المردودَ الفعليَّ (الحقيقيَّ) Actual Yield**. ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (A_y).

أفكّرُ: لماذا تكونُ نسبةُ المردودِ الفعليِّ أقلَّ بشكلٍ عامٍّ منْ نسبةِ المردودِ المتوقعِ؟

وبمعرفةِ المردودِ النظريِّ والمردودِ الفعليِّ للمادةِ الناتجةِ يمكنُ حسابُ **المردودِ المئويِّ Percentage Yield (Y)** وهوَ النسبةُ المئويةُ للمردودِ الفعليِّ إلى المردودِ النظريِّ، ويُعبَّرُ عنهُ بالمعادلةِ الآتيةِ:

$$\text{المردودُ المئويُّ للتفاعلِ} = \frac{\text{(المردودَ الفعليَّ)}}{\text{(المردودِ المتوقعِ)}} \times 100\ \%$$

$$Y = \frac{A_y}{P_y} \times 100\ \%$$

المثالُ 18

في تفاعلٍ ما حصلْنا على 2.64 g منْ كبريتاتِ الأمونيوم. فإذا علمتُ أنَّ المردودَ المتوقعَ 3.3 g، فأحسبُ المردودَ المئويَّ للتفاعلِ.

الحلُّ:

$$Y = \frac{A_y}{P_y} \times 100\%$$

$$= \frac{2.64\ g}{3.3\ g} \times 100\% = 80\%$$

أبحثُ

أرجعُ إلى المواقعِ الإلكترونيةِ عبرَ الإنترنتِ، وأكتبُ تقريرًا عنِ النسبةِ المئويةِ لنقاوةِ المادةِ (Percentage Purity) مبينًا أهميتَها في الصناعاتِ الكيميائيةِ، وكيفَ يجري حسابُها، وأناقشهُ معَ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

أتحقَّقُ:

ما الفرقُ بينَ المردودِ الفعليِّ، والمردودِ المتوقعِ للتفاعلِ؟

مراجعةُ الدرسِ

1 – **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما أهميةُ الحساباتِ الكيميائيةِ؟

2 – **أوضحُ** المقصودَ بكلٍّ منَ:

- النسبةِ المئويةِ بالكتلةِ لعنصرٍ.
- الصيغةِ الأوليةِ.
- الصيغةِ الجزيئيةِ.
- المردودِ النظري للتفاعلِ.

3 – ما الصيغةُ الأوليةُ لمركبٍ يتكونُ منْ تفاعلِ 2.3 g منَ الصوديومِ Na معَ 8 g منَ البرومِ Br؟

4 – ما الصيغةُ الجزيئيةُ لمركبٍ هيدروكربونيٍّ يتكونُ منْ 92.3% منَ الكربونِ، و 7.7% منَ الهيدروجينِ، علمًا بأنَّ الكتلةَ المولية للمركبِ 26 g /mol؟

5 – **أحسبُ** كتلةَ أكسيدِ الحديدِ (III) Fe_2O_3 الناتجةَ منْ تفاعلِ 9.12 g منْ كبريتاتِ الحديدِ (II) $FeSO_4$ علمًا بأنَّ معادلةَ التفاعلِ الموزونةَ هيَ:

$$2FeSO_{4(s)} \rightarrow Fe_2O_{3(s)} + SO_{2(g)} + SO_{3(g)}$$

6 – **أحسبُ** عددَ مولاتِ غازِ ثاني أكسيدِ الكربونِ CO_2 الناتجةِ عنِ احتراقِ 6 mol منْ غازِ الإيثانِ C_2H_6 احتراقًا تامًّا في كميةٍ وافرةٍ منْ غازِ الأكسجينِ. وذلكَ حسبَ المعادلةِ الموزونةِ الآتيةِ:

$$2C_2H_{6(g)} + 7O_{2(g)} \rightarrow 4CO_{2(g)} + 6H_2O_{(g)}$$

7 – **أحسبُ** المردودَ المئويَّ لتفاعلٍ ما لإنتاجِ أكسيدِ الكالسيومِ، علمًا بأنَّ المردودَ المتوقعَ 5.6 g والمردودَ الفعليَّ 2.8 g

الوسادةُ الهوائيةُ Air Bag

تُستخدَمُ في السياراتِ الحديثةِ الصنعِ وسادةٌ هوائيةٌ؛ لمنعِ ارتطامِ السائقِ بمقودِ السيارةِ لحظةَ اصطدامِ السيارةِ بسيارةٍ أخرى أوْ بأيِّ جسمٍ آخرَ؛ حيثُ يتمددُ الهواءُ داخلَ الوسادةِ فتنتفخُ وتتضخمُ، وتعملُ على حمايةِ السائقِ. وفي حالةِ احتواءِ الوسادةِ على كميةٍ كبيرةٍ منَ الهواءِ فإنَّها تصبحُ قاسيةً، وهوَ ما قدْ يسببُ جروحًا بسببِ عدمِ تخفيفِ تأثيرِ الصدمةِ. وفي المقابلِ فإنَّ كميةَ الهواءِ القليلةَ تكونُ غيرَ كافيةٍ لمنعِ تأثيرِ ارتطامِ السائقِ.

ولذلكَ يستخدمُ المهندسونَ الحساباتِ الكيميائيةَ لتقديرِ الكمياتِ الدقيقةِ منَ الموادِّ الكيميائيةِ اللازمةِ للتفاعلِ داخلَ الوسادةِ؛ حتى يكونَ نظامُ الأمانِ فعالًا.

ومنَ الموادِّ المستخدمةِ في الوسادةِ الهوائيةِ مركَّبا أزايدِ الصوديومِ NaN_3، ونتراتِ البوتاسيومِ KNO_3، وعندَ حدوثِ التصادمِ تحدثُ سلسلةٌ منَ التفاعلاتِ الكيميائيةِ، منْها تحللُ مركبِ أزايدِ الصوديومِ منتجًا الصوديومَ وغازَ النيتروجينِ كما يأتي:

$$2NaN_{3(s)} \rightarrow 2Na_{(s)} + 3N_{2(g)}$$

حيثُ يتسببُ غازُ النيتروجينِ بانتفاخِ الوسادةِ الهوائيةِ. في حينِ تتفاعلُ نتراتُ البوتاسيومِ معَ الصوديومِ وذلكَ لمنعِ تفاعلهِ معَ الماءِ، كما في المعادلةِ الآتيةِ:

$$10Na_{(s)} + 2KNO_{3(s)} \rightarrow K_2O_{(s)} + 5Na_2O_{(s)} + N_{2(g)}$$

وفي المحصلةِ فإنَّ، الموادَّ الناتجةَ منْ هذهِ التفاعلاتِ تكونُ غيرَ ضارةٍ.

أبحث في مصادرِ المعرفةِ المناسبةِ عنْ تركيبِ الوسادةِ الهوائيةِ وكيفيةِ عملِها، ثمَّ أكتبُ تقريرًا عنْ ذلكَ، ثمَّ أُناقِشُهُ معَ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

مراجعةُ الوحدةِ

1. ما المقصودُ بكلٍّ منَ المصطلحاتِ الكيميائيةِ الآتيةِ:

- المولُ.
- الكتلةُ الجزيئيةُ.
- تفاعل التحلل.
- المردودُ المئويُّ للتفاعلِ.

2. أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونةً تمثلُ:

أ . تفاعلَ عنصرِ الحديدِ الصلبِ معَ غازِ الأكسجينِ لإنتاجِ أكسيدِ الحديدِ (III) الصلبِ.

ب.تفاعلَ كربوناتِ الكالسيومِ الصلبةِ معَ محلولِ حمضِ الهيدروكلوريكِ لإنتاجِ كلوريدِ الكالسيومِ الصلبِ وغازِ ثاني أكسيدِ الكربونِ والماءِ السائلِ.

جـ.تفاعلَ أيوناتِ الفضةِ معَ أيوناتِ البروميدِ؛ لتكوينِ راسبٍ منْ بروميدِ الفضةِ.

3. **أستنتجُ** الصيغةَ الأوليةَ للمركبِ الناتجِ من تفاعلُ 0.6 g منَ الكربونِ معَ الأكسجينِ لتكوينِ 2.2 g منْ أكسيدِ الكربونِ.

4. **أستنتجُ** الصيغةَ الجزيئيةَ لمركبٍ صيغتُهُ الأوليةُ CH_2 وكتلتُهُ المولية 28 g .

5. يحترقُ عنصرُ المغنسيومِ وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$$

أ . **أحسبُ** كتلةَ المغنيسيومِ اللازمةَ لإنتاجِ 8 g منْ أكسيدِ المغنيسيوم.

ب.**أحسبُ** كتلةَ الأكسجينِ اللازمةَ لإنتاجِ 20 g منْ أكسيدِ المغنيسيومِ.

6. **أحسبُ** عددَ المولاتِ في 9.8 g منْ حمضِ الكبريتيكِ H_2SO_4

7. تتحللُ كربوناتُ الكالسيومِ بالحرارةِ وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$CaCO_{3(s)} \xrightarrow{\Delta} CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

فإذا علمتُ أنَّ الكتلَ الذريةَ: (C = 12, O = 16, Ca = 40)

أ . **أحسبُ** كتلةَ أكسيدِ الكالسيومِ الناتجةَ منْ تسخينِ 50 g منْ كربوناتِ الكالسيوم.

ب.**أحسبُ** المردودَ المئويَّ للتفاعلِ إذا حصلْنا على 15 g فقطْ منْ أكسيدِ الكالسيوم.

8. كربيدُ السيلكونِ SiC مادةٌ قاسيةٌ تستخدمُ في صناعةِ ورقِ الزجاجِ وحجرِ الجلخِ، ويتمُّ الحصولُ عليهِ منْ تسخينِ أكسيدِ السيلكونِ معَ الكربونِ وفقَ المعادلةِ:

$$SiO_{2(s)} + C_{(s)} \rightarrow SiC_{(s)} + CO_{(g)}$$

فإذا عُلِمَ أنَّ الكتلَ الذريةَ للعناصرِ المذكورةِ كالآتي: (C = 12, O = 16, Si = 28)

أ . **أوازنُ** معادلةَ التفاعلِ.

ب.**أحسبُ** عددَ مولاتِ CO الناتجةِ منْ تفاعلِ 0.5 mol منْ SiO_2

جـ.**أحسبُ** كتلةَ SiC الناتجةَ عنْ تفاعلِ 4 mol منْ ذراتِ الكربونِ.

د . **أحسبُ** النسبةَ المئويةَ لعنصرِ الكربونِ في المركبِ SiC.

9. **أصنفُ** المعادلاتِ الآتيةَ حسبَ أنواعِها: (اتحادٍ، أوْ تحللٍ، أوْ إحلالٍ أحاديٍّ):

$$2Al_{(s)} + 3Cl_{2(g)} \rightarrow 2AlCl_{3(s)}$$

$$Mg_{(s)} + CuSO_{4(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + MgSO_{4(aq)}$$

$$CdCO_{3(s)} \xrightarrow{\Delta} CdO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

10. أختارُ رمزَ الإجابةِ الصحيحةِ في كلٍّ ممّا يأتي:

1. ما عددُ مولاتِ ذراتِ الأكسجينِ الموجودةِ في 1 mol منْ $AgNO_3$؟

أ . 1 ب. 2 جـ. 3 د. 4

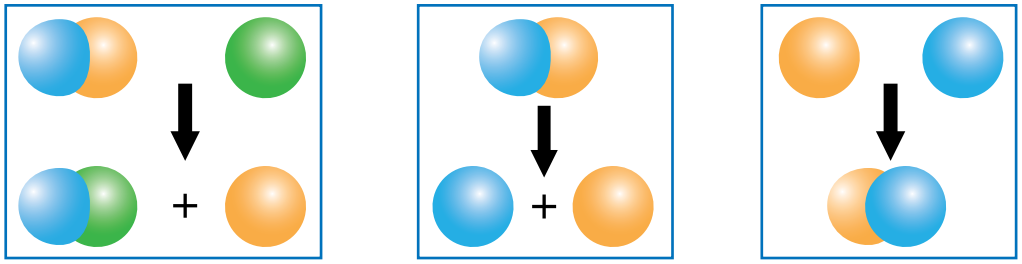
2. أيٌّ منَ الآتيةِ يعدُّ الكتلةَ المولية لمركبِ Na_2SO_4 (بوحدةِ g /mol)؟

أ . 71 ب. 119 جـ. 142 د. 183

3. تُسمّى كميةُ المادةِ الناتجةِ المحسوبةُ منَ التفاعلِ:

أ . المردودَ المتوقعَ. ب. المردودَ الفعليَّ. جـ. الكتلةَ المولية. د . المولَ.

11. **أميزُ** التفاعلاتِ الواردةَ في النماذجِ الآتيةِ وأفسرُها:



a b c

12. مركبٌ كتلتهُ 8.8 g يتكونُ فقطْ منْ عنصري الكربونِ والهيدروجينِ، وكتلةُ الهيدروجينِ: 1.6 g

أ . **أحسبُ** النسبةَ المئويةَ بالكتلةِ لعنصري الكربونِ والهيدروجينِ في المركبِ.

ب.**أستنتجُ:** أيُّ الصيغتيْنِ تمثلُ المركبَ C_2H_6 أم C_3H_8؟

الوحدةُ 5

الطاقةُ الكيميائيةُ

Chemical Energetics

أتأمَّلُ الصورةَ

تُستخدَمُ الطاقةُ في العديدِ منْ مجالاتِ الحياةِ اليوميةِ، كاحتراقِ الوقودِ في السياراتِ والمركباتِ الفضائيةِ، والاستخداماتِ المنزليةِ، والصناعيةِ والتعدينِ وغيرِها، وتعدُّ التفاعلاتُ الكيميائيةُ مصدرًا رئيسًا للطاقةِ في مختلفِ المجالاتِ، فما مصدرُ الطاقةِ المرافقةِ للتفاعلاتِ الكيميائيةِ؟

الفكرةُ العامةُ:

تعـدُّ التفاعـلاتُ الكيميائيـةُ المصـدرَ الأساسـيَّ لأشـكالِ الطاقـةِ علـى سـطحِ الأرضِ.

الـدرسُ الأولُ: تغيـراتُ الطاقـةِ فـي التفاعـلاتِ الكيميائيـةِ.

الفـكرةُ الرئيسـةُ: يرافـقُ التغيـراتِ الكيميائيـةَ والفيزيائيـةَ التـي تحـدثُ للمـوادِّ امتصاصٌ للطاقـةِ أوِ انبعاثٌ لَها.

الدرسُ الثاني: الطاقةُ الممتصةُ والمنبعثةُ منَ المادةِ.

الفكرةُ الرئيسةُ: تتبادلُ الموادُّ الطاقةَ في ما بينَها وبينَ الوسطِ المحيطِ تبعًا لطبيعتِها واختلافِ درجةِ حرارتِها.

الـدرسُ الثالـثُ: حسـاباتُ الطاقةِ في التفاعـلاتِ الكيميائيةِ.

الفكرةُ الرئيسةُ: يرافقُ حدوثَ التفاعلاتِ الكيميائيةِ تغيرٌ في المحتوى الحراريِّ، يمكنُ حسابهُ بطرائقَ مختلفةٍ.

الطاقةُ المرافقةُ للتفاعلِ

المـوادُّ والأدواتُ: كأسٌ زجاجيـةٌ، ميـزانُ حـرارةٍ، مخبـارانِ مدرجـانِ، مـاءٌ مقطـرٌ، محلـولُ حمـضِ الكبريتيـكِ المركـزِ (H_2SO_4).

إرشاداتُ السلامةِ:

- أتبعُ إرشاداتِ السلامةِ العامةِ في المختبرِ.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقفازاتِ.
- أحذرُ منْ تذوقِ محلولِ حمضِ الكبريتيكِ المركزِ، أوْ لمسِهِ بيديَّ.

خطواتُ العملِ:

1. **أقيسُ:** أضعُ في الكأسِ الزجاجيةِ (20 mL) منَ الماءِ المقطرِ باستخدامِ المخبارِ المدرجِ، وأقيسُ درجةَ حرارتِهِ، وأسجلُها.
2. **أقيسُ:** أضعُ (5 mL) منْ محلولِ حمضِ الكبريتيكِ المركزِ في المخبارِ المدرجِ الثاني. وأقيسُ درجةَ حرارتِهِ وأسجلُها.
3. أضيفُ ببطْءٍ محلولَ حمضِ الكبريتيكِ المركزَ إلى الكأسِ الزجاجيةِ المحتويةِ على الماءِ المقطرِ، وأحركُ المحلولَ ببطءٍ.
4. **أقيسُ:** أنتظرُ 1 min ثمَّ أقيسُ درجةَ حرارةِ المحلولِ الجديدِ، وأسجلُها.
5. **أُلاحِظُ** درجةَ حرارةِ الماءِ بعدَ إضافةِ محلولِ حمضِ الكبريتيكِ: هلِ ارتفعتْ أمِ انخفضتْ؟
6. **أنظمُ:** أسجلُ البياناتِ والقياساتِ، وأنظمُها في جدولٍ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- **أصفُ** التغيرَ الذي يحدثُ لدرجةِ حرارةِ الماءِ بعدَ إضافةِ محلولِ حمضِ الكبريتيكِ.

2- ماذا **أستنتجُ**؟

تغيراتُ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ
Energy Changes in Chemical Reactions

الدرسُ 1

الفكرةُ الرئيسةُ :
يرافقُ التغيراتِ الكيميائيةَ والفيزيائيةَ التي تحدثُ للموادِّ امتصاصٌ للطاقةِ أوِ انبعاثٌ لَها.

نتاجاتُ التعلم :
- أبينُ أهميةَ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ، وأشكالَها، وتطبيقاتِها.
- أصنفُ التفاعلاتِ الكيميائيةَ وفقَ الطاقةِ المصاحبةِ لَها إلى ماصّةٍ وطاردةٍ.
- أوظفُ التكنولوجيا في البحثِ في الطاقةِ المصاحبةِ للتفاعلاتِ الكيميائيةِ.

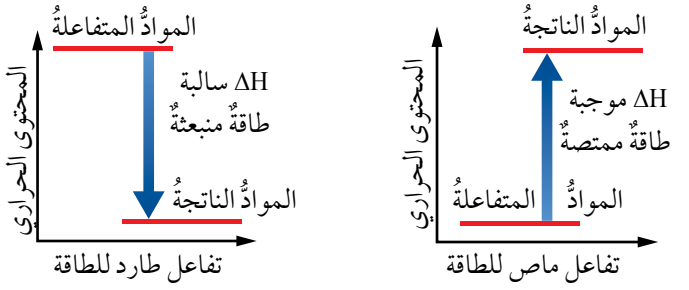
المفاهيمُ والمصطلحاتُ :
المحتوى الحراريُّ Enthalpy
التغيرُ في المحتوى الحراريِّ
Change in Enthalpy
تفاعلاتٌ طاردةٌ للحرارةِ
Exothermic Reactions
تفاعلاتٌ ماصةٌ للحرارةِ
Endothermic Reactions
طاقةُ الانصهارِ المولية
Molar Fusion Energy
طاقةُ التبخرِ المولية
Molar Evaporation Energy
طاقةُ التجمُّدِ المولية
Molar Freezing Energy
طاقةُ التكاثفِ المولية
Molar Condensing Energy

الطاقةُ المرافقةُ للتفاعلِ الكيميائيِّ
Energy Accompaniment the Chemical Reactions

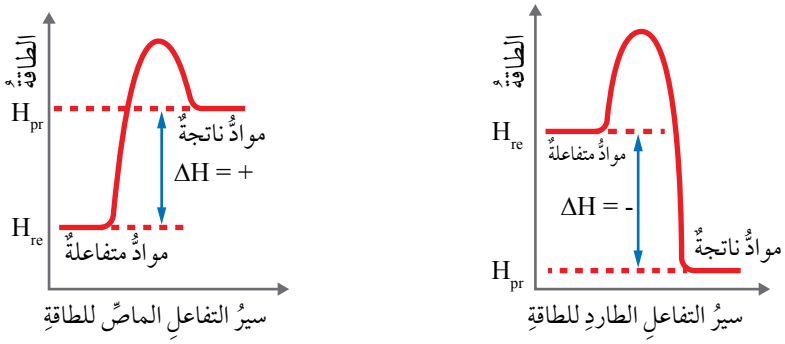
يرافقُ حدوثَ كثيرٍ منَ التفاعلاتِ انبعاثُ كمياتٍ منَ الطاقةِ مثلَ الناتجةِ منِ احتراقِ الوقودِ (غازِ الطبخِ، والفحمِ وغيرِها)، في حينِ تحتاجُ بعضُ التفاعلاتِ إلى امتصاصِ الطاقةِ حتى تحدثَ، مثلَ طهوِ الطعامِ وتفاعلاتِ البناءِ الضوئيِّ وغيرِها، ويهتمُّ الكيميائيونَ بدراسةِ تغيراتِ الطاقةِ التي ترافقُ هذهِ العملياتِ والتفاعلاتِ، فما مصدرُ هذهِ الطاقةِ؟ وكيفَ يمكنُ تمييزُ التفاعلاتِ المختلفةِ؛ وفقًا لتغيراتِ الطاقةِ التي ترافقُ حدوثَها؟

التغيرُ في المحتوى الحراريِّ (الإنثالبي) Change in Enthalpy

يحدثُ كثيرٌ منَ التفاعلاتِ الكيميائيةِ في المختبراتِ، وفي أجسامِ الكائناتِ الحيةِ عندَ ضغطٍ ثابتٍ، ويرافقُ حدوثَها انبعاثٌ أوِ امتصاصٌ للطاقةِ الحرارية، ما يشيرُ إلى تغيراتٍ تحدثُ للطاقةِ المخزونةِ في الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ التي تُسمّى **المحتوى الحراريَّ Enthalpy**، وهوَ كميةُ الطاقةِ المخزونةِ في مولٍ منَ المادةِ، ويُرمَزُ إليهِ بالرمزِ (H)، ويُطلَقُ على كميةِ الطاقةِ الحرارية الممتصةِ أوِ المنبعثةِ خلالَ التفاعلِ **التغيرُ في المحتوى الحراريِّ Change in Enthalpy**، ويُرمَزُ إليهِ بالرمزِ (ΔH)، وقدْ تكونُ إشارتهُ موجبةً أوْ سالبةً؛ فإذا كانتِ الطاقةُ ممتصةً خلالَ التفاعلِ تكونُ (ΔH) ذاتَ إشارةٍ موجبةٍ (+)، أمّا إذا كانتِ الطاقةُ منبعثةً منَ التفاعلِ فتكونُ ذاتَ إشارةٍ سالبةٍ (−)، ويبينُ الشكلُ (1) مخططَ تغيرِ المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ.



الشكلُ (1): تغيرُ المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ.



الشكلُ (2): مخطط سير تفاعل طارد للطاقة وآخر ماص لها.

يعتمدُ التغيرُ في المحتوى الحراريِّ (ΔH) على الحالةِ النهائيةِ والحالةِ الابتدائيةِ للتفاعلِ، ولا يعتمدُ على الطريقةِ التي يحدثُ بِها التفاعلُ، كما يتضحُ منَ الشكلِ (2) الذي يبينُ مخططَ سير تفاعل طاردٍ للطاقةِ، وتفاعلٍ آخرَ ماصٍّ لَها.

يُلاحَظُ أنَّ التغيرَ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ يمثلُ الفرقَ بينَ المحتوى الحراريِّ للموادِّ الناتجةِ (H_{pr})، والمحتوى الحراريِّ للموادِّ المتفاعلةِ (H_{re})، ويُقاسُ بالكيلو جول (kJ)، ويمكنُ حسابهُ باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

التغيرُ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ =

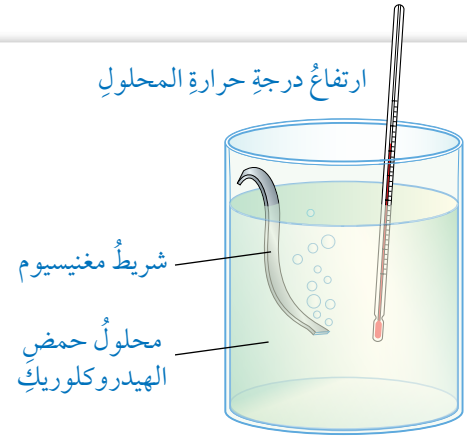
المحتوى الحراريَّ للموادِّ الناتجةِ - المحتوى الحراريِّ للموادِّ المتفاعلةِ.

$$\Delta H = (H_{pr}) - (H_{re})$$

أفكِّرُ: كيفَ تنتقلُ الحرارةُ منَ المدفأةِ إلى الأشخاصِ المحيطينَ بِها ؟

تفاعلاتٌ طاردةٌ للحرارةِ Exothermic Reactions

تنتقلُ الطاقةُ في كثيرٍ منَ التفاعلاتِ منَ الموادِّ المتفاعلةِ إلى الوسط المحيطِ مثلَ تفاعلاتِ احتراقِ الوقودِ، وتفاعلاتِ التعادلِ التي تحصلُ بينَ الحمضِ والقاعدةِ. فمثلًا، عندَ احتراقِ الوقودِ في المدفأةِ تنبعثُ منهُ طاقةٌ حراريةٌ؛ ما يؤدي إلى رفعِ درجةِ حرارةِ الوسطِ المحيطِ، ويشعرُ المحيطونَ بالمدفأةِ بالدفءِ، وكذلكَ عندَ احتراقِ سكرِ الجلوكوزِ في الخلايا، فإنَّهُ يزودُها بالطاقةِ اللازمةِ لأداءِ العملياتِ الحيويةِ المختلفةِ، يُطلَقُ على التفاعلاتِ التي منْ هذا النوعِ اسمُ **التفاعلاتِ الطاردةِ للحرارةِ Exothermic Reactions**؛ حيثُ يكونُ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ (H_{pr}) أقلَّ منَ المحتوى الحراريِّ للموادِّ المتفاعلةِ (H_{re})، وبناءً عليهِ؛ فإنَّ التغيرَ في المحتوى الحراريِّ (ΔH) للتفاعلِ يكون سالبًا.



الشكلُ (3): التفاعلُ الطاردُ للحرارة.

وكذلك؛ يتفاعلُ شريطُ المغنيسيومِ (Mg) معَ محلولِ حمضِ الهيدروكلوريكِ (HCl) أنظر الشكلَ (3)، وترتفعُ درجةُ حرارةِ المحلولِ، ما يعني أنَّ التفاعلَ طاردٌ للحرارةِ، حيثُ تنطلقُ طاقةٌ حراريةٌ منَ التفاعلِ تُسببُ رفعَ درجةِ حرارةِ المحلولِ، وهذهِ الطاقةُ تمثلُ التغيرَ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ (ΔH)، ويمكنُ التعبيرُ عنِ التفاعلِ بالمعادلةِ الحراريةِ الآتيةِ:

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

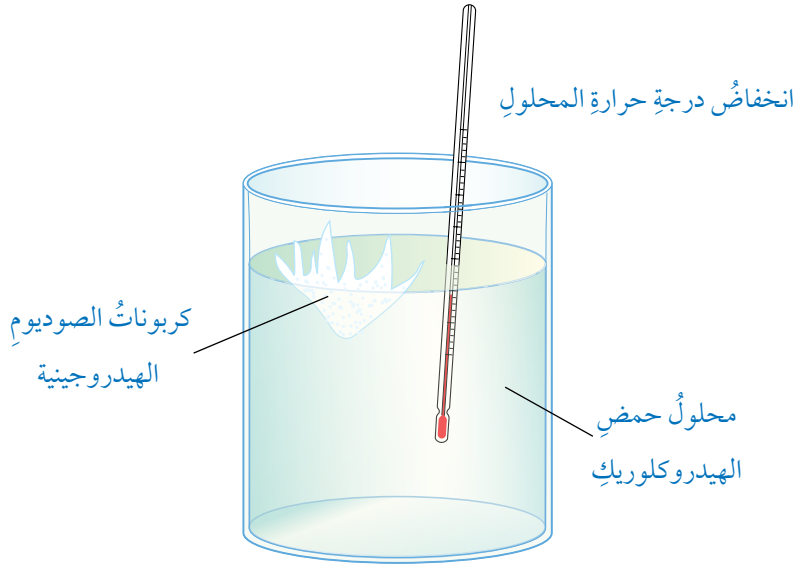
يُستفادُ منَ الحرارةِ (Heat) المنبعثةِ منَ التفاعلاتِ الطاردةِ للحرارة في مختلفِ مناحي الحياةِ كعملياتِ طهوِ الطعامِ، والتسخينِ، وتشغيلِ المركباتِ، والآلاتِ الصناعيةِ وغيرِها.

تفاعلاتٌ ماصّةٌ للحرارةِ Endothermic Reactions

تحتاجُ بعضُ التفاعلاتِ إلى كميةٍ منَ الطاقةِ للتغلبِ على الروابطِ بينَ ذراتِ الموادِّ المتفاعلةِ؛ فتمتصُّ هذهِ الموادُّ الطاقةَ منَ الوسطِ المحيطِ؛ ما يسببُ انخفاضًا في درجةِ حرارته، مثلَ تفاعلاتِ التحللِ الحراريِّ؛ إذ يتطلبُ تحللُ كربوناتِ الكالسيومِ ($CaCO_3$) امتصاصَ كميةٍ منَ الطاقة الحرارية لكسرِ الروابطِ بينَ الذراتِ، ويُطلَقُ على التفاعلاتِ التي منْ هذا النوعِ اسمُ **التفاعلاتِ الماصَّةِ للحرارةِ Endothermic Reactions**، حيثُ يكونُ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ (H_{pr}) أكبرَ منَ المحتوى الحراريِّ للموادِّ المتفاعلةِ (H_{re})، ومنْ ثَمَّ؛ فإنَّ التغيرَ في المحتوى الحراريِّ (ΔH) يكون موجبًا.

أفكّرُ: يُستخدَمُ تفاعلُ الثيرمايتِ في لحامِ قضبانِ السككِ الحديديةِ، ويتطلبُ ذلكَ تزويدَهُ بكميةٍ كبيرةٍ منَ الحرارةِ لبدءِ التفاعلِ، وعلى الرغمِ منْ ذلكَ يُعدُّ تفاعلُ الثيرمايتِ طاردًا للحرارةِ. أفسِّرُ ذلكَ.

أعملُ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (Movie Maker)، يبينُ التفاعلاتِ الطاردةَ والماصةَ للطاقةِ، وعلاقتَهُا بالمحتوى الحراريِّ، وأحرصُ على أنْ يشتملَ على رسومٍ تخطيطيةٍ لمنحنياتِ الطاقةِ، وصورٍ لأمثلةٍ توضيحيةٍ، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.



الشكلُ (4): التفاعلُ الماصُّ للطاقةِ.

وكذلك؛ عندَ إضافةِ كربوناتِ الصوديومِ الهيدروجينيةِ ($NaHCO_3$) إلى محلولِ حمضِ الهيدروكلوريكِ (HCl) تنخفض درجةِ حرارةِ المحلول، أنظر الشكلَ (4)؛ الأمرُ الذي يعني أنَّ التفاعلَ امتصَّ الطاقةَ منَ المحلولِ وتسببَ في خفضِ درجةِ حرارةِ المحلولِ، وهذهِ الطاقةُ تمثلُ التغيرَ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ (ΔH)، ويمكنُ التعبيرُ عنِ التفاعلِ كما في المعادلةِ الآتيةِ:

$$NaHCO_{3(s)} + HCl_{(aq)} + Heat \rightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

أتحقَّقُ:

1- أيُّ التفاعلاتِ الآتيةِ يعدُّ ماصًّا للطاقةِ، وأيُّها يعدُّ طاردًا لَها:

أ) $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + Heat$

ب) $CaCO_{3(s)} + Heat \rightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$

2- ماذا تمثلُ الطاقةُ في كلٍّ منَ التفاعليْنِ السابقيْنِ؟ وما إشارتُها؟

أبحثُ

يُستفادُ منَ التفاعلاتِ الطاردةِ للحرارةِ في عملِ الوجباتِ الساخنةِ منْ دونِ لهبٍ. مستعينًا بالكلماتِ المفتاحيةِ الآتيةِ: (التسخينُ منْ دونِ لهبٍ، الوجباتُ الساخنةُ لروادِ الفضاءِ) أبحثُ كيفيةَ تحضيرِ هذهِ الوجباتِ، وأكتبُ تقريرًا بذلكَ، أوْ أصممُ عرضًا تقديميًّا حولَ الموضوعِ، وأعرضهُ على زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

التجربةُ 1

التفاعلُ الطاردُ والتفاعلُ الماصُّ للحرارة

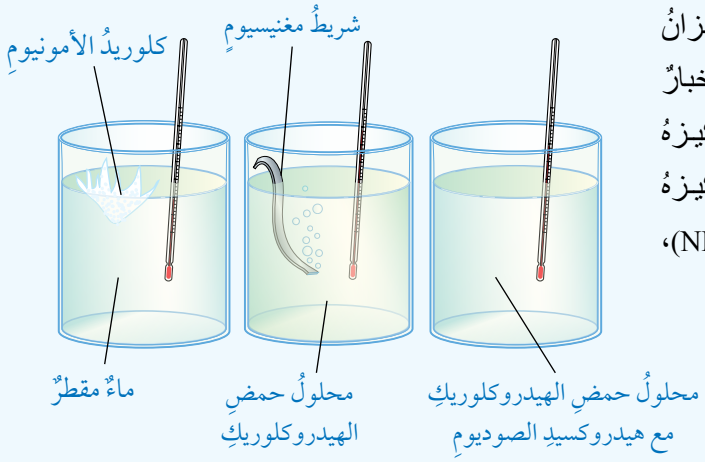
المـوادُّ والأدواتُ: ثـلاثُ كـؤوسٍ زجاجيـةٍ، ميـزانُ حـرارةٍ، ملعقـةٌ، ميزانٌ حسـاسٌ، قضيـبٌ زجاجيٌّ، مخبارٌ مـدرجٌ، محلـولُ حمـضِ الهيدروكلوريـكِ (HCl) تركيـزهُ (0.5mol/L)، هيدروكسيـدُ الصوديـومِ (NaOH) تركيـزهُ (0.5mol/L)، بلـوراتُ كلوريـدِ الأمونيـومِ (NH_4Cl)، شـريطٌ مـنَ المغنيسـيومِ (2 cm)، مـاءٌ مقطـرٌ.

إرشاداتُ السلامةِ:

- أتبعُ إرشاداتِ السلامةِ العامةِ في المختبرِ.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقفازاتِ.
- أحذرُ منْ تذوقِ محلولِ حمضِ الهيدروكلوريكِ (HCl)، أوِ استنشاقِ بخارِهِ.
- أحذرُ منْ لمسِ محلولِ هيدروكسيدِ الصوديومِ أوْ كلوريد الأمونيوم أوْ تذوقِ أيٍّ منهُما.

خطواتُ العملِ:

1. **أقيسُ:** أضعُ في الكأسِ الأولى (20 mL) منْ محلولِ حمضِ الهيدروكلوريكِ باستخدامِ المخبارِ المدرجِ. وأقيسُ درجةَ حرارةِ المحلولِ في الكأسِ، وأسجلُها.
2. **أقيسُ:** أُضيفُ شريطًا منَ المغنيسيومِ طولُهُ (2 cm)، أحركُ المحلولَ ببطءٍ، وأقيسُ درجةَ حرارتِهِ، وأسجلُها.
3. **ألاحِظُ** درجةَ حرارةِ المحلولِ بعدَ إضافةِ شريطِ المغنيسيومِ؛ هلِ ارتفعتْ أمِ انخفضتْ؟
4. **أقيسُ:** أضعُ في الكأسِ الثانيةِ (20 mL) من الماءِ باستخدامِ المخبارِ المدرجِ. وأقيسُ درجةَ حرارتِه، وأسجلُها.
5. **أزنُ:** باستخدامِ الميزانِ الحساسِ أزنُ (5 g) منْ كلوريدِ الأمونيومِ، وأضيفُها إلى الكأسِ، وأحركُ المحلولَ ببطءٍ، وأقيسُ درجةَ حرارةِ المحلولِ، وأسجلُها.
6. **ألاحِظُ** درجةَ حرارةِ الماءِ بعدَ إضافةِ كلوريدِ الأمونيومِ؛ هلِ ارتفعتْ أمِ انخفضتْ؟



7. **أقيسُ:** أضعُ في الكأسِ الثالثةِ (20 mL) منْ محلولِ حمضِ الهيدروكلوريكِ باستخدامِ المخبارِ المدرجِ. وأقيسُ درجةَ حرارتِهِ وأسجلُها.
8. **أقيسُ:** أُضيفُ إلى الكأسِ (20 mL) منْ محلولِ هيدروكسيدِ الصوديومِ، وأحركُ المحلولَ ببطءٍ، وأقيسُ درجةَ حرارتِهِ وأسجلُها.
9. **ألاحِظُ** درجةَ حرارةِ المحلولِ بعدَ إضافةِ هيدروكسيدِ الصوديومِ؛ هلِ ارتفعتْ أمِ انخفضتْ؟
10. **أنظمُ:** أسجلُ البياناتِ والقياساتِ، وأنظمُها في جدولٍ.

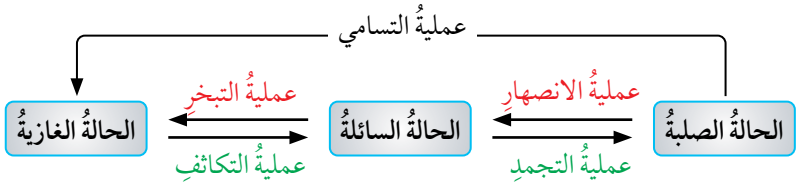
التحليلُ والاستنتاجُ:

1- **أصفُ** التغيرَ الذي يحدثُ لدرجةِ حرارةِ محلولِ حمضِ الهيدروكلوريكِ بعدَ تفاعلِهِ معَ شريطِ المغنيسيومِ. ماذا أستنتجُ؟

2- **أصفُ** التغيرَ الذي يحدثُ لدرجةِ حرارةِ الماءِ بعدَ تفاعلِهِ معَ كلوريدِ الأمونيومِ. ماذا أستنتجُ؟

3- **أصفُ** التغيرَ الذي يحدثُ لدرجةِ حرارةِ محلولِ حمضِ الهيدروكلوريكِ بعدَ إضافةِ هيدروكسيدِ الصوديومِ. ماذا أستنتجُ؟

4- **أفسرُ** التغيرَ الذي يحصلُ لدرجةِ الحرارةِ في كلِّ حالةٍ.



الشكلُ (5): تحولاتُ الحالةِ الفيزيائيةِ للمادةِ.

أحـدّدُ: أيُّ هـذهِ التحـولاتِ يسـببُ انبعاثًـا للطاقـةِ الحراريـةِ؟ وأيُّها يتطلـبُ امتصاصًـا لَهـا؟

الطاقةُ والحالةُ الفيزيائيةُ للمادةِ

Energy and Physical State of Matter

توجدُ المادةُ في حالاتٍ فيزيائيةٍ ثلاثٍ، هيَ: الصلبةُ والسائلةُ والغازيةُ، ولكلٍّ منْ هذهِ الحالاتِ خصائصُ معينةٌ تعتمدُ على طبيعةِ المادةِ والروابطِ بينَ جسيماتِها، ويمكنُ أنْ تتحولَ المادةُ منْ حالةٍ فيزيائيةٍ إلى أخرى، فيمكنُ تحوُّلُ الغازاتِ إلى سوائلَ بالضغطِ والتبريدِ، كذلكَ يمكنُ تحويلُ المادةِ الصلبةِ إلى السائلةِ بالتسخينِ، وهذا يشيرُ إلى أنَّهُ يرافقُ تحولَ المادةِ منْ حالةٍ فيزيائيةٍ إلى أخرى تغيراتٌ في الطاقةِ؛ فقدْ يكونُ هذا التحولُ ماصًّا للطاقةِ أوْ طاردًا لَها. ويبينُ الشكلُ (5) تغيراتِ الطاقةِ المصاحبةَ للتحولاتِ الفيزيائيةِ للمادةِ.

الانصهارُ Fusion

عمليةُ تحويلِ المادةِ منَ الحالةِ الصلبةِ إلى الحالةِ السائلةِ، وهذا يتطلبُ تزويدَ المادةِ بكميةٍ كافيةٍ منَ الطاقةِ الحراريةِ؛ للتغلبِ على الترابطِ بينَ جزيئاتِ المادةِ أوْ ذراتِها، وهذا يعني أنَّ الانصهارَ عمليةٌ ماصّةٌ للطاقةِ، فمثلًا يمتصُّ الجليدُ طاقةً حراريةً منَ الوسطِ المحيطِ ليتحولَ إلى الماءِ السائلِ، وهوَ ما يفسرُ الشعورَ ببرودةِ الجوِّ نتيجةَ انخفاضِ درجةِ حرارتِهِ؛ بسببِ انصهارِ الثلجِ في أيامِ الشتاءِ، وتُسمّى كميةُ الطاقةِ اللازمةُ لتحويلِ مولٍ منَ المادةِ الصلبةِ عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتةٍ إلى الحالةِ السائلةِ **طاقةَ الانصهارِ المولية Molar Fusion Energy**، ولكلِّ مادةٍ طاقةُ انصهارٍ خاصةٌ بِها، فطاقةُ الانصهارِ المولية للجليدِ مثلًا تساوي(6.01 kJ)، ويمكنُ التعبيرُ عنْها بالمعادلةِ الكيميائيةِ الآتيةِ:

$$H_2O_{(s)} + 6.01kJ \rightleftharpoons H_2O_{(l)}$$

التبخرُ Evaporation

عمليةُ تحولِ المادةِ منَ الحالةِ السائلةِ إلى الحالةِ الغازيةِ، حيثُ تصبحُ جزيئاتُ المادةِ أوْ ذراتُها أكثرَ قدرةً على الحركةِ؛ ما يتطلبُ تزويدَها بكميةٍ منَ الطاقةِ الحراريةِ تعملُ على تحريرِ الجزيئاتِ أوِ الذراتِ منْ قوى الترابطِ بينَها في الحالةِ السائلةِ، وبذلكَ، فهيَ عمليةٌ ماصةٌ للطاقةِ؛ حيثُ تستمدُّ المادةُ الطاقةَ الحراريةَ اللازمةَ منَ الوسطِ المحيطِ، وهذا يفسرُ الشعورَ بالبرودةِ أوِ القشعريرةِ بعدَ الاستحمامِ، إذْ يتبخرُ الماءُ عنْ سطحِ الجسمِ مستمِدًّا الطاقةَ الحراريةَ اللازمةَ لذلكَ منَ الجلدِ؛ ما يخفِّضُ حرارةَ الجسمِ ويُحدِثُ الشعورَ بالبرودةِ، ويُطلَقُ على كميةِ الطاقةِ اللازمةِ لتبخيرِ مولٍ منَ المادةِ السائلةِ عندَ درجةِ حرارةٍ معينةٍ **طاقةَ التبخرِ المولية Molar Evaporation Energy**، ولكلِّ مادةٍ طاقةُ تبخرٍ خاصةٌ بِها؛ فطاقةُ التبخرِ المولية للماءِ مثلًا تساوي: (40.7 kJ)، ويمكنُ التعبيرُ عنْها بالمعادلةِ الكيميائيةِ الآتيةِ:

$$H_2O_{(l)} + 40.7\ kJ \rightleftharpoons H_2O_{(g)}$$

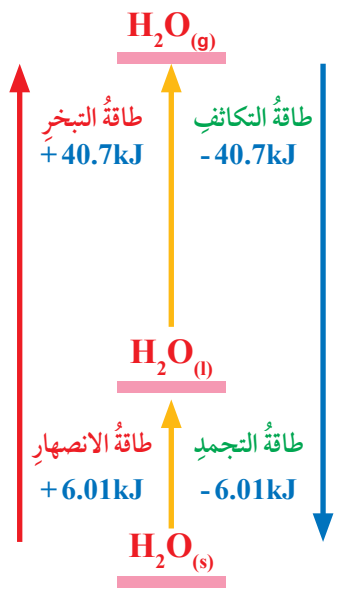
أفكّرُ: تسهمُ عمليةُ التبخرِ في الحفاظِ على درجةِ حرارةِ سطحِ الأرضِ وتوزيعِ الحرارةِ عليهِ، أوضحُ ذلكَ.

التجمدُ Freezing

عمليةُ تحوُّلِ المادةِ السائلةِ إلى صلبةٍ عنْ طريقِ تبريدِها بخفضِ درجةِ حرارتِها؛ فيقللُ منْ حريةِ حركةِ الجزيئاتِ أوِ الذراتِ، ويزيدُ منْ تجاذبِها وتماسكِها، وهذا يتطلبُ فقدانَها كميةً منَ الطاقةِ، ويُطلَقُ على هذهِ العمليةِ: التجمدُ Freezing، وكميةُ الطاقةِ الناتجةُ منْ تجمدِ مولٍ منَ المادةِ عندَ درجةِ حرارةٍ معينةٍ تساوي الطاقةَ اللازمةَ لصهرِها عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها. فمثلًا، يتجمدُ الماءُ ويتحولُ إلى جليدٍ عندَ درجةِ صفرٍ سليسيوس وفي الوقتِ نفسهِ ينصهرُ الجليدُ ويتحولُ إلى الماءِ السائلِ عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها، فإذا جُمِّدَ مول منَ الماءِ وتحوّلَ إلى جليدٍ، تنطلقُ نتيجةً لذلكَ كميةٌ منَ الطاقةِ تساوي (6.01 kJ)، وتُسمّى **طاقةَ التجمدِ المولية Molar Freezing Energy**.

التكاثفُ Condensation

يتكاثفُ الغازُ ويتحولُ إلى سائلٍ عندَ زيادةِ الضغطِ المؤثرِ فيهِ وخفضِ درجةِ حرارتهِ؛ فتقتربُ نتيجةً ذلكَ جزيئاتُ الغازِ منْ بعضِها بالقدرِ الذي يسمحُ بتجاذبِها وتحولِها إلى سائلٍ، ويُطلَقُ على هذهِ العمليةِ التكاثفُ Condensation، وهذا أيضًا يسببُ انبعاثَ طاقةٍ حراريةٍ. وتُسمّى كميةُ الطاقةِ المنبعثةُ عندَ تكاثفِ مولٍ منَ الغازِ عندَ درجةِ الغليانِ **طاقةَ التكاثفِ المولية Molar Condensing Energy**، وهيَ تساوي طاقةَ التبخرِ المولية. وهكذا نجدُ أنَّ عمليتي التجمدِ والتكاثفِ هما تحولاتٌ طاردةٌ للطاقةِ الحرارية.



الشكلُ (6): تحولاتُ الطاقةِ الخاصةُ بحالاتِ الماءِ.

التساميSublimation

تحولُ المادةِ منَ الحالةِ الصلبةِ إلى الحالةِ الغازيةِ من دونِ المرورِ بالحالةِ السائلةِ، وهذا يتطلبُ تزويدَ المادةِ بالطاقةِ اللازمةِ لتكسيرِ الروابطِ بينَ جزيئاتِها أوْ ذراتِها، ويصبحُ التجاذبُ بينَها ضعيفًا جدًّا فتتحولُ إلى الحالةِ الغازيةِ، فتَسامي مول منَ الجليدِ مثلًا، يتطلبُ تزويدَهُ بمقدارٍ منَ الطاقةِ يساوي (46.71 kJ)، وكميةُ الطاقةِ هذهِ تساوي مجموعَ كميةِ الطاقةِ اللازمةِ عندَ تحويلِهِ إلى الحالةِ السائلةِ ثمَّ إلى الحالةِ الغازيةِ، ويبينُ الشكلُ (6) تغيراتِ الطاقةِ المصاحبةَ لتحولاتِ الماءِ في الحالاتِ الثلاثِ.

أتحقَّقُ:

أيُّ التحولاتِ الفيزيائيةِ الآتيةِ يرافقهُ انبعاثٌ للحرارةِ؟ وأيُّها يرافقهُ امتصاصٌ لَها:

أ) جفافُ الملابسِ بعدَ غسلِها ونشرِها وتعريضِها لأشعةِ الشمسِ.

ب) انصهارُ الكتلِ الجليديةِ أيامَ الربيعِ في المناطقِ الشماليةِ منَ الكرةِ الأرضيةِ.

جـ) تكوُّنُ الصقيعِ (الجليدِ) في ليالي الشتاءِ الباردةِ.

أصممُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضًا يوضحُ دورةَ الماءِ في الطبيعةِ وتحولاتِ الطاقةِ المرافقةِ لحدوثِها، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

الربطُ بالحياةِ: الكماداتُ الباردةُ والساخنةُ

يتعرضُ الرياضيونَ للإصاباتِ والكدماتِ في أثناءِ المبارياتِ الرياضيةِ أوْ في أثناءِ التدريباتِ، وقد استُفيد منَ التفاعلاتِ الماصةِ والتفاعلاتِ الطاردةِ للحرارةِ في صناعةِ ما يُسمّى بالكماداتِ الفوريةِ التي تُستخدَمُ للتخفيفِ منَ الآلامِ الناتجةِ منْ هذهِ الإصاباتِ، وهيَ تتكونُ منْ كيسٍ بلاستيكيٍّ يحتوي على مادةٍ كيميائيةٍ بالإضافةِ إلى كيسٍ صغيرٍ منَ الماءِ، وعندَ ضغطِ الكمادةِ ينفجرُ كيسُ الماءِ داخلَها ويختلطُ بالمادةِ الكيميائيةِ ويعملُ على إذابتِها، ويرافقُ ذلكَ انبعاثُ طاقةٍ حراريةٍ ترفعُ درجةَ حرارةِ المحلولِ، وتتكونُ الكمادةُ الساخنةُ، وعادةً يُستخدَمُ كلوريدُ الكالسيومِ أوْ كبريتاتُ المغنيسيومِ في هذهِ الكماداتِ. وقد تُستخدَمُ في الكمادةِ مادةُ نتراتِ الأمونيومِ التي تؤدي إذابتُها في الماءِ إلى امتصاصِ طاقةٍ حراريةٍ منَ الوسطِ المحيطِ، ويؤدي إلى انخفاضِ درجةِ حرارةِ المحلولِ، وتتكونُ الكمادةُ الباردةُ، وبهذا يمكنُ استخدامُ النوعِ المناسبِ منَ الكماداتِ ضمنَ عملياتِ الإسعافِ الأوليةِ التي يقدمُها الاختصاصيونَ المرافقونَ للفريقِ في أثناءِ المبارياتِ.

أبحثُ

لعلّي لاحظتُ أنَّ التحولاتِ الفيزيائيةَ في حالةِ المادةِ يرافقُها امتصاصٌ أوِ انبعاثٌ للطاقةِ الحراريةِ، فهلْ جميعُ التحولاتِ الفيزيائيةِ والكيميائيةِ للموادِّ ترافقُها طاقةٌ حراريةٌ دائمًا؟

مستعينًا بالكلماتِ المفتاحيةِ الآتيةِ: (الطاقةُ المرافقةُ للتفاعلاتِ، أشكالُ الطاقةِ الكيميائيةِ، الطاقةُ والتنفسُ) أبحثُ عنْ أشكالٍ أخرى للطاقةِ ترافقُ التغيراتِ الكيميائيةَ والفيزيائيةَ للمادةِ، وأكتبُ تقريرًا بذلكَ، أوْ أصممُ عرضًا تقديميًّا حولَ الموضوعِ، وأعرضهُ على زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

مراجعةُ الدرسِ

1- **أفسر:** تغيراتِ الطاقةِ المصاحبةِ للتحولات الفيزيائية.

2- ما المقصودُ بكلٍّ ممّا يأتي:

- المحتوى الحراريُّ.
- التفاعلُ الماصُّ للحرارةِ.
- التفاعلُ الطاردُ.
- طاقةُ التبخرِ المولية.
- طاقةُ التكاثفِ المولية.

3- **أحسبُ المتغيراتِ:** إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ لتفاعلٍ ما (120kJ)، وللموادِّ المتفاعلةِ (80kJ)، فكمْ يكونُ التغيرُ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ؟ وما إشارتهُ؟

4- **أفسرُ:** التغيرُ في المحتوى الحراريِّ لبعضِ التفاعلاتِ يكونُ سالبًا (ΔH).

5- **أُصنِّفُ** التفاعلاتِ الماصةَ للحرارةِ والتفاعلاتِ الطاردةَ لَها:

$$CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2(s)} + 65.2kJ$$

$$2NaHCO_{3(s)} + 85kJ \rightarrow Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

6- **أفسرُ:**

أ) الانخفاضَ النسبيَّ لدرجةِ حرارةِ الهواءِ الملامسِ لسطحِ الأرضِ في أثناءِ انصهارِ الثلجِ في أيامِ الشتاءِ.

ب) تُستخدَمُ الكمادةُ الباردةُ للمساعدةِ على خفضِ درجةِ حرارةِ الأطفالِ الذينَ يعانونَ الحمّى.

7- **أحسبُ المتغيراتِ:** إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ منْ تفاعلٍ ما (140 kJ)، والتغيرُ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ (60 kJ-)، فكمْ يكونُ المحتوى الحراريُّ للموادِّ المتفاعلةِ ؟

الطاقةُ الممتصةُ والطاقةُ المنبعثةُ منَ المادةِ

Absorbed and Emitted Energy of Matter

الدرسُ 2

الفكرةُ الرئيسةُ :

تتبادلُ الموادُّ الطاقةَ في ما بينَها وبينَ الوسطِ المحيطِ؛ تبعًا لطبيعتِها واختلافِ درجةِ حرارتِها.

نتاجاتُ التعلمِ :

- أحسبُ كميةَ الطاقةِ التي تمتصُّها أوْ تصدرُها المادةُ.
- أجري تجاربَ عمليةً حولَ الطاقةِ الممتصةِ والمنبعثةِ منَ المادةِ.

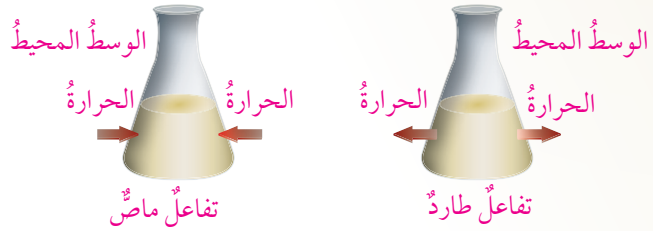
المفاهيمُ والمصطلحاتُ :

السعةُ الحراريةُ	Heat Capacity
الحرارةُ النوعيةُ	Specific Heat
المُسعِرُ	Calorimetr

تبادلُ الطاقةِ بينَ المادةِ والمحيطِ

Energy Exchange between Matter and the Surrounding

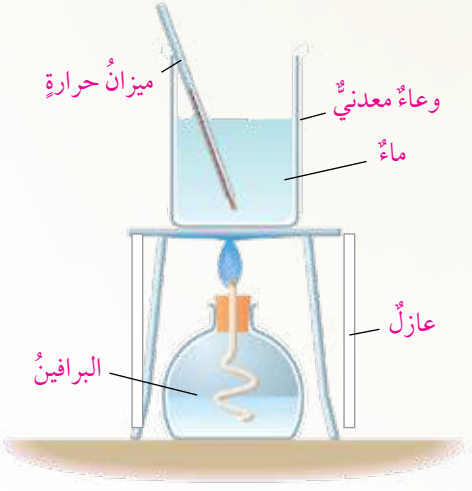
تتبادلُ الموادُّ المختلفةُ الحرارةَ معَ الوسطِ المحيطِ بِها، حيثُ تنتقلُ الحرارةُ عادةً منَ المادةِ ذاتِ درجةِ الحرارةِ العليا إلى المادةِ ذاتِ درجةِ الحرارةِ الدنيا، ولعلكَ تلاحظُ أنَّهُ عندَ تسخينِ كأسٍ يحوي كميةً منَ الماءِ، فإنَّ الماءَ سوفَ ترتفعُ درجةُ حرارتِهِ، وعندَ وضعِ الكأسِ في الهواءِ مدةً وجيزةً سوفَ تنخفضُ درجةُ حرارةِ الماءِ داخلَهُ، ويرجعُ السببُ في ذلكَ إلى أنَّهُ فقدَ كميةً منْ طاقتِهِ الحراريةِ وانتقلتْ إلى الوسطِ المحيطِ بِهِ (الهواءِ)؛ فتنخفضُ نتيجةَ ذلكَ درجةُ حرارةِ الماءِ، ويبينُ الشكلُ (7) عمليةَ تبادلِ الحرارةِ بينَ الموادِّ والوسطِ المحيطِ بِها.



الشكلُ (7): تبادلُ الحرارة بينَ المادةِ والوسطِ المحيطِ.

تعدُّ تفاعلاتُ احتراقِ الوقودِ منَ التفاعلاتِ الطاردةِ للطاقةِ الحراريةِ؛ فمثلًا، عندَ تسخينِ كميةٍ معينةٍ منَ الماءِ باستخدامِ البرافينِ السائلِ (الكازِ)، فإنَّ الحرارةَ الناتجةَ منَ الاحتراقِ سوفَ تنتقلُ إلى الماءِ مسببةً رفعَ درجةِ حرارتِهِ، كما في الشكلِ (8).

ومنَ الجديرِ بالذكرِ أنَّ ارتفاعَ درجةِ حرارةِ الماءِ خلالَ مدةٍ زمنيةٍ معينةٍ منَ التسخينِ يعدُّ مؤشرًا على كميةِ الحرارةِ الناتجةِ منَ الاحتراقِ، معَ مراعاةِ أنَّ جزءًا قليلًا منَ الحرارةِ الناتجةِ منَ الاحتراقِ سوفَ ينتقلُ إلى الهواءِ المحيطِ، وتختلفُ كميةُ الحرارةِ الناتجةُ منَ الاحتراقِ باختلافِ نوعِ الوقودِ المستخدمِ، كذلكَ تختلفُ الموادُّ في قدرتِها على امتصاصِ الحرارةِ باختلافِ نوعِ المادةِ وطبيعتِها. ولفهمِ هذهِ التغيراتِ سوفَ نتعرفُ بعضَ المفاهيمِ الخاصةِ بالحرارةِ، مثلَ: السعةِ الحراريةِ، والحرارةِ النوعيةِ.



الشكلُ (8): قياسُ الحرارةِ الناتجةِ عنِ احتراقِ الوقودِ.

السعةُ الحراريةُ Heat Capacity

عندَ تعريضِ المادةِ للحرارةِ، فإنَّها تمتصُّ كميةً منَ الحرارةِ وترتفعُ درجةُ حرارتِها، وتُسمّى كميةُ الحرارةِ اللازمةُ لرفعِ درجةِ حرارةِ المادةِ درجةً سلسيوس واحدةً: **السعةَ الحرارية Heat Capacity**، يُرمَزُ إليْها بالحرفِ (C)، وهيَ تعتمدُ على كتلةِ المادةِ ومقدارِ التغيرِ في درجةِ حرارتِها، وتُقاسُ بوحدةِ جول/ درجة سلسيوس (J/°C)، ويمكنُ قياسُ كميـةِ الحرارةِ التي تمتصُّها المادةُ عندَ تسخينِها أوِ التي تنبعثُ منْها عندَ تبريدِها باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

$$q = C \cdot \Delta t$$

q: كميةُ الحرارةِ الممتصةِ أوِ المنبعثةِ (J)

C: السعةُ الحراريةُ للمادةِ (J/°C)

Δt: التغيرُ في درجـةِ الحـرارةِ (درجـةُ الحـرارةِ النهائيـةُ t_2 – درجـةُ الحـرارةِ الابتدائيـةُ t_1) ($\Delta t = t_2 - t_1$)

الحرارةُ النوعيةُ Specific Heat

تعدُّ **الحرارةُ النوعيةُ Specific Heat** منَ الخصائصِ المميزةِ للمادةِ، وتُعرَّفُ بأنَّها كميةُ الحرارةِ اللازمةُ لرفعِ درجةِ حرارةِ غرامٍ واحدٍ منَ المادةِ درجةً واحدةً سلسيوس عندَ ضغطٍ ثابتٍ. وتُقاسُ بوحدةِ (جول/ غرام. درجة سلسيوس) أوْ (J/g.°C)، فمثلًا، الحرارةُ النوعيةُ للماءِ تساوي (4.18 J/g.°C)، وهذا يعني أنَّهُ لرفعِ درجةِ حرارةِ غرامٍ واحدٍ من الماءِ درجةً واحدةً سلسيوس فإنَّ الغرامَ الواحدَ يمتصُّ طاقةً حراريةً مقدارُها (4.18J)، بينَما الحرارةُ النوعيةُ للحديدِ تساوي (0.45 J/g.°C)، وهذا يعني أنَّهُ لرفعِ درجةِ حرارةِ غرامٍ واحدٍ منَ الحديدِ درجةً واحدةً سلسيوس، فإنَّهُ يمتصُّ طاقةً حراريةً مقدارُها (0.45J)، وهذا أقلُّ بكثيرٍ منَ الحرارةِ التي يمتصُّها غرامٌ واحدٌ منَ الماءِ لتزدادَ درجةُ حرارتهِ درجةً واحدةً سلسيوس، أيْ أنَّهُ كلَّما قلَّتِ الحرارةُ النوعيةُ للمادةِ، فإنَّ امتصاصَها كمياتٍ قليلةً منَ الحرارةِ، يؤدي إلى زيادةٍ ملحوظةٍ في درجةِ حرارتها.

الربطُ بالعلومِ الحياتيّةِ

الحرارةُ النوعيةُ للماءِ والعلومُ الحياتيةُ:
تُقدَّرُ الحرارةُ النوعيةُ للماءِ بحوالي (4.18J/g.°C) وبهذا يُعدُّ الماءُ أكثرَ الموادِّ حرارةً نوعيةً في الطبيعةِ، وحيثُ إنَّهُ يشكلُ حوالي (70%) منْ أجسامِ الكائناتِ الحيةِ، فإنَّها لا تتأثرُ بتغيراتِ درجةِ الحرارةِ ليلًا ونهارًا صيفًا وشتاءً، فتبقى درجةُ حرارتِها ثابتةً؛ الأمرُ الذي يحافظُ على حياةِ الكائناتِ الحيةِ. وكذلكَ بالنسبةِ إلى مياهِ البحارِ والمحيطاتِ التي تتعرضُ لأشعةِ الشمسِ بشكلٍ كبيرٍ فإنَّ درجةَ حرارتِها لا تتأثرُ كثيرًا، ولا ترتفعُ درجةُ حرارتِها بشكلٍ كبيرٍ؛ فيجعلُها بيئةً مناسبةً لحياةِ كثيرٍ منَ الكائناتِ البحريةِ التي تعيشُ في هذهِ المياهِ سواءٌ الأسماكُ بأنواعِها أمِ النباتاتُ.

وعلى سبيلِ المثالِ:عندَ تسخينِ وعاءٍ منَ الحديدِ أوِ الألمنيومِ -يحتوي على كميةٍ منَ الماءِ- مدةً وجيزةً يُلاحَظُ أنَّ درجةَ حرارةِ طرفِ الوعاءِ البعيدِ عنِ الماءِ ترتفعُ بدرجةٍ أعلى بكثيرٍ منْ درجةِ حرارةِ الماءِ داخلَهُ. والسببُ في ذلكَ هوَ أنَّ الحرارةَ النوعيةَ للفلزاتِ بصفةٍ عامةٍ أقلُّ بكثيرٍ منَ الحرارةِ النوعيةِ للماءِ؛ فتكتسبُ بذلكَ حرارةً أكبرَ بكثيرٍ مما يكتسبهُ الماءُ. ويبينُ الجدولُ (1) قيمَ الحرارةِ النوعيةِ لكثيرٍ منَ الموادِّ عندَ درجةِ حرارةِ (25°C).

الجدولُ (1): الحرارةُ النوعيةُ لبعضِ الموادِّ عندَ درجةِ حرارةِ (25 °C).

المادةُ	الحرارةُ النوعيةُ (J/g. °C)
الماءُ (السائلُ)	4.18
الثلجُ	2.03
بخارُ الماءِ	2.01
الهواءُ	1.01
الإيثانولُ	2.44
المغنيسيومُ	1.02
الألمنيومُ	0.89
الكالسيومُ	0.65
الحديدُ	0.45
النحاسُ	0.38
الفضةُ	0.24
الذهبُ	0.13

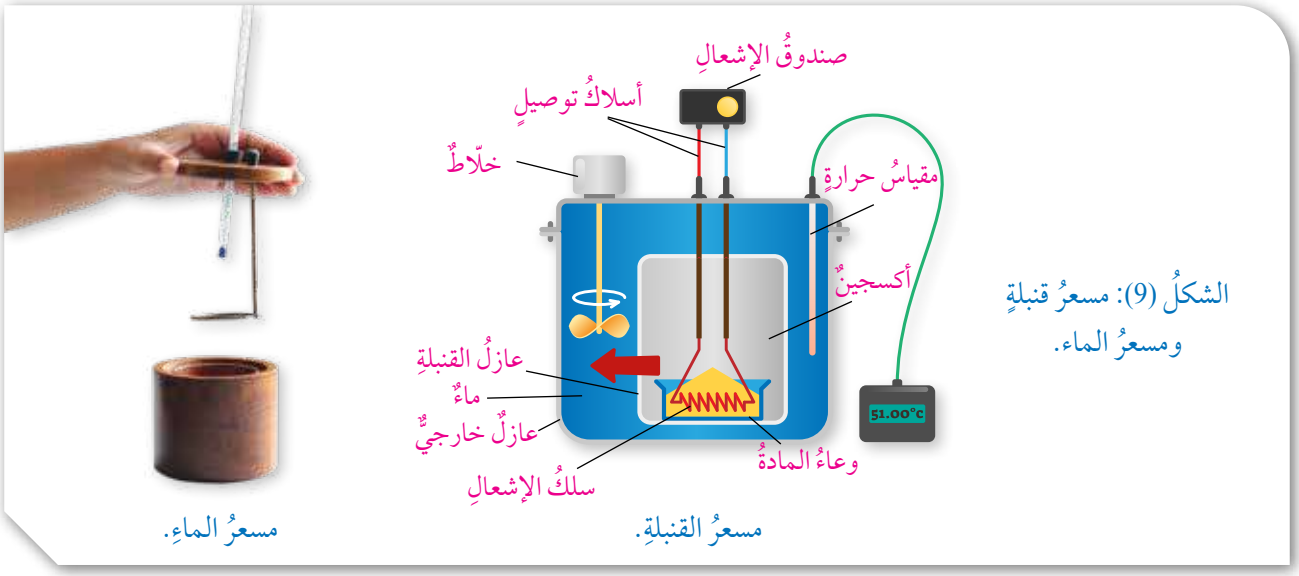
أيُّهما أكبرُ: الحرارةُ النوعيةُ للماءِ أمْ للفلزاتِ؟

أفكّرُ: لماذا تبقى درجةُ حرارةِ جسمِ الإنسانِ السطحيةِ ثابتةً تقريبًا (37°C) على الرغمِ منْ تعرضهِ لتقلباتِ الحرارةِ اليوميةِ؟

قياسُ الحرارةِ النوعيةِ للمادةِ

Measuring the Specific Heat of A Substance

يُستخدَمُ لقياسِ الحرارةِ النوعيةِ للمادةِ جهازٌ يُسمّى **المُسعِرَ Calorimetr**، وهوَ وعاءٌ معزولٌ حراريًّا، يُستخدَمُ لقياسِ كميةِ الطاقةِ الممتصةِ أوِ المنبعثةِ منْ تفاعلٍ كيميائيٍّ أوْ تحوُّلٍ فيزيائيٍّ، حيثُ توضعُ فيهِ كميةٌ معلومةٌ منَ الماءِ تعملُ على امتصاصِ الحرارةِ الناتجةِ منَ التفاعلِ أوْ تزويدِ التفاعلِ بالحرارةِ اللازمةِ، ويمكنُ قياسُ التغيرِ في درجةِ حرارةِ الماءِ؛ لأنها تمثلُ التغيرَ في درجةِ حرارةِ التفاعلِ، وبذلكَ يمكنُ قياسُ الحرارةِ الممتصةِ أوِ المنبعثةِ وقياسُ الحرارةِ النوعيةِ. وللمُسعِرِ أنواعٌ وأشكالٌ متعددةٌ، مثلُ: مُسعِرِالقنبلةِ، ومُسعِرِ الماءِ، ومُسعِرِ الثلجِ، ومُسعِرِ التكثيفِ وغيرِها. ويبينُ الشكلُ (9) مُسعِرَ القنبلةِ ومُسعِرَ الماءِ .



الشكلُ (9): مسعرُ قنبلةٍ ومسعرُ الماءِ.

الربطُ بعلومِ الأرضِ: نسيمُ البرِّ ونسيمُ البحرِ

يحدثُ نسيمُ البحرِ بسببِ اختلافِ تسخينِ أشعةِ الشمسِ لكلٍّ منْ ماءِ البحرِ، واليابسةِ المجاورةِ، وحيثُ إنَّ الحرارةَ النوعيةَ لليابسةِ أقلُّ منَ الحرارةِ النوعيةِ للماءِ؛ فإنَّ اليابسةَ تمتصُّ كميةً منَ الحرارةِ أكثرَ منَ التي يمتصُّها الماءُ، وتَسخُنُ بسرعةٍ أكبرَ منَ الماءِ، ويَسخُنُ الهواءُ فوقَ اليابسةِ بسرعةٍ أكبرَ منْ ذلكَ الموجودِ فوقَ الماءِ، ويرتفعُ إلى الأعلى، ويسببُ انخفاضًا في الضغطِ الجويِّ فوقَ اليابسةِ معَ بقاءِ الهواءِ الذي فوقَ الماءِ أقلَّ حرارةً، وأكثرَ كثافةً، وأكثرَ ضغطًا؛ فيندفعُ نحوَ اليابسةِ تياراتٍ هوائيةً تُسمّى نسيمَ البحرِ، ويحدثُ ذلكَ عادةً في أثناءِ النهارِ أيامَ الصيفِ والربيعِ.

أما في الليلِ وبسببِ ارتفاعِ الحرارةِ النوعيةِ للماءِ، فإنَّهُ يفقدُ الحرارةَ ببطءٍ أكثرَ منَ اليابسةِ التي تفقدُ الحرارةَ بسرعةٍ أكبرَ، فتبقى درجةُ حرارةِ الهواءِ فوقَ الماءِ أكبرَ منَ الهواءِ فوقَ اليابسةِ، ويرتفعُ إلى الأعلى، ويقلُّ الضغطُ الجويُّ فوقَ الماءِ فيندفعُ تياراتٍ هوائيةً باردةً منَ اليابسةِ نحوَ البحرِ تُسمّى نسيمَ البرِّ، وهذا يحدثُ عادةً في أثناءِ الليلِ.

حسابُ كميةِ الحرارةِ الممتصةِ أوِ المنبعثةِ

Calculate Quantity of Heat Absorbed or Emitted

عرفتُ في ما سبق أنَّ الحرارةَ النوعيةَ للفلزاتِ أقلُّ منْها للماءِ، وهذا يشيرُ إلى أنَّ قدرةَ الفلزاتِ على امتصاصِ الحرارةِ وتوصيلِها أكبرُ بكثيرٍ منْ قدرةِ الماءِ، فمثلًا، عندَ تعريضِ كتلةٍ منَ الماءِ وقطعةٍ منَ الحديدِ أوِ الألمنيومِ لَهما الكتلةُ نفسُها لأشعةِ الشمسِ مدةً محددةً، نجدُ أنَّ قطعةَ الحديدِ أَوِ الألمنيومِ ترتفعُ درجةُ حرارتِها أضعافَ ما ترتفعُ إليهِ كتلةُ الماءِ، وهذا يعني أنَّها تمتصُّ كميةً منَ الحرارةِ أكبرَ منْ تلكَ التي تمتصُّها كتلةُ الماءِ، أيْ أنَّ كميةَ الحرارةِ الممتصةِ تعتمدُ على الحرارةِ النوعيةِ للمادةِ، والتغيُّرِ في درجةِ الحرارةِ، وكتلةِ المادةِ. ويمكنُ حسابُ كميةِ الحرارةِ التي تمتصُّها المادةُ نتيجةَ تعرضِها للحرارةِ منَ العلاقةِ الآتيةِ:

$$q = s \times m \times \Delta t$$

حيثُ:

- q : كميةُ الحرارةِ الممتصةِ أو المفقودةِ (J)
- s : الحرارةُ النوعيةُ للمادةِ (J/g.°C)
- m : كتلةُ المادةِ (g)
- t_1 : درجةُ الحرارةِ الابتدائيةُ (°C)
- t_2 : درجةُ الحرارةِ النهائيةُ (°C)
- Δt : التغيرُ في درجةِ الحرارةِ ($\Delta t = t_2 - t_1$)

المثالُ ١

جرى تسخينُ (20 g) منَ الماءِ منْ (25°C) إلى (30°C)، أحسبُ كميةَ الحرارةِ التي امتصتْها هذهِ الكتلةُ منَ الماءِ.

تحليلُ السؤالِ (المعطياتُ):

$m = 20\ g$

$s = 4.18\ J/g.\ °C$

$\Delta t = t_2 - t_1 = 30 - 25 = 5°\ C$

المطلوبُ: حسابُ كميةِ الحرارةِ الممتصةِ q

الحلُّ:

$q = s \times m \times \Delta t$

$q = 4.18 \frac{J}{g.°C} \times 20\ g \times 5°\ C = 418\ J$

المثالُ 2

سُخِّنَتْ قطعةٌ منَ الحديدِ كتلتُها (50 g) فارتفعتْ درجةُ حرارتِها منْ (25°C) إلى (40°C) أحسبُ كميةَ الحرارةِ التي امتصتْها هذهِ الكتلةُ منَ الحديدِ.

تحليلُ السؤالِ (المعطياتُ):

$m = 50\ g$

$s = 0.45\ J/g.\ °C$

$\Delta t = t_2 - t_1 = 40 - 25 = 15°\ C$

المطلوبُ: حسابُ كميةِ الحرارةِ الممتصةِ q

الحلُّ:

$q = s \times m \times \Delta t$

$q = 0.45\ \frac{J}{g.°C} \times 50\ g \times 15°\ C = 337.5\ J$

ألاحظُ أنَّهُ عندَ تبريدِ المادةِ وخفضِ درجةِ حرارتِها، فإنَّها ستفقدُ الطاقةَ الحراريةَ إلى الوسطِ المحيطِ، وتعتمدُ كميةُ الطاقةِ المنبعثةِ (المفقودةِ) أيضًا على التغيرِ في درجةِ حرارةِ المادةِ وكتلتِها، وتكونُ مساويةً لكميةِ الحرارةِ الممتصةِ عندَ الظروفِ نفسِها، وأيضًا يمكنُ حسابُها باستخدامِ العلاقةِ السابقةِ، والفارقُ أنَّ كميةَ الحرارةِ في هذهِ الحالةِ ستتخذُ إشارةً سالبةً، وهذا يعني أنَّ الحرارةَ منبعثةٌ منَ المادةِ.

المثالُ 3

وُضِعَتْ قطعةٌ منَ النحاسِ كتلتُها (5 g) ودرجةُ حرارتِها (25°C) في حوضِ ماءٍ باردٍ؛ فانخفضتْ درجةُ حرارتِها إلى (15°C)، أحسبُ كميةَ الحرارةِ المنبعثةِ منْ هذهِ القطعةِ.

تحليلُ السؤالِ (المعطياتُ):

$m = 5\ g$

$s = 0.38\ J/g.\ °C$

$\Delta t = t_2 - t_1 = 15 - 25 = -10°\ C$

المطلوبُ: حسابُ كميةِ الحرارةِ المنبعثةِ q

الحلُّ:

$q = s \times m \times \Delta t$

$q = 0.38\ \frac{J}{g.°C} \times 5\ g \times -10°\ C = -19\ J$

✓ أتحقَّقُ:

1) قطعةٌ منَ الألمنيومِ كتلتُها (150 g)، ما كميةُ الحرارةِ اللازمةِ لرفعِ درجةِ حرارتِها (30°C)؟

2) عُرِّضَتْ قطعةٌ منَ الفضةِ كتلتُها (50 g) ودرجةُ حرارتِها (45°C) لتيارِ هواءٍ باردٍ؛ فانطلقتْ كميةٌ منَ الحرارةِ مقدارُها (240 J)، فكمْ تكونُ درجةُ حرارتِها النهائيةُ؟

التجربةُ 2

قياسُ الحرارةِ النوعيةِ للنحاسِ

الموادُّ والأدواتُ:

كأسانِ زجاجيتانِ بسعةِ (300 mL)، كأسُ بوليسترين، ميزانُ حرارةٍ كحوليٌّ، مِلقطٌ معدنيٌّ، ميزانٌ حساسٌ، ماءٌ مقطرٌ، كرةٌ نحاسيةٌ، منصبٌ، لهبُ بنسن أوْ سخانٌ كهربائيٌّ.

إرشاداتُ السلامةِ:

أحذرُ منْ لمسِ الكأسِ الساخنةِ أوِ الكرةِ النحاسيةِ الساخنةِ بيديَّ، أوِ الإمساكِ بهما مباشرةً.

خطواتُ العملِ:

1. **أزنُ** الكرةَ النحاسيةَ باستخدامِ الميزانِ الحساسِ، وأسجلُ كتلتَها.
2. أُضيفُ إلى الكأسِ الزجاجيةِ (100 mL) منَ الماءِ، وأضيفُ إليْها الكرةَ النحاسيةَ، وأضعُها على اللهبِ أوِ السخانِ الكهربائيِّ.
3. **أقيسُ:** أُضيفُ إلى كأسِ البوليسترينِ (100 mL) منَ الماءِ، وأضعُها في الكأسِ الزجاجيةِ الفارغةِ، وأقيسُ درجةَ حرارةِ الماءِ (t_1) وأسجلُها.
4. **أُلاحِظُ** غليانَ الماءِ في الكأسِ، وعندَها أقيسُ درجةَ حرارةِ الكأسِ والكرةِ النحاسيةِ (t_2)، وأسجلُها.
5. أستخرجُ الكرةَ النحاسيةَ منَ الماءِ باستخدامِ الملقطِ، وأضعُها في كأسِ البوليسترينِ، وأسجلُ أعلى درجةِ حرارةٍ يصلُ إليْها الماءُ (t_3).
6. **أُلاحِظُ:** هلِ ارتفعتْ درجةُ حرارةِ الماءِ بعدَ وضعِ الكرةِ النحاسيةِ فيهِ أمِ انخفضتْ؟
7. **أنظمُ:** أسجلُ البياناتِ والقياساتِ، وأنظمُها في جدولٍ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1- **أحسبُ** التغيرَ في درجةِ حرارةِ الماءِ في كأسِ البوليسترينِ بعدَ إضافةِ الكرةِ النحاسيةِ إليهِ. ماذا أستنتجُ؟

2- **أحسبُ** التغيرَ في درجةِ حرارةِ الكرةِ النحاسيةِ بعدَ وضعِها في كأسِ البوليسترينِ. ماذا أستنتجُ؟

3- أبينُ العلاقةَ بينَ كميةِ الحرارةِ في الحالتيْنِ السابقتيْنِ.

4- **أستنتجُ** الحرارةَ النوعيةَ للنحاسِ.

5- **أقارنُ:** أطابقُ النتيجةَ التي حصلتُ عليْها معَ القيمةِ المسجلةِ في الجدولِ، ثمَّ أفسرُ سببَ الاختلافِ إنْ وُجِدَ.

أبحثُ

يهتـمُّ اختصاصيـو التغذيـةِ بحسـابِ السـعراتِ الحراريةِ اللازمةِ للجسـمِ؛ مـنْ أجلِ بنـاءِ نظامٍ غذائـيٍّ متوازنٍ، فكيـفَ تُحسَـبُ كميةُ الحـرارةِ والسـعراتُ الحراريةُ للمـوادِّ الغذائيـةِ المختلفةِ؟

مسـتعينًا بالكلمـاتِ المفتاحيـةِ الآتيـةِ: (السـعراتُ الحراريـةُ، النظـامُ الغذائـيُّ، السـعراتُ الحراريةُ فـي الموادِّ الغذائيـةِ، إنقـاصُ الـوزنِ، زيـادةُ الـوزنِ) أبحـثُ عنْ طرائـقِ حسـابِ السـعراتِ الحراريـةِ للأطعمـةِ المختلفةِ، وأكتـبُ تقريـرًا بذلكَ، أوْ أصمـمُ عرضًا تقديميًّا حـولَ الموضوعِ، وأعرضـهُ على زملائي/ زميلاتـي في الصفِّ.

مراجعةُ الدرسِ

1- **الفكرةُ الرئيسةُ:** أوضح أثر تبادل المواد للطاقة مع الوسط المحيط.

2- ما المقصودُ بكلٍّ منَ:

- السعةِ الحراريةِ؟
- الحرارةِ النوعيةِ؟

3- **أفسرُ:** عندَ تعرضِ الفلزاتِ لأشعـةِ الشمسِ في أيـامِ الصيفِ الحارَّةِ ترتفعُ درجـاتُ حرارتِها ارتفاعًا متفاوتًا.

4- أُجيبُ عمّا يأتي:

أ) **أحسبُ** كميةَ الحرارةِ الناتجةِ منْ تبريدِ (100 g) ماءٍ منْ (85°C) إلى (40°C).

ب) **أحسبُ** كميةَ الحرارةِ اللازمةِ لرفعِ درجةِ حرارةِ (100 g) إيثانول منْ (15°C) إلى (350°C).

5- **أحسبُ** الحرارةَ النوعيةَ لمادةِ الغرانيت؛ إذا امتصتْ قطعةٌ منهُ كتلتُها (200 g) كميةً منَ الحرارةِ مقدارُها (3212 J)؛ عندَ رفعِ درجةِ حرارتِها بمقدارِ (20°C).

6- **أفسرُ:** وُضِعَتْ ثلاثُ صفائحَ متماثلةٍ في الكتلةِ منَ النحاسِ، والألمنيومِ، والحديدِ تحتَ أشعةِ الشمسِ في أحدِ أيامِ الصيفِ الحارَّةِ؛ بحيثُ تكتسبُ جميعُها كميةَ الطاقةِ الحرارية نفسَها، ونُقِلَتْ هذهِ الصفائحُ إلى ثلاثةِ مسعراتٍ تحوي كميةً متماثلةً منَ الماءِ عندَ درجةِ حرارةِ الغرفةِ، فأيُّ هذهِ المسعراتِ تصبحُ درجةُ حرارةِ الماءِ فيهِ أكبرَ ما يمكنُ؟ أدعمُ إجابتي بالمبرراتِ.

حساباتُ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ
Energy Calculations in Chemical Reactions

الدرسُ 3

الفكرةُ الرئيسةُ :
يرافقُ حدوثَ التفاعلاتِ تغيرٌ في المحتوى الحراريِّ، يمكنُ حسابهُ بطرائقَ مختلفةٍ.

نتاجاتُ التعلمِ :
- أوضحُ مفهومَ طاقةِ الرابطةِ.
- أحسبُ الحرارةَ المرافقةَ للتفاعلِ باستخدامِ قيمِ طاقةِ الرابطةِ.
- أطبقُ قانونَ هيس لحسابِ المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ.
- أحسبُ كميةَ الحرارةِ المرافقةِ لتفاعلِ كتلةٍ معينةٍ منَ المادةِ باستخدامِ المعادلةِ الموزونةِ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ :
القيمةُ الحراريةُ للوقودِ
Thermal Fuel Value
طاقةُ الرابطةِ Bond Energy
قانونُ هيس Hess's Law
حرارةُ التكوينِ القياسيةُ
Standard Enthalpy of Formation
المعادلةُ الكيميائيةُ الحراريةُ
The Thermochemical Equation

حسابُ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ
Calculate Enthalpy Change

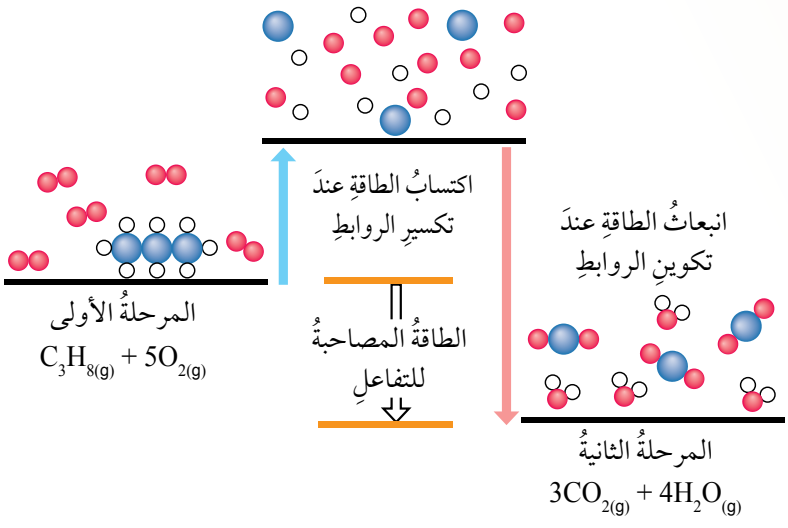
تختلفُ التفاعلاتُ في آلياتِ حدوثِها وسرعتِها؛ فبعضُها يحدثُ في ظروفٍ صعبةٍ لا يمكنُ توافرُها في المختبرِ، وبعضُها قدْ يستغرقُ حدوثهُ زمنًا طويلًا، فيصعبُ قياسُ حرارةِ التفاعلِ بالمسعرِ والطرائقِ التقليديةِ؛ لذلكَ يلجأُ الكيميائيونَ إلى استخدامِ طرائقَ نظريةٍ لحسابِ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ. وسوفَ أتعرفُ بعضَ هذهِ الطرائقِ.

طاقةُ الرابطةِ Bond Energy

ما مصدرُ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ؟ وما التغيراتُ التي تحدثُ على الموادِّ خلالَ التفاعلِ، وتسببُ تغيُّرًا في طاقتِها؟
تمرُّ التفاعلاتُ الكيميائيةُ عادةً بمرحلتيْنِ: المرحلةُ الأولى يحدثُ فيها تكسيرُ الروابطِ بينَ ذراتِ الموادِّ المتفاعلةِ؛ فيتطلبُ اكتسابَ الذراتِ طاقةً كافيةً لكسرِ الروابطِ بينَها، والمرحلةُ الثانيةُ تحدثُ فيها إعادةُ ترتيبِ الذراتِ، وتكوينُ روابطَ بينَها في تراكيبَ كيميائيةٍ جديدةٍ، ويمكنُ استخدامُ طاقةِ الروابطِ في حسابِ التغيُّرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ؛ فمثلًا عندَ احتراقِ غازِ البروبانِ بوجودِ الأكسجينِ كما في المعادلةِ:

$$C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$$

فإنَّ التفاعلَ يمرُّ بمرحلتيْنِ أساسيتيْنِ، كما في الشكلِ (10).



الشكلُ (10): مراحلُ احتراقِ البروبانِ.

في المرحلةِ الأولى تتكسرُ الروابطُ بينَ ذراتِ الكربونِ والهيدروجينِ، والروابطُ بينَ ذراتِ الكربونِ في البروبانِ (C_3H_8) وكذلكَ الرابطةُ بينَ ذرتَي الأكسجينِ في جزيءِ الأكسجين (O_2)، فتكتسبُ كلُّ رابطةٍ منْها كميةً كافيةً منَ الطاقةِ لكسرِها، وبذلكَ تكونُ هذهِ العمليةُ ماصةً للطاقةِ.

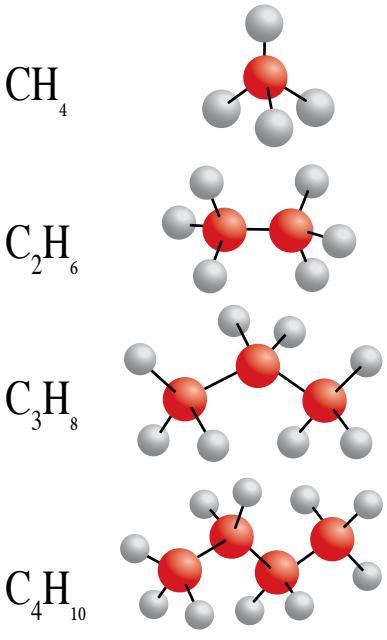
أمّا في المرحلةِ الثانيةِ فتتكونُ روابطُ جديدةٌ بينَ ذراتِ الكربونِ والأكسجينِ في المركبِ (CO_2) الناتجِ، وكذلكَ بينَ ذراتِ الأكسجينِ والهيدروجينِ في المركبِ (H_2O)، ويرافقُ تكوينَ هذهِ الروابطِ انبعاثُ كميةٍ منَ الطاقةِ، وتكونُ هذهِ العمليةُ طاردةً للطاقةِ؛ ذلك أنَّ الطاقةَ المنبعثةَ نتيجةَ تكوينِ الروابطِ الجديدةِ أكبرُ منَ الطاقةِ اللازمةِ لتكسيرِ الروابطِ في الموادِّ المتفاعلةِ.

ويبينُ الجدولُ (2) كميةَ الطاقةِ المنبعثةِ عنْ حرقِ مولٍ منَ الألكاناتِ المختلفةِ (وهيَ موادُّ تتكونُ منَ الكربونِ والهيدروجينِ).

أصممُ باستخدامِ برنامجِ السكراتش (Scratch) عرضًا يوضحُ مراحلَ تفاعلِ احتراقِ البروبانِ، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

الجدولُ (2): كميةُ الطاقةِ المنبعثةِ منِ احتراقِ مولٍ منْ بعضِ الألكاناتِ.

اسمُ الألكانِ	الصيغةُ الجزيئيةُ للألكانِ	كميةُ الحرارةِ (kJ/mol)
الميثانُ	CH_4	-882
الإيثانُ	C_2H_6	-1542
البروبانُ	C_3H_8	-2202
البيوتانُ	C_4H_{10}	-2877
البنتانُ	C_5H_{12}	-3487
الهكسانُ	C_6H_{14}	-4141



ألاحظُ أنَّهُ بزيادةِ عددِ ذراتِ الكربونِ في الألكانِ تزدادُ كتلتهُ المولية، وبذلكَ تزدادُ كميةُ الطاقةِ الناتجةِ منِ احتراقِها. وتُسمّى كميةُ الحرارةِ الناتجةِ منْ حرقِ غرامٍ واحدٍ منَ الوقودِ حرقًا تامًّا بوجودِ الأكسجينِ **القيمةَ الحراريةَ للوقودِ Thermal Fuel Value.**

يتضحُ أنَّ التفاعلَ الكيميائيَّ في مرحلتِهِ الأولى يتضمنُ تكسيرَ الروابطِ بينَ ذراتِ الموادِّ المتفاعلةِ، وهذا يتطلبُ تزويدَ هذهِ الروابطِ بكميةٍ كافيةٍ منَ الطاقةِ لكسرِها، ويُطلَقُ على كميةِ الطاقةِ هذهِ **طاقةُ الرابطةِ Bond Energy**، وهيَ كميةُ الطاقةِ اللازمةِ لكسرِ مولٍ منَ الروابطِ بينَ ذرتيْنِ في جزيءٍ غازيٍّ، وتُقاسُ بوحدةِ الكيلوجول/ مول (kJ/mol)، ويُرمَزُ إليْها (BE).

أما في المرحلةِ الثانيةِ، فتتكونُ روابطُ جديدةٌ ويرافقُ ذلكَ انبعاثُ كميةٍ منَ الطاقةِ، وانخفاضٌ في طاقةِ الموادِّ الناتجةِ، وتبعًا لقانونِ حفظِ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ، فإنَّ مجموعَ الطاقةِ التي تمتصُّها الروابطُ في الموادِّ المتفاعلةِ التي تنبعثُ عندَ تكوينِ الروابطِ الجديدةِ يمثلُ التغيُّرَ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ (ΔH)، ويبينُ الجدولُ (3) قيمَ طاقةِ عددٍ منَ الروابطِ مقيسةً بالكيلو جول/ مول.

الجدولُ (3): قيمُ طاقةِ عددٍ منَ الروابطِ مقيسةً بالكيلو جول/مول (kJ\mol)

روابطُ أحاديةٌ									
	H	C	N	O	S	F	Cl	Br	I
H	436								
C	413	348							
N	391	393	163						
O	463	358	201	146					
S	339	259	-----	--	266				
F	567	485	272	190	327	159			
Cl	431	328	200	203	253	253	242		
Br	366	276	243	-----	218	237	218	193	
I	299	240	--	234	--	---	208	175	151
روابطُ متعددةٌ									
C=C	614	C=N	615	N=N	418				
C≡C	839	C≡N	891	C=O	804	(in CO_2)			
C≡O	1076	N=O	607	S=O	323				
N≡N	945	O=O	498	S=S	418				

وتجدرُ الإشارةُ هنا إلى أنَّ كميةَ الطاقةِ اللازمةِ لكسرِ الرابطةِ (طاقةِ الرابطةِ) تساوي كميةَ الطاقةِ الناتجةِ عندَ تكوينِها، وكذلكَ تجدرُ الإشارةُ إلى أنَّ طاقةَ الروابطِ في الموادِّ الناتجةِ تكونُ سالبةً بسببِ انبعاثِ الطاقةِ عندَ تكوينِ الرابطةِ، وتبينُ العلاقةُ الآتيةُ كيفيةَ احتسابِ الحرارةِ المرافقةِ للتفاعلِ (ΔH):

$$\Delta H = \sum BE_{re} + (-\sum BE_{pr})$$

ويمكنُ إعادةُ ترتيبِ هذهِ العلاقةِ لتصبحَ:

$$\Delta H = \sum BE_{re} - \sum BE_{pr}$$

$\sum BE_{re}$: مجموعُ طاقةِ الروابطِ التي يتمُّ تكسيرُها في الموادِّ المتفاعلةِ.

$\sum BE_{pr}$: مجموعُ طاقةِ الروابطِ التي يتمُّ تكوينُها في الموادِّ الناتجـةِ.

والأمثلةُ الآتيةُ توضحُ كيفيةَ احتسابِ حرارةِ التفاعلِ باستخدامِ طاقةِ الرابطةِ:

المثالُ 4

يتكونُ غازُ كلوريدِ الهيدروجينِ وفقًا للمعادلةِ الآتيةِ:

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

باستخدامِ الجدولِ (3) الذي يمثلُ طاقاتِ الروابطِ؛ أحسبُ الحرارةَ المرافقةَ للتفاعلِ.

تحليلُ السؤالِ: (المعطياتُ)

ألاحـظُ أنَّ هنـاكَ رابطـةً أحاديـةً بينَ ذرتَـي الكلـورِ (Cl – Cl) وأنَّ رابطـةً أحاديةً كذلكَ بيـنَ ذرتَي الهيدروجيـنِ (H – H) فـي المـوادِّ المتفاعلـةِ، وأنَّ هنـاكَ جزيئيْـنِ مـنْ (HCl)، كلُّ جـزيءٍ منْهـا يحتـوي علـى رابطـةٍ أحاديةٍ (H – Cl).

أيْ أنَّ عددَ الروابطِ (H – Cl) = 1 × 2 = 2

الحلُّ:

$$\Delta H = \sum BE_{re} - \sum BE_{pr}$$

$$= 1 \times (H - H) + 1 \times (Cl - Cl) - 2 \times (H - Cl)$$

$$= 436 + 242 - 2\,(431) = -184\ kJ$$

الإشارةُ السالبةُ لحرارةِ التفاعلِ تشيرُ إلى أنَّ التفاعلَ طاردٌ للحرارةِ.

المثالُ 5

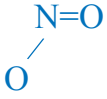
يتفاعلُ النيتروجينُ معَ الأكسجينِ مكونًا أكسيدَ النيتروجينِ كما في المعادلةِ الآتيةِ:

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

باستخدامِ الجدولِ (3) الذي يمثلُ طاقاتِ الروابطِ؛ أحسبُ التغيرَ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ.

تحليلُ السؤالِ:

ألاحظُ أنَّهُ في الموادِّ المتفاعلةِ يوجدُ جزيءُ (N_2) الذي يحتوي على رابطةٍ ثلاثيةٍ بينَ ذرتَي النيتروجينِ (N≡N) بالإضافةِ إلى جزيئيْنِ منَ الأكسجينِ، يحوي كلٌّ منهُما رابطةً ثنائيةً بينَ ذرتَي الأكسجينِ (O=O) أما في الموادِّ الناتجةِ، فهناكَ جزيئانِ منْ (NO_2) يحتوي كلٌّ منهُما على رابطةٍ ثنائيةٍ معَ إحدى ذراتِ الأكسجينِ (N=O)، وعلى رابطةٍ أحاديةٍ معَ الذرةِ الأخرى (N–O) فيكونُ هناكَ رابطتانِ (N=O) ورابطتانِ (N–O) في النواتجِ



الحلُّ:

$$\Delta H = \sum BE_{re} - \sum BE_{pr}$$

$$= 1 \times (N \equiv N) + 2 \times (O = O) - (2 \times (N=O) + 2 \times (N - O)$$

$$= 1 \times 945 + 2 \times 498 - (2 \times 607) + (2 \times 201)$$

$$= 1941 - 1616 = +325\ kJ$$

ألاحظُ أنَّ الإشارةَ الموجبةَ لحرارةِ التفاعلِ تشيرُ إلى أنَّ التفاعلَ ماصٌّ للحرارةِ.

✓ أتحقَّقُ:

بالاعتمادِ على جدولِ طاقاتِ الروابطِ (3): أحسبُ تغيُّرَ المحتوى الحراريِّ للتفاعليْنِ الآتييْنِ، وأصنفُها إلى ماصةٍ، وأخرى طاردةٍ للحرارةِ:

1) تفاعلُ غازِ الميثانِ معَ غازِ الكلورِ لتكوينِ غازِ كلورو ميثانِ وغازِ كلوريدِ الهيدروجينِ، كما في المعادلةِ الآتيةِ:

$$CH_{4(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow CH_3Cl_{(g)} + HCl_{(g)}$$

2) تحلُّلُ الماءِ وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

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

قانونُ هيس Hess's Law

يحدثُ كثيرٌ منَ التفاعلاتِ الكيميائيةِ بخطوتيْنِ أوْ أكثرَ، ويمثلُ مجموعُ هذهِ الخطواتِ المعادلةَ النهائيةَ للتفاعلِ، ولما كانَ التغيُّرُ في المحتوى الحراريِّ لا يعتمدُ على مسارِ حدوثِ التفاعلِ أوِ الخطواتِ التي يمرُّ بِها، ويعبرُ عنِ الحالةِ النهائيةِ للتفاعلِ، فقدْ توصلَ الكيميائيُّ جيرمان هنري هيس Germain Henri Hess إلى أنَّ التغيُّرَ في المحتوى الحراريِّ يساوي مجموعَ التغيراتِ الحراريةِ لخطواتِ حدوثِ التفاعلِ سواءٌ أَحدثَ التفاعلُ بخطوةٍ واحدةٍ أمْ أكثرَ، وهذا ما يُعرَفُ **بقانونِ هيس Hess's Law** الذي ينصُّ على أنَّ «التغيُّرَ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ يعتمدُ على طبيعةِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ، وليسَ على مسارِ حدوثِ التفاعلِ». ولتوضيحِ كيفيةِ حسابِ حرارةِ التفاعلِ باستخدامِ قانونِ هيس ندرسُ الأمثلةَ الآتيةَ:

جيرمان هنري هيس

المثالُ 6

يتفاعلُ الغرافيتُ (C) معَ الأكسجينِ لتكوينِ أولِ أكسيدِ الكربونِ كما في المعادلةِ الآتيةِ:

$$2C_{(S)} + O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{(g)}$$

عندَ إجراءِ التفاعلِ، يتكونُ خليطٌ منْ أولِ أكسيدِ الكربونِ (CO) وثاني أكسيدِ الكربونِ (CO_2)، ويمكنُ زيادةُ نسبةِ الأكسجينِ للحصولِ على ثاني أكسيدِ الكربونِ (CO_2) كما في المعادلتيْنِ الآتيتيْنِ، أيْ أنَّهُ يمكنُ وضعُ تصوُّرٍ لحدوثِ التفاعلِ يشتملُ على خطوتيْنِ لكلٍّ منهُما حرارةُ تفاعلٍ خاصةٌ بِها كما يأتي:

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -393.5\ kJ \quad \ldots\ldots (1$$

$$CO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -283\ kJ \quad \ldots\ldots (2$$

باستخدامِ المعادلتيْنِ (2،1) أحسبُ حرارةَ التفاعلِ.

تحليلُ السؤالِ:

لحسابِ حرارةِ التفاعلِ يجبُ إعادةُ تنظيمِ التفاعليْنِ لنحصلَ عندَ جمعِهما على المعادلةِ النهائيةِ للتفاعلِ، وحيثُ إنَّ الناتجَ النهائيَّ للتفاعلِ يتضمنُ أولَ أكسيدِ الكربونِ (CO)، ولابدَّ أنْ يظهرَ في النواتجِ عندَ جمعِ المعادلتيْنِ، ولذلكَ نعكسُ المعادلةَ (2) ونعكسُ إشارةَ (ΔH) ونضربُ المعادلةَ في (2) للتخلصِ منَ الكسرِ في المعادلةِ؛ لتصبحَ على النحوِ الآتي:

$$2CO_{2(g)} \rightarrow 2CO_{(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H = +566\ kJ \quad \ldots\ldots (3$$

يصبحُ لديْنا المعادلتانِ على النحوِ الآتي:

$$2CO_{2(g)} \rightarrow 2CO_{(g)} + O_{2(g)} \qquad \Delta H = +566\ kJ \quad \ldots\ldots (3$$

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \qquad \Delta H = -393.5\ kJ \quad \ldots\ldots (1$$

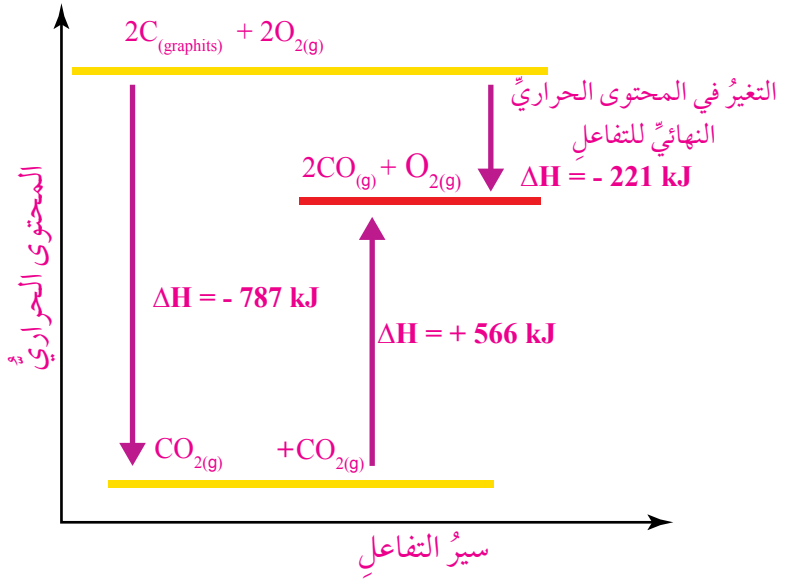
ألاحظُ أنَّ المركبَ (CO_2) لا يُظهرُ في معادلةِ التفاعلِ المطلوبِ حسابَ التغيُّرِ في المحتوى الحراريِّ لهُ، لذلكَ يجبُ التخلصُ منهُ عندَ جمعِ المعادلتيْنِ، وعليهِ، يجبُ أنْ تكونَ أعدادُ مولاتهِ متساويةً في المعادلتيْنِ لأتمكّنَ منِ اختصارهِ، فأضربُ المعادلةَ (1) في (2)، وأجمعُ المعادلتيْنِ (1) و (3) معَ مراعاةِ اختصارِ الصيغِ المتماثلةِ على جانبَيْ المعادلتيْنِ، وأحصلُ على صافي المعادلةِ الكليةِ للتفاعلِ ومقدارِ التغيُّرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ كما يأتي:

$$2\cancel{CO_{2(g)}} \rightarrow 2CO_{(g)} + \cancel{O_{2(g)}} \qquad \Delta H = +566\ kJ \quad \ldots\ldots (3$$

$$2C_{(s)} + \cancel{2O_{2(g)}} \rightarrow \cancel{2CO_{2(g)}} \qquad \Delta H = -787\ kJ \quad \ldots\ldots (1$$

$$2C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{(g)} \qquad \Delta H = -221\ kJ$$

وهكذا يمكنُ حسابُ حرارةِ التفاعلِ أوِ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ باستخدامِ قانونِ هيس، ويبينُ الشكلُ (11) مخططَ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ لتفاعلِ الغرافيتِ معَ الأكسجينِ.



الشكلُ (11): مخططُ تغيرِ المحتوى الحراريِّ لتفاعلِ الكربونِ معَ الأكسجينِ.

المثالُ 7

يتفاعلُ الأكسجينُ معَ غازِ كلوريدِ الهيدروجينِ؛ وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$4HCl_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Cl_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

أستخدمُ المعادلتيْنِ الآتيتيْنِ لحسابِ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ:

$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2HCl_{(g)} \qquad \Delta H = -185\ kJ \quad \ldots\ldots (1$$

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)} \qquad \Delta H = -484\ kJ \quad \ldots\ldots (2$$

تحليلُ السؤالِ: (المعطياتُ):

ألاحظُ أنَّ المعادلةَ المطلوبةَ لا تتضمنُ المركبَ HCl في الموادِّ الناتجةِ، وإنما يوجدُ في الموادِّ المتفاعلةِ؛ لذلكَ أعكسُ المعادلةَ (1)، وأعكسُ إشارةَ (ΔH)؛ لتصبحَ المعادلةُ كما يأتي:

$$2HCl_{(g)} \rightarrow H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \qquad \Delta H = +185\ kJ \quad \ldots\ldots (3$$

وحيثُ إنَّ المعادلةَ النهائيةَ تحتوي على (4) مولاتٍ منْ HCl، في حينِ أنَّ المعادلةَ (3) تحتوي على موليْنِ منهُ؛ فإنّي أضربُ المعادلةَ (3) وقيمةَ (ΔH) بـِ (2)، وتصبحُ المعادلةُ كما يأتي:

$$4HCl_{(g)} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2Cl_{2(g)} \qquad \Delta H = +370\ kJ \quad \ldots\ldots (4$$

أجمعُ المعادلتيْنِ (2,4) وقيمَ (ΔH) لهُما؛ لأحصلَ على المعادلةِ النهائيةِ وقيمةِ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ:

$$4HCl_{(g)} \rightarrow \cancel{2H_{2(g)}} + 2Cl_{2(g)} \qquad \Delta H = +370\ kJ \quad \ldots\ldots (4$$

$$\cancel{2H_{2(g)}} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)} \qquad \Delta H = -484\ kJ \quad \ldots\ldots (2$$

$$4HCl_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Cl_{2(g)} + 2H_2O_{(g)} \qquad \Delta H = -114\ kJ$$

يتضحُ منَ المثاليْنِ السابقيْنِ أنَّهُ يمكنُ حسابُ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ باستخدامِ قانونِ هيس، بحساب مجموعِ التغيراتِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلاتِ التي تمثلُ خطواتِ حدوثِ التفاعلِ، أيْ أنَّ:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \ldots\ldots$$

وكذلكَ حرارةُ التفاعلِ الكليةُ تساوي مقدارًا ثابتًا، بغضِّ النظرِ عنْ خطواتِ حدوثِ التفاعلِ.

✓ أتحقَّقُ:

يتفاعلُ الألمنيومُ (Al) معَ أكسيدِ المنغنيزِ (MnO_2) وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$4Al_{(s)} + 3MnO_{2(s)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)} + 3Mn_{(s)}$$

أستخدمُ المعادلتيْنِ الآتيتيْنِ لحسابِ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ:

$$2Al_{(s)} + \frac{3}{2} O_{2(g)} \rightarrow Al_2O_{3(s)} \qquad \Delta H = -1676 \text{ kJ}$$

$$Mn_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow MnO_{2(s)} \qquad \Delta H = -520 \text{ kJ}$$

حرارةُ التكوينِ القياسيةُ (ΔH°_f)

Standard Enthalpy of Formation

يقصدُ **بحرارةِ التكوينِ القياسيةِ Standard Enthalpy of Formation:** التغيرُ في المحتوى الحراريِّ الناتجِ منْ تكوينِ مولٍ واحدٍ منَ المركبِ منْ عناصرهِ الأساسيةِ. وتشيرُ الحالةُ القياسيةُ إلى قياسِ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ في الظروفِ القياسيةِ؛ حيثُ يكونُ التركيزُ (1mol/L) ودرجةُ الحرارةِ 25°C وعندَ ضغطِ (1atm)، تُستخدَمُ حرارةُ التكوينِ القياسيةُ في حسابِ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ. ولفهمِ حرارةِ التكوينِ القياسيةِ وكيفيةِ استخدامِها في حسابِ التغيُّرِ في المحتوى الحراريِّ، نأخذُ حرارةَ التكوينِ القياسيةَ للماءِ منْ عناصرهِ الأساسيةِ، ففي الظروفِ القياسيةِ يتفاعلُ نصفُ مولٍ منْ غازِ الأكسجينِ (O_2) معَ مولٍ منْ غازِ الهيدروجينِ (H_2) لتكوينِ مولٍ منَ الماءِ السائلِ، ويرافقُ ذلكَ انبعاثُ طاقةٍ حراريةٍ مقدارُها (285.8 kJ/mol)، وهذهِ الطاقةُ تمثلُ حرارةَ التكوينِ القياسيةَ للماءِ، ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (ΔH°_f)،

ويمكنُ التعبيرُ عنِ التفاعلِ بالمعادلةِ الآتيةِ:

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} \quad \Delta H^\circ_f = -285.8 \text{ kJ}$$

ويبينُ الجدولُ (4) قيمَ حرارةِ التكوينِ القياسيةِ لعددٍ منِ المركباتِ، حيثُ يمكنُ استخدامُ هذهِ القيمِ في حسابِ حرارةِ التفاعلِ القياسيةِ أوِ التغيرِ في المحتوى الحراريِّ القياسيِّ للتفاعلِ الذي يُرمَزُ إليهِ بالرمزِ (ΔH°)، الذي يساوي مجموعَ حرارةِ التكوينِ القياسيةِ لجميعِ المركباتِ في التفاعلِ، يُلاحَظُ أنَّ حرارةَ التكوينِ القياسيةَ لمعظمِ المركباتِ الناتجةِ منَ التفاعلِ تكونُ ذاتَ إشارةٍ سالبةٍ، وقدِ اتفقَ العلماءُ أنَّ حرارةَ التكوينِ القياسيةَ للعناصرِ الحرةِ تساوي صفرًا، وبهذا يمكنُ حسابُ التغيُّرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{f\,(pr)} - \sum \Delta H^\circ_{f\,(re)}$$

حيثُ:

ΔH° : التغيُّرُ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ.

ΔH°_{re} : حرارةُ التكوينِ القياسيةُ للمركباتِ المتفاعلةِ.

ΔH°_{pr} : حرارةُ التكوينِ القياسيةُ للمركباتِ الناتجةِ.

أفكّرُ: لماذا تظهرُ قيمُ حرارةِ التكوينِ القياسيةِ لبعضِ المركباتِ في الجدولِ بقيمٍ موجبةٍ؟

الجدول (4): قيمُ حرارةِ التكوينِ القياسيةِ لعددٍ منَ المركباتِ، مقيسةً بوحدةِ (كيلو جول/مول)

المادةُ	ΔH°_f	المادةُ	ΔH°_f	المادةُ	ΔH°_f
$Al_2O_{3(s)}$	-1669.8	$C_3H_{8(g)}$	-103.8	$Fe_2O_{3(s)}$	-822.2
$CaCO_{3(s)}$	-1207.0	$C_2H_5OH_{(l)}$	-277.6	$NH_4Cl_{(s)}$	-315.4
$CaO_{(s)}$	-653.5	$H_2S_{(g)}$	-20.1	$NO_{(g)}$	+90.4
$Ca(OH)_{2(s)}$	-986.6	$HBr_{(g)}$	-36.2	$NO_{2(g)}$	+33.9
$CO_{2(g)}$	-393.5	$HCl_{(g)}$	-92.3	$NH_{3(g)}$	-46.1
$CO_{(g)}$	-110.5	$HF_{(g)}$	-268.6	$SiO_{2(s)}$	-859.4
$CH_{4(g)}$	-74.8	$HI_{(g)}$	+25.9	$SO_{2(g)}$	-296.1
$C_2H_{2(g)}$	+226.7	$H_2O_{(g)}$	-241.8	$SO_{3(g)}$	-395.2
$C_2H_{4(g)}$	+52.7	$H_2O_{(1)}$	-285.8	$HNO_{3(aq)}$	-207.4
$C_2H_{6(g)}$	-84.7	$H_2O_{2(1)}$	-187.6	$CCl_{4(1)}$	-139

ويبينُ المثالُ الآتي كيفيةَ حسابِ التغيُّرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ باستخدامِ قيمِ حرارةِ التكوينِ:

المثالُ 8

باستخدامِ الجدولِ (4) الذي يبينُ قيمَ حرارةِ التكوينِ للمركباتِ المختلفةِ أحسبُ التغيرَ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ الآتي:

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

تحليلُ السؤالِ (المعطياتُ):

بالرجوعِ إلى الجدولِ أجدُ أنَّ حرارةَ التكوينِ للمركباتِ في التفاعلِ كما يأتي:

$\Delta H^\circ_f(CH_4) = -74.8$ kJ/mol

$\Delta H^\circ_f(CO_2) = -393.5$ kJ/mol

$\Delta H^\circ_f(H_2O) = -285.8$ kJ/mol

عندَ حسابِ التغيُّرِ في المحتوى الحراريِّ أضربُ حرارةَ تكوينِ المركبِ بعددِ مولاتِهِ في المعادلةِ الآتيةِ:

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ_{f(pr)} - \sum \Delta H^\circ_{f(re)}$$

$$\Delta H^\circ = (\Delta H^\circ_f(CO_2) + 2\,\Delta H^\circ_f(H_2O)) - (\Delta H^\circ_f(CH_4) + 2\Delta H^\circ_f(O_2))$$

$$\Delta H^\circ = (-393.5 + 2\,(-285.8)) - (-74.8 + 0)$$

$$\Delta H^\circ = (-393.5 - 571.6) + 74.8 = -890.3 \text{ kJ}$$

أتحقَّقُ:

باستخدامِ جدولِ حرارةِ التكوينِ القياسيةِ، أحسبُ حرارةَ التفاعلِ الآتي:

$$4NH_{3(g)} + 7O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)} + 6H_2O_{(g)}$$

حسابُ حرارةِ التفاعلِ الكيميائيِّ لكتلةٍ معينةٍ منَ المادةِ

Calculate Heat of a Chemical Reaction for a Given Mass of a Substance

يُعبَّرُ عنِ الطاقةِ المرافقةِ للتفاعلِ في المعادلةِ الكيميائيةِ بكتابةِ حرارةِ التفاعلِ ضمنَ المعادلةِ؛ ففي التفاعلاتِ الطاردةِ للحرارةِ تُكتَبُ حرارةُ التفاعلِ في جهةِ الموادِّ الناتجةِ، في حينِ تكتبُ حرارةُ التفاعلِ في التفاعلِ الماصِّ في جهةِ الموادِّ المتفاعلةِ، وفي كلتا الحالتيْنِ تُعامَلُ الطاقةُ في المعادلةِ كما تُعامَلُ الموادُّ المتفاعلةُ أوِ الناتجةُ، ويمكنُ التعبيرُ عنْ حرارةِ التفاعلِ بكتابتِها إلى جانبِ المعادلةِ، وتُسمّى **المعادلةَ الكيميائيةَ الحرارية** **The Thermochemical Equation**، فمثلًا، يحترقُ مولٌ منْ غازِ الميثانِ بوجودِ الأكسجينِ منتجًا طاقةً حراريةً مقدارُها (890kJ) كما يأتي:

$$CH_{4(l)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(g)} \quad \Delta H = -890kJ$$

بالتدقيقِ في المعادلةِ الكيميائيةِ الحراريةِ، أجدُ أنَّ احتراقَ مولٍ منَ الميثانِ (CH_4) حيثُ كتلتهُ المولية (16 g) احتراقًا تامًّا بوجودِ (2) مولٍ منِ الأكسجينِ ينتجُ ما مقدارهُ (890kJ) منَ الحرارةِ، ويعني ذلكَ أنَّه ينتجُ منَ احتراقِ موليْنِ منَ الميثانِ كتلتهُما (32 g) ما مقدارهُ ($890 \times 2 = 1780kJ$)، وعليه، يمكنُ استخدامُ المعادلةِ الكيميائيةِ الحراريةِ لحسابِ كميةِ الحرارةِ المرافقةِ لاحتراقِ كتلةٍ معينةٍ منَ المادةِ أوْ تفاعلِها.

المثالُ 9

يحترقُ الميثانُ بوجودِ الأكسجينِ؛ وفقَ المعادلةِ الحراريةِ الآتيةِ:

$$CH_{4(l)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(g)} \quad \Delta H = -890kJ$$

فإذا احترقَ (128 g) منَ الميثانِ بوجودِ كميةٍ كافيةٍ منَ الأكسجينِ، فأحسبُ كميةَ الحرارةِ المرافقةِ للتفاعلِ؛ علمًا بأنَّ الكتلةَ المولية للميثانِ تساوي (16 g/mol).

تحليلُ السؤالِ: المعطياتُ

بالرجوعِ إلى المعادلةِ الموزونةِ أجدُ أنَّ احتراقَ مولٍ منَ الميثانِ (CH_4) ينتجُ (890 kJ)، ولأنَّ المطلوبَ حسابُ كميةِ الحرارةِ الناتجةِ منِ احتراقِ (128 g) منَ الميثانِ، فإنّني أحوِّلُ هذهِ الكتلةَ إلى مولاتٍ كما يأتي:

$$n = \frac{m}{M_r} = \frac{128}{16} = 8\ mol$$

ثمَّ علَيَّ حسابُ النسبةِ المولية للمادةِ (CH_4) بقسمةِ عددِ مولاتها في التفاعلِ (n_r) على عددِ مولاتِها في المعادلةِ (n_e).

$$\frac{n_r}{n_e} = \frac{8}{1} = 8$$

ثمَّ أحسبُ كميةَ الحرارةِ الناتجةِ (q) منها بضربِ النسبةِ المولية في كميةِ الحرارةِ المرافقةِ للتفاعلِ (ΔH).

$$q = 8 \times \Delta H = 8 \times 890 = 7120\ kJ$$

المثالُ 10

يُحضَّرُ أكسيدُ الكالسيومِ CaO منْ تحللِ كربوناتِ الكالسيومِ $CaCO_3$ بالحرارةِ؛ وفقَ المعادلةِ الحراريةِ الآتيةِ:

$$CaCO_{3(s)} \rightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \qquad \Delta H = 178\ kJ$$

أحسبُ كميةَ الحرارةِ اللازمةَ لتحليلِ (150 g) منْ كربوناتِ الكالسيومِ بشكلٍ كاملٍ؛ علمًا بأنَّ الكتلةَ المولية لكربوناتِ الكالسيومِ تساوي (100 g/mol).

تحليلُ السؤالِ: المعطياتُ

بالرجوعِ إلى المعادلةِ الموزونةِ أجدُ أنَّ تحللَ مولِ كربوناتِ الكالسيومِ $CaCO_3$ يُنتجُ (178 kJ) وحيثُ إنَّ المطلوبَ حسابُ كميةِ الحرارةِ اللازمةِ لتحللِ (150 g) منْ كربوناتِ الكالسيومِ $CaCO_3$ فإنّني أحوِّلُ هذهِ الكتلةَ إلى مولاتٍ كما يأتي:

$$n = \frac{m}{M_r} = \frac{150}{100} = 1.5\ mol$$

ثمَّ أحسبُ النسبةَ المولية للمادةِ ($CaCO_3$) بقسمةِ عددِ مولاتِ المادةِ (n_r) على عددِ مولاتِها في المعادلةِ (n_e).

$$\frac{n_r}{n_e} = \frac{1.5}{1} = 1.5$$

ثمَّ أحسبُ كميةَ الحرارةِ الناتجةِ (q) منها بضربِ النسبةِ المولية في كميةِ الحرارةِ المرافقةِ للتفاعلِ(ΔH).

$$q = 1.5 \times \Delta H = 1.5 \times 178 = 267\ kJ$$

✓ أتحقَّقُ:

1) يُحضَّرُ أكسيدُ النيتروجينِ (NO) باحتراقِ الأمونيا بوجودِ الأكسجينِ؛ وفقَ المعادلةِ الحراريةِ الآتيةِ:

$$4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(g)} \quad \Delta H = -904.6\ kJ$$

أحسبُ كميةَ الحرارةِ الناتجةَ عندَ احتراقِ كميةٍ كافيةٍ منَ الأمونيا لإنتاجِ (200 g) منْ أكسيدِ النيتروجينِ (NO)، علمًا بأنَّ الكتلةَ المولِيَةَ لأكسيدِ النيتروجينِ (NO) تساوي (30g/mol).

2) يحترقُ الإيثانولُ السائلَ (CH_3CH_2OH) بوجودِ الأكسجينِ؛ وفقَ المعادلةِ الحراريةِ الآتيةِ:

$$CH_3CH_2OH_{(l)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(g)} \quad \Delta H = -1368\ kJ$$

فإذا احترقَ (30 g) منَ الإيثانولِ بوجودِ كميةٍ كافيةٍ منَ الأكسجينِ فأحسبُ كميةَ الحرارةِ المرافقةَ للتفاعلِ. علمًا بأنَّ الكتلةَ المولِيَةَ للإيثانولِ تساوي (46g/mol).

مراجعةُ الدرسِ

1 – **الفكرةُ الرئيسةُ:** أوضح طرائق حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل.

2 – ما المقصودُ بكلٍّ منَ: طاقةِ الرابطةِ، وحرارةِ التكوينِ القياسيةِ؟

3 – **أحسبُ** حرارةَ التفاعلِ الآتي باستخدامِ جدولِ قيمِ الرابطةِ:

$$N_{2(g)} + 3H_2O_{(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)} + \frac{3}{2}O_{2(g)}$$

4 – **أحسبُ** حرارة التفاعل الآتي، باستخدامِ جدولِ قيمِ التكوينِ القياسيةِ:

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

5 – **أحسبُ:** يُحضَّرُ سيانيدُ الهيدروجينِ (HCN) وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$2CH_{4(g)} + 2NH_{3(g)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 6H_2O_{(g)} + 2HCN_{(g)} + 940\ kJ$$

إذا أُنتِجَ 20 g منْ سيانيدِ الهيدروجينِ، فأحسبُ الطاقةَ المرافقةَ للتفاعلِ؛ علمًا أنَّ الكتلةَ المولِيَةَ لـ (HCN) = 27g/mol

الهيدروجينُ وقودًا Hydrogen as Fuel

يعدُّ تفاعلُ احتراقِ الهيدروجينِ بوجودِ الأكسجينِ منَ التفاعلاتِ الأكثرِ إنتاجًا للطاقةِ بينَ الموادِّ فهوَ منَ التفاعلاتِ الطاردةِ للطاقةِ؛ حيثُ يحترقُ الهيدروجينُ وفقًا للمعادلةِ الآتيةِ:

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

فعندَ احتراقِ (2g) منَ الهيدروجينِ يُنتِجُ الهيدروجين طاقةً حراريةً مقدارُها (286 kJ)، وهذهِ الكميةُ منَ الطاقةِ كبيرةٌ مقارنةً بما تُنتجهُ الكميةُ نفسُها منْ أنواعِ الوقودِ الأخرى؛ لذلكَ يُستخدَمُ الهيدروجينُ وقودًا في الصواريخِ الفضائيةِ والغواصاتِ، وحيثُ إنَّ احتراقَ الهيدروجينِ لا يرافقهُ إنتاجُ أيٍّ منْ أنواعِ الغازاتِ السامةِ؛ فهوَ يُعدُّ منَ الوقودِ النظيفِ. ويبينُ الجدولُ (5) كميةَ الطاقةِ الناتجةِ منِ احتراقِ غرامٍ واحدٍ لعددٍ منْ أنواعِ الوقودِ المختلفةِ.

الجدولُ (5): كميةُ الطاقةِ الناتجةِ منِ احتراقِ غرامٍ واحدٍ منْ بعضِ أنواعِ الوقودِ

الوقودُ	كميةُ الطاقةِ (kJ/g) الناتجةِ
الهيدروجينُ	143
الميثانُ	55
الأوكتانُ (المكونُ الرئيسُ للنفطِ)	44
الغلوكوزُ	16

ويبينُ الجدولُ (6) مزايا استخدامِ الهيدروجينِ كونَهُ وقودَ احتراقٍ، وعيوبَهُ في السياراتِ:

الجدولُ (6): مزايا استخدامِ الهيدروجينِ وقودَ احتراقٍ في السياراتِ، وعيوبُ ذلكَ الاستخدامِ

مزايا استخدامِ الهيدروجينِ	عيوبُ استخدامِ الهيدروجينِ
إنتاجُ كميةٍ كبيرةٍ منَ الطاقةِ لكلِّ غرامٍ مقارنةً بأنواعِ الوقودِ الأخرى.	كثافةُ الهيدروجينِ السائلِ تعادلُ عُشرَ كثافةِ البنزينِ؛ لذلكَ تحتاجُ المركباتُ التي تستخدمُ الهيدروجينَ إلى خزاناتِ وقودٍ أكبرَ بكثيرٍ منْ تلكَ التي تستخدمُ البنزينَ أوِ الديزلَ.
لا يرافقُ احتراقَهُ انبعاثٌ للغازاتِ السامةِ، مثلِ: ثاني أكسيدِ الكربونِ، أوْ ثاني أكسيدِ الكبريتِ.	يجبُ ضغطُ الهيدروجينِ وتخزينهُ بأمانٍ في خزانِ الوقودِ؛ فهوَ غازٌ قابلٌ للاشتعالِ.
	عدمُ توافرِ عددٍ كافٍ منْ محطاتِ الوقودِ التي تستخدمُ الهيدروجينَ وقودًا.

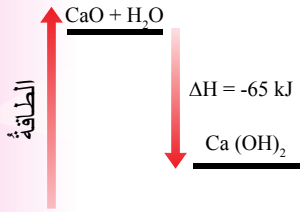
أبحث مستعينًا بالكلماتِ المفتاحيةِ الآتيةِ: (خليةُ الهيدروجينِ، الهيدروجينُ وقودًا، كيفيةُ عملِ خليةِ الهيدروجينِ) عنْ كيفيةِ عملِ خليةِ الهيدروجينِ في إنتاجِ الطاقةِ، وأكتبُ تقريرًا بذلكَ، وأناقشهُ معَ زملائي/ زميلاتي، أوْ أصممُ عرضًا تقديميًّا، وأعرضهُ عليهمْ.

مراجعةُ الوحدةِ

1. أوضحُ المقصودَ بالمصطلحاتِ والمفاهيمِ الآتيةِ:

- تغيُّرُ المحتوى الحراريِّ.
- التفاعلُ الماصُّ للحرارةِ.
- طاقةُ التجمدِ المولية.
- طاقةُ التسامي المولية.
- الحرارةُ النوعيةُ.
- حرارةُ التكوينِ القياسيةُ.
- القيمةُ الحراريةُ للوقودِ.

2. المخططُ المجاورُ يمثلُ تفاعلَ أكسيدِ الكالسيومِ معَ الماءِ لإنتاجِ هيدروكسيد الكالسيومِ، أدرسُ المخططَ وأجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:



أ. هلِ التفاعلُ ماصٌّ أمْ طاردٌ للحرارةِ؟

ب. أيُّهما أكثرُ الطاقةُ اللازمةُ لكسرِ الروابطِ في الموادِّ المتفاعلةِ أمِ الطاقةُ المنبعثةُ عندَ تكوينِ النواتجِ؟

جـ. أكتبُ معادلةً كيميائيةً حراريةً تمثلُ التفاعلَ.

3. أدرسُ التفاعلاتِ الآتيةَ، وأجيبُ عنِ الأسئلةِ التي تليها:

1) $NaOH_{(aq)} + HCl_{(aq)} \rightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} + Heat$

2) $6CO_{2(g)} + Heat + 6H_2O_{(l)} \rightarrow C_6H_{12}O_{6(aq)} + 6O_{2(g)}$

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

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

أ. أحددُ التفاعلَ الطاردَ للطاقةِ، والتفاعلَ الماصَّ لَها.

ب. أحددُ أيُّها تكونُ قيمةُ (ΔH) لَها إشارةً سالبةً.

جـ. **أستنتجُ** أيُّها يكونُ فيهِ المحتوى الحراريُّ للموادِّ المتفاعلةِ أكبرَ منَ المحتوى الحراريِّ للموادِّ الناتجةِ.

د. **أرسمُ مخططًا** لكلٍّ منْ: تكوينِ المركبِ (NO_2) والمركبِ (NH_3) يبينُ التغيُّرَ في المحتوى الحراريِّ لكلٍّ منهُما.

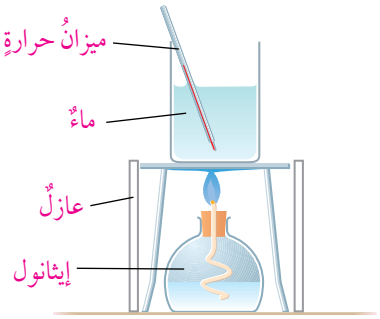
4. **أفسرُ** ما يأتي:

أ. تعدُّ عمليةُ التبخرِ تحولًا فيزيائيًّا ماصًّا للطاقةِ، وعمليةُ التجمدِ تحولًا فيزيائيًّا طاردًا للطاقةِ.

ب. طاقةُ التسامي المولية أكبرُ منْ طاقةِ التبخرِ المولية.

5. **أحسبُ المتغيراتِ:** إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ لتفاعلٍ ما (90 kJ)، وللموادِّ المتفاعلةِ (10 kJ)، فكمْ يكونُ التغيُّرُ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ؟ وما إشارتهُ؟

6. نفذَ مجموعةٌ منَ الطلبةِ تجربةً لقياسِ الطاقةِ المنبعثةِ منْ حرقِ أنواعٍ مختلفةٍ منَ الوقودِ السائلِ في المشعلِ، بتسخينِ (200 mL) منَ الماءِ في وعاءٍ معدنيٍّ، وقدْ حصلوا على النتائجِ الآتيةِ المبينةِ في الجدولِ، أدرسُ هذهِ النتائجَ، وأجيبُ عنِ الأسئلةِ التي تليهِ:



قياسُ الحرارةِ الناتجةِ منِ احتراقِ الوقودِ.

اسمُ الوقودِ	كتلةُ الوقودِ المحترقةُ (g)	الارتفاعُ في درجةِ حرارةِ الماءِ في علبةٍ معدنيةٍ	ارتفاعُ درجةِ حرارةِ الماءِ لكلِّ 1 g منَ الوقودِ المحترقِ
الإيثانولُ	1.1	32	
البارافينُ	0.9	30	
بنتانُ	1.5	38	
أوكتانُ	0.5	20	

أ . من وجهةِ نظري، كيفَ توصلَ الطلبةُ إلى حسابِ مقدارِ الوقودِ الذي حُرِقَ في كلِّ تجربةٍ؟

ب. أكملُ العمودَ الأخيرَ منَ الجدولِ بحسابِ الارتفاعِ في درجةِ حرارةِ الماءِ الناتجِ منْ حرقِ 1 g منَ الوقودِ .

جـ. ما الوقودُ الذي أنتجَ أعلى ارتفاعٍ في درجةِ الحرارةِ لكلِّ 1 g تمَّ حرقهُ؟

د . **أصفُ:** إذا تكررتْ تجربةُ الأوكتانِ باستخدامِ (400 mL) منَ الماءِ في العلبةِ المعدنيةِ؛ فما الارتفاعُ المتوقعُ في درجةِ الحرارةِ تقريبًا؟ أصفُ كيفَ توصلتُ إلى إجابتي.

هـ. **أفسرُ:** استخدمتْ مجموعةٌ أخرى منَ الطلبةِ دورقًا زجاجيًّا بدلًا منَ العلبةِ المعدنيةِ في تجاربِهم. أيةُ مجموعةٍ منَ الطلبةِ ستحصلُ على نتائجَ أكثرَ دقةً؟

و . **أفسرُ:** قياسُ تغيراتِ الطاقةِ عندَ حرقِ الوقودِ في المصباحِ الكحوليِّ (Spirit Lamp) لا يعطي نتائجَ دقيقةً للغايةِ.

7. يحترقُ مولٌ منَ الميثانِ (CH_4) بوجودِ كميةٍ وافرةٍ منَ الأكسجينِ لتكوينِ ثاني أكسيدِ الكربونِ (CO_2) والماءِ (H_2O)، وينتجُ منْ ذلكَ كميةٌ منَ الحرارةِ مقدارُها (890 kJ).

أ . أكتبُ معادلةً كيميائيةً حراريةً تعبِّرُ عنِ التفاعلِ.

ب. **أرسمُ مخططًا** يبينُ تغيُّرَ المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ.

8. وعاءٌ يحتوي على (40 g) منَ الماءِ درجةُ حرارتهِ (حرارةِ الماءِ) (25°C)، **أحسبُ** درجةَ حرارةِ الماءِ النهائيةَ؛ إذا وُضِعَتْ فيهِ قطعةٌ منَ الألمنيومِ كتلتُها (25 g) ودرجةُ حرارتِها (60°C).

9. **أحسبُ** الحرارةَ النوعيةَ لمعدنٍ مجهولٍ، إذا وُضِعَتْ قطعةٌ منهُ كتلتُها (20 g)، ودرجةُ حرارتِها (70°C)، في (40 g) منَ الماءِ عندَ درجةِ حرارةِ (25°C)، فارتفعتْ درجةُ حرارةِ الماءِ بمقدارِ (3.5°C).

10. **أحسبُ** كميةَ الحرارةِ اللازمةَ لتسخينِ قطعةٍ منَ النحاسِ كتلتُها (15 g) منْ (22°C) إلى (60°C).

11. **أحسبُ** حرارةَ التفاعلِ (ΔH) باستخدامِ طاقةِ الروابطِ للتفاعليْنِ الآتييْنِ:

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightarrow 2HI_{(g)}$$

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

12. الهيدرازينُ السائلُ (N_2H_4) هوَ أحدُ أنواعِ الوقودِ المستخدمِ في المركباتِ الفضائيةِ، **أحسبُ** حرارةَ التفاعلِ الناتجةَ منْ تكوينِ الهيدرازين وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$N_{2(g)} + 2H_{2(g)} \rightarrow N_2H_{4(l)}$$

علمًا بأنَّ:

$$N_2H_{4(l)} + O_{2(g)} \rightarrow N_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -622kJ$$

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -286kJ$$

13. يتكونُ رابعُ كلوريدِ الكربونِ (CCl_4) بتفاعلِ غازِ الميثانِ (CH_4) معَ غازِ الكلورِ (Cl_2)، وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$CH_{4(g)} + 4Cl_{2(g)} \rightarrow CCl_{4(l)} + 4HCl_{(g)}$$

باستخدامِ حرارةِ التكوينِ القياسيةِ للمركباتِ في التفاعلِ، **أحسبُ** حرارةَ التفاعلِ (ΔH°).

14. يحترقُ غازُ كبريتيدِ الهيدروجينِ (H_2S) بوجودِ كميةٍ كافيةٍ منَ الأكسجينِ، وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$2H_2S_{(g)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -1036kJ$$

أحسبُ كميةَ الحرارةِ الناتجةِ منِ احتراقِ (29.5 g) منهُ، علمًا أنَّ الكتلةَ المولية لكبريتيد الهيدروجين = 34 g/mol.

15. يحترقُ الغلوكوزُ في الجسمِ لإنتاجِ الطاقةِ اللازمةِ لقيامِ الخلايا بالوظائفِ المختلفةِ؛ وفقَ المعادلةِ الآتيةِ:

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -2820kJ$$

فإذا كانتِ الطاقةُ التي يحتاجُ إليها لاعبُ كرةِ سلةٍ خلالَ الساعةِ التدريبيةِ الواحدةِ تساوي (2100 kJ)، **فأحسبُ** أقلَّ كتلةٍ منَ السكرِ يتمُّ حرقُها؛ إذا تدربَ اللاعبُ ساعتيْنِ، علمًا بأنَّ الكتلةَ المولية للغلوكوزِ = (180 g/mol).

16. أختارُ رمزَ الإجابةِ الصحيحةِ لكلٍّ منَ الفقراتِ الآتيةِ:

1 . يكونُ التغيرُ في المحتوى الحراريِّ سالبًا عندَما يكونُ:

أ . المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ مساويًا للمحتوى الحراريِّ للموادِّ المتفاعلةِ.

ب.المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ أكبرَ من المحتوى الحراريِّ للموادِّ المتفاعلةِ.

جـ.المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ أقلَّ من المحتوى الحراريِّ للموادِّ المتفاعلةِ.

د . المحتوى الحراريُّ للموادِّ المتفاعلةِ أقلَّ من المحتوى الحراريِّ للموادِّ الناتجةِ.

2 . يكونُ التفاعلُ ماصًّا للحرارةِ عندَما:

أ . تفقدُ المادةُ الحرارةَ إلى الوسطِ المحيطِ.

ب.تكسبُ المادةُ الحرارةَ منَ الوسطِ المحيطِ.

جـ.عندَما تتعادلُ طاقةُ التفاعلِ معَ الوسطِ المحيطِ.

د . عندَما يكونُ التغيرُ في المحتوى الحراريِّ سالبًا.

3 . زيادةُ درجةِ حرارةِ 1 g منَ المادةِ درجةً واحدةً سلسيوس تشيرُ إلى:

أ . التغيرِ في المحتوى الحراريِّ.

ب.المحتوى الحراريِّ للمادةِ.

جـ.السعةِ الحراريةِ.

د . الحرارةِ النوعيةِ.

4 . تشيرُ حرارةُ التفاعلِ الناتجِ منْ تكوينِ مولٍ واحدٍ منَ المركبِ منْ عناصرهِ الأساسيةِ إلى:

أ . طاقةِ الرابطةِ .

ب.حرارةِ التكوينِ القياسيةِ.

جـ.قانونِ هيس.

د . التغيرِ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ.

5 . يشيرُ قانونُ هيس إلى أنَّ:

أ . حرارةَ التفاعلِ تعتمدُ على المسارِ الذي يسلكهُ التفاعلُ .

ب.حرارةَ التفاعلِ تعتمدُ على الخطوةِ الرئيسةِ لتكوينِ النواتجِ.

جـ.حرارةَ التفاعلِ تمثلُ مجموعَ التغيراتِ الحراريةِ لخطواتِ حدوثِ التفاعلِ.

د . حرارةَ التفاعلِ تمثلُ الفرقَ بينَ مجموعِ طاقاتِ الروابطِ للموادِّ المتفاعلةِ والموادِّ الناتجةِ.

مسردُ المصطلحاتِ

- **التغيرُ في المحتوى الحراريِّ (الإنثالبي)** Change in Enthalpy: كميةُ الطاقةِ الحرارية الممتصةُ أوِ المنبعثةُ خلالَ التفاعلِ.
- **تفاعلُ الاتحادِ** Combination Reaction: تفاعلٌ يحدثُ بينَ مادتيْنِ أوْ أكثرَ (عناصرَ أوْ مركباتٍ) ليُنتجَ مركبًا واحدًا جديدًا.
- **تفاعلُ الاحتراقِ** Combustion Reaction: تفاعلُ مادةٍ ما (عنصرٍ أوْ مركبٍ) معَ غازِ الأكسجينِ ويصاحبُ التفاعلَ عمومًا انطلاقُ طاقةٍ في صورةِ حرارةٍ أوْ ضوءٍ.
- **تفاعلُ الإحلالِ الأحاديِّ** Single Displacement Reaction: تفاعلٌ يحلُّ فيهِ عنصرٌ نشطٌ محلَّ عنصرٍ آخرَ أقلَّ نشاطًا منهُ في أحدِ مركباته أو محاليله.
- **تفاعلُ التحللِ الحراريِّ** Thermal Decomposition Reaction: تحللُّ مركبٍ واحدٍ بالحرارةِ منتجًا مادتيْنِ أوْ أكثرَ (عناصرَ أوْ مركباتٍ).
- **تفاعلاتٌ طاردةٌ للحرارةِ** Exothermic Reactions: تفاعلاتٌ يتمُ فيها تزويدُ الوسطِ المحيطِ بالطاقةِ.
- **تفاعلاتٌ ماصّةٌ للحرارةِ** Endothermic Reactions: تفاعلاتٌ يتطلبُ حدوثُها تزويدَها بكميةٍ مناسبةٍ منَ الطاقةِ منَ الوسطِ المحيطِ.
- **حرارةُ التكوينِ القياسيةُ** Standard Enthalpy of Formation: التغيُّرُ في المحتوى الحراريِّ الناتجِ منْ تكوينِ مولٍ واحدٍ منَ المركبِ منْ عناصرهِ الأساسيةِ.
- **الحرارةُ النوعيةُ** Specific Heat: كميةُ الحرارةِ اللازمةُ لرفعِ درجةِ حرارةِ 1 g منَ المادةِ درجةً واحدةً سلسيوس عندَ ضغطٍ ثابتٍ.
- **السعةُ الحراريةُ** Heat Capacity: كميةُ الحرارةِ اللازمةُ لرفعِ درجةِ حرارةِ المادةِ درجةً واحدةً سلسيوس.
- **الصيغةُ الأوليةُ** Empirical Formula: أبسطُ نسبةٍ عدديةٍ صحيحةٍ بينَ ذراتِ العناصرِ المكونةِ للمركبِ.
- **الصيغةُ الجزيئيةُ** Molecular Formula: صيغةٌ تُبيِّنُ الأعدادَ الفعليةَ للذراتِ وأنواعَها في المركبِ.
- **طاقةُ الانصهارِ المولية** Molar Fusion Energy: كميةُ الطاقةِ اللازمةُ لتحويلِ مولٍ منَ المادةِ الصلبةِ عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتةٍ إلى الحالةِ السائلةِ.

- **طاقةُ التبخرِ المولية** **Molar Evaporation Energy**: كميةُ الطاقةِ اللازمةُ لتحويلِ مولٍ منَ المادةِ السائلةِ إلى غازٍ عندَ درجةِ حرارةٍ معينةٍ.
- **طاقةُ التجمدِ المولية** **Molar Freezing Energy**: كميةُ الطاقةِ الناتجةِ منْ تجمدِ مولٍ منَ المادةِ السائلةِ عندَ درجةِ حرارةٍ معينةٍ.
- **طاقةُ التكاثفِ المولية** **Molar Condensing Energy**: كميةُ الطاقةِ المنبعثةُ عندَ تكاثفِ مولٍ منَ الغازِ عندَ درجةِ الغليانِ.
- **طاقةُ الرابطةُ** **Bond Energy**: كميةُ الطاقةِ اللازمةُ لكسرِ مولٍ منَ الروابطِ بينَ ذرتيْنِ في الحالةِ الغازيةِ.
- **قانونُ حفظِ الكتلةِ** **Law of Conservation of Mass**: المادةُ لا تفنى ولا تُستحدثُ منَ العدمِ؛ لكنها تتحولُ منْ شكلٍ إلى آخرَ. أي أنَّ مجموعَ كتلِ الموادِّ المتفاعلةِ يساوي مجموعَ كتلِ الموادِّ الناتجةِ.
- **قانونُ هيس** **Hess's Law**: التغيرُ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ يعتمدُ على طبيعةِ الموادِّ المتفاعلةِ والناتجةِ، وليسَ على مسارِ حدوثِ التفاعلِ.
- **القيمةُ الحراريةُ للوقودِ** **Thermal Fuel Value**: كميةُ الحرارةِ الناتجةُ منْ حرقِ غرامٍ واحدٍ منَ الوقودِ حرقًا تامًّا بوجودِ الأكسجينِ.
- **الكتلةُ الجزيئيةُ** **Molecular Mass (Mm)**: مجموعُ الكتلِ الذريةِ النسبيةِ للذراتِ الموجودةِ في الجزيءِ الذي ترتبطُ ذراتهُ بروابطَ تساهميةٍ مقيسةٍ بوحدةِ amu.
- **الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ** **Relative Atomic Mass (Am)**: متوسطُ الكتلِ الذريةِ لنظائرِ ذرةِ عنصرٍ ما.
- **كتلةُ الصيغةِ** **Formula Mass (Fm)**: مجموعُ الكتلِ الذريةِ للعناصرِ في وحدةِ الصيغةِ للمركبِ الأيونيِّ.
- **الكتلةُ المولية** **Molar Mass**: كتلةُ المولِ الواحدِ منْ جسيماتِ المادةِ.
- **المحتوى الحراريُّ** **Enthalpy**: كميةُ الطاقةِ المخزونةُ في مولٍ منَ المادةِ.
- **المردودُ الفعليُّ (الحقيقيُّ)** **Actual Yield**: كميةُ المادةِ الناتجةُ فعليًّا منَ التفاعلِ التي يحددُها الكيميائيُّ منَ التجاربِ الدقيقةِ .
- **المردودُ المئويُّ** **Percentage Yield**: النسبةُ المئويةُ للمردودِ الفعليِّ إلى المردودِ النظريِّ.
- **المردودُ المتوقعُ (النظريُّ)** **Predict Yield**: كميةُ المادةِ الناتجةُ المحسوبةُ منَ التفاعلِ.

- **المُسعِرُ Calorimetry**: وعاءٌ معزولٌ حراريًّا، يُستخدَمُ لقياسِ كميةِ الطاقةِ الممتصةِ أوِ المنبعثةِ منْ تفاعلٍ كيميائيٍّ أوْ تحوُّلٍ فيزيائيٍّ.
- **المعادلةُ الكيميائيةُ الحراريةُ The Thermochemical Equation**: معادلةٌ كيميائيةٌ يُعبَّرُ فيها عنِ الطاقةِ المرافقةِ للتفاعلِ.
- **المعادلةُ الكيميائيةُ الموزونةُ Balanced Chemical Equation**: تعبيرٌ بالرموزِ والصيغِ يبينُ الموادَّ المتفاعلةَ والناتجةَ، ونسبَ تفاعلِها، وحالاتِها الفيزيائيةَ، والظروفَ التي يُجرى فيها التفاعلُ.
- **المولُ The Mole**: الوحدةُ الدوليةُ التي تُستخدمُ في قياسِ كمياتِ الموادِّ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ.
- **النسبةُ المئويةُ بالكتلةِ Percent Composition**: نسبةُ كتلةِ العنصرِ في المركبِ إلى الكتلةِ الكليةِ للمركبِ.
- **النسبةُ الموليةُ Mole Ratio**: النسبةُ بينَ عددِ مولاتِ مادةٍ إلى عددِ مولاتِ مادةٍ أخرى.

قائمةُ المراجعِ

أولًا- المراجعُ العربيةُ:

- إبراهيم صادق الخطيب، مصطفى تركي عبيد، **الكيمياء العامة**، دار المسيرة للنشر والتوزيع، عمّان، 2004م.
- جيمس برادي، جيرارد هيوم ستون، **الكيمياء العامة والمبادئ والبنية**، ج1، ترجمة سليمان سعسع ومأمون الحلبي، نيويورك، جون ويلي للنشر، 1992م.
- خليل حسام، **موسوعة الكيمياء الشاملة**، دار أسامة للنشر، ج2، 2009م .
- صالح محمد، صابر محمد، عثمان عثمان، **أسس ومبادئ الكيمياء**، ج2، الدار العربية للنشر، 2000م.
- محمد إسماعيل الدرملي، **الدليل في الكيمياء: الكيمياء العامة؛ ماهيتها، عناصرها**، دارالعلم والإيمان ودار الجديد للنشر والتوزيع، 2018م.

ثانيًا- المراجعُ الأجنبيةُ:

- Brady, Russell, Holum, **Chemistry Matter and its Change**, 3rd Ed, Wiley,2000.
- Ebbing ,Gammon, **General Chemistry,** 10th Ed, Houghton Mifflin Company, 2011.
- McQuarrie, Donald, et al. **Colligative Properties of Solutions**" General Chemistry, Mill Valley: Library of Congress, 2011.
- Myers, Thomas, Oldham**, Chemistry**, Online Ed, Holt, Rinehart Winston, 2006.
- Raymond Change**, Chemistry**, 10th Edition, Singapore,2010.
- Stevens Zumdal,**Chemistry**,7th Ed, Boston, NewYork, 2007
- Sunley, Chris and Goodman, Sam, **Collins International Cambridge IGCSE Chemistry, Collins**, 2014.
- Winter, Mark J, **Chemical Bonding** , Oxford 2004 .

Collins