



# الكيمياء

الصف العاشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

10

فريق التأليف

إضافة إلى جهود فريق التأليف، فقد جاء هذا الكتاب ثمرة جهود وطنية مشتركة من لجان مراجعة وتقييم علمية وتربوية ولغوية، ومجموعات مُركّزة من المعلمين والمُشرفين التربويين، وملاحظات مجتمعية من وسائل التواصل الاجتماعي، وإسهامات أساسية دقيقة من اللجنة الاستشارية والمجلس التنفيذي والمجلس الأعلى في المركز، ومجلس التربية والتعليم ولجانه المتخصصة.

الناشر

المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج، ووزارة التربية والتعليم - إدارة المناهج والكتب المدرسية، استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب

عن طريق العناوين الآتية: هاتف: 8-4617304/5، فاكس: 4637569، ص.ب: 1930، الرمز البريدي: 11118،

أو بوساطة البريد الإلكتروني: [scientific.division@moe.gov.jo](mailto:scientific.division@moe.gov.jo)

قررت وزارة التربية والتعليم تدرّس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2020/7)، تاريخ 2020/12/1 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2020/171) تاريخ 2020/12/17 م بدءاً من العام الدراسي 2020 / 2021 م.



© Harper Collins 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 - 050 - 9**

المملكة الأردنية الهاشمية  
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية  
(2020/8/2981)

373,19

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

الكيمياء: كتاب الطالب (الصف العاشر)/ المركز الوطني لتطوير المناهج - عمان: المركز، 2020

ج2(84) ص.

ر.إ.: 2020/8/2981

الوصفات: / الكيمياء / العلوم الطبيعية / التعليم الاعدادي / المناهج /

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر 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 Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.

British Library Cataloguing -in- Publication Data

A catalogue record for this publication is available from the Library.

## قائمة المحتويات

الصفحة

الموضوع

5

المقدمة



### الوحدة الرابعة: التفاعلات والحسابات الكيميائية

9

تجربة استهلاكية: المعادلة الكيميائية

10

الدرس الأول: التفاعلات الكيميائية

20

الدرس الثاني: المول والكتلة المولية

28

الدرس الثالث: الحسابات الكيميائية

38

الإثراء والتوسع: الوسادة الهوائية

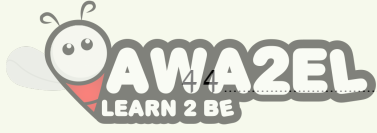
39

مراجعة الوحدة



## الوحدة الخامسة: الطاقة الكيميائية 29

43 ..... تجربة استهلاكية: الطاقة المرافقة للتفاعل



44 ..... الدرس الأول: تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية

54 ..... الدرس الثاني: الطاقة الممتصة والطاقة المنبعثة من المادة

62 ..... الدرس الثالث: حسابات الطاقة في التفاعلات الكيميائية

76 ..... الإثراء والتوسع: الهيدروجين باعتباره وقودًا

77 ..... مراجعة الوحدة

81 ..... مسرد المصطلحات

84 ..... قائمة المراجع



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## المقدمة

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

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

جاء هذا الكتاب مُحققاً لمضامين الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومؤشرات أدائها المتمثلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الواحد والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعترِّ - في الوقت نفسه - بانتمائه الوطني. وتأسيساً على ذلك، فقد اعتُمدت دورة التعلُّم الخشافية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطالب الدور الأكبر في العملية التعلُّمية التعليمية، وتوفّر له فرصاً عديدة للاستقصاء، وحلّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلاً عن اعتماد منحنى STEAM في التعليم الذي يُستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

يتألف الكتاب من وحدتين، يتسم محتواها بالتنوع في أساليب العرض، هي: التفاعلات والحسابات الكيميائية، والطاقة الكيميائية. يضم الكتاب أيضاً العديد من الرسوم، 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، وصولاً 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 على البحث في مصادر المعرفة المختلفة؛ فلغة الكتاب تشجع الطالب أن يتفاعل مع المادة العلمية، وتحثه على بذل المزيد من البحث والاستقصاء. وقد تضمن الكتاب أسئلة متنوعة تراعي الفروق الفردية، وتنمي لدى الطلبة مهارات التفكير وحل المشكلات.

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

ونحن إذ نُقدِّم الطبعة الأولى (التجريبية) من هذا الكتاب، فإننا نأمل أن يُسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية لبناء شخصية المُتعلِّم، وتنمية اتجاهات حُبِّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمر، فضلاً عن تحسين الكتاب؛ بإضافة الجديد إلى المحتوى، والأخذ بملاحظات المعلمين، وإثراء أنشطته المتنوعة.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

# التفاعلات والحسابات الكيميائية

Reactions and Stoichiometry



## الوحدة

# 4



### أتأملُ الصورة

تُنتجُ الموادُ الكيميائيةُ المختلفةُ من تفاعلِ العناصرِ والمركباتِ ، فما التفاعلُ الكيميائيُّ؟  
وكيفَ نعبّرُ عنه؟ وكيفَ نحسبُ كمياتِ الموادِّ المتفاعلةِ والنتيجةِ؟

## الفكرة العامة:

تعبّر المعادلة الكيميائية الموزونة عن التفاعل الكيميائي، وتعدّ الأساس في حساب كميات المواد المتفاعلة والنتيجة.

### الدرس الأول: التفاعلات الكيميائية

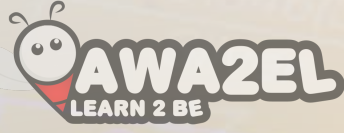
**الفكرة الرئيسة:** يُعبّر عن التفاعلات الكيميائية المختلفة بمعادلات موزونة تبين المواد المتفاعلة والنتيجة ونسب كمياتها وحالاتها الفيزيائية.

### الدرس الثاني: المول والكتلة المولية

**الفكرة الرئيسة:** يرتبط مفهوم المول في الكتلة المولية وكتلة الصيغة والكتلة الذرية.

### الدرس الثالث: الحسابات الكيميائية

**الفكرة الرئيسة:** يمكن حساب نسب المواد المتفاعلة والنتيجة وكمياتها في التفاعلات المختلفة بالاعتماد على المعادلة الكيميائية الموزونة.





## تجربة استعلاية



### المعادلة الكيميائية

**المواد والأدوات:** محلول نترات الرصاص (II)  $Pb(NO_3)_2$ ، محلول يوديد البوتاسيوم  $KI$ ، ميزان حساس، مخبر مدرج، كأسين زجاجيين سعة كل منهما 100 ml.

**إرشادات السلامة:** أحرز عند التعامل مع الأدوات الزجاجية والمواد الكيميائية، وأرتدي القفازات والنظارات الواقية، ومعطف المختبر.

#### خطوات العمل:



1 أضغ كأسين زجاجيين على الميزان الحساس، وأضبطه للحصول على قراءة مؤشر صفر.

2 **أقيس:** أضغ (10 ml) من محلول يوديد البوتاسيوم في إحدى الكأسين، وأضغ (10 ml) من محلول نترات الرصاص في الكأس الأخرى. ثم أسجل قراءة الميزان.

3 **ألاحظ.** أضيف محتويات الكأس الأولى إلى الكأس الثانية، وأبقي الكأسين على الميزان. ماذا يحصل؟ أسجل قراءة الميزان.

4 أنظف مكان عملي وأغسل يدي جيداً بعد الانتهاء من العمل.

#### التحليل والاستنتاج:

1- أقرن التغيير في قراءة الميزان قبل خلط المادتين وبعدها.

2- **ألاحظ:** ما الذي أرشدني إلى حدوث التفاعل؟

3- أعبّر عن التفاعل الحاصل بمعادلة كيميائية موزونة متضمنة الحالة الفيزيائية للمواد المتفاعلة والنتيجة.

### الفكرة الرئيسة:

يعبر عن التفاعلات الكيميائية المختلفة بمعادلاتٍ موزونةٍ تبين المواد المتفاعلة والناتجة وكمياتها وحالاتها الفيزيائية.

### نتائج التعلم:

- أعبّر عن التغير الكيميائي بمعادلة كيميائية موزونة .
- أستكشف أنواع التفاعلات الكيميائية، وأميز بينها.

### المفاهيم والمصطلحات:

تفاعل كيميائي Chemical Reaction  
تغير كيميائي Chemical Change  
قانون حفظ الكتلة

Law of Conservation of Mass

تفاعل الاحتراق

Combustion Reaction

تفاعل الاتحاد

Combination Reaction

تفاعل التحلل (التفكك) الحراري

Thermal Decomposition Reaction

تفاعل الإحلال الأحادي

Single Displacement Reaction



### التغير الكيميائي Chemical Exchange

تطراً عادةً على المادة تغيرات؛ فيزيائية أو كيميائية. تغيرات الفيزيائية في الخواص الفيزيائية للمادة كحالة المادة (صلبة كانت، أو سائلة، أو غازية) وشكلها وحجمها، ولا يحدث عنها أو ينتج تغير في المادة نفسها؛ فمثلاً عند تجمد الماء تتغير حالته من الحالة السائلة إلى الصلبة، ولكنه يبقى ماءً.

أما التغيرات الكيميائية فينتج عنها مواد جديدة تختلف في خصائصها عن خصائص المواد الأصلية. فعندما يحترق عنصر المغنيسيوم بوجود غاز الأكسجين ينتج رماداً أبيض اللون يُسمى أكسيد المغنيسيوم MgO يختلف في خصائصه عن خصائص كل من العنصرين: المغنيسيوم والأكسجين اللذين يتكون منهما، أنظر الشكل (1).



الشكل (1) احتراق فلز المغنيسيوم؛ لإنتاج مركب أكسيد المغنيسيوم.

الشكل (2). تفاعل عنصرَي  
الصوديوم والكلور لإنتاج  
مركب كلوريد الصوديوم



الصوديوم

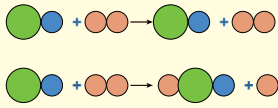


كلوريد الصوديوم



الكلور

**أفكر:** أي من الشكلين الآتيين  
يمثل تفاعل كيميائي؟ فسر  
إجابتك.



ويمتاز الصوديوم بأنه فلزٌ يتفاعل بشدة مع الماء، أما الكلورُ فغازٌ سامٌ لونه أصفرٌ مخضرٌ، وينتج عن تفاعلهما مركب كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) الأبيض، الذي يحتاج الجسم إليه، أنظر الشكل (2).

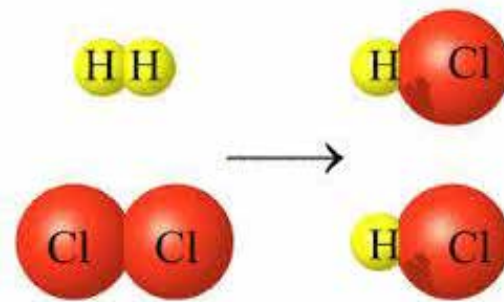
تُسمى العملية التي تحدث فيها تغيرات كيميائية: التفاعل الكيميائي Chemical Reaction. فما التفاعل الكيميائي؟ وكيف نعبر عنه بمعادلة كيميائية؟ وما أنواع التفاعلات الكيميائية؟

يتفاعل غاز الهيدروجين  $H_2$  مع غاز الكلور  $Cl_2$  لإنتاج غاز كلوريد الهيدروجين  $HCl$  كما هو موضح في الشكل (3)؛ حيث تتكسر الروابط بين ذرات كل من  $H_2$ ، وذرات  $Cl_2$ ، وتتكون روابط كيميائية جديدة بين ذرات  $H$  وذرات  $Cl$  منتجة جزيئات  $HCl$ .

وتختلف صفات كلوريد الهيدروجين الناتج عن صفات كل من عنصرَي الهيدروجين والكلور المكونين له. ويُعرف التفاعل الكيميائي Chemical Reaction بأنه عملية يحدث فيها تكسير الروابط بين ذرات عناصر المواد المتفاعلة، وتكوين روابط جديدة بين ذرات عناصر المواد الناتجة، وكذلك إعادة ترتيب للذرات دون المساس بنوعها وعددها، وتختلف الصفات الفيزيائية والكيميائية للمواد الناتجة عنها للمواد المتفاعلة.

الشكل (3): تفاعل جزيئات  $H_2$  مع  
الكلور  $Cl_2$  لإنتاج جزيئات  $HCl$ .

أتوقع: ما نوع الرابطة الكيميائية  
بين ذرات  $H-H$ ،  $Cl-Cl$ ،  $H-Cl$ ؟



## المعادلة الكيميائية الموزونة Balanced Chemical Equation

يمكن التعبير عن التفاعل الكيميائي بمعادلة كيميائية موزونة **Balanced Chemical Equation** وهي تعبير بالرموز والصيغ يبين المواد

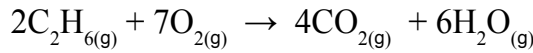
المتفاعلة والنتيجة، ونسب تفاعلها، وحالاتها الفيزيائية، والظروف التي يُجرى فيها التفاعل بما يحقق قانون حفظ الكتلة.



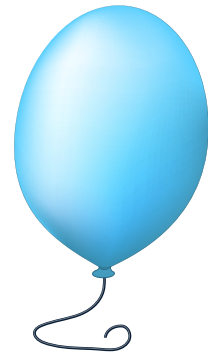
ينص قانون حفظ الكتلة **Law of Conservation of Mass** على أن

المادة لا تفتنى ولا تُستحدث من العدم؛ وبهذا فإن مجموع كتل المواد المتفاعلة يساوي مجموع كتل المواد الناتجة انظر الشكل (4)؛ ما يشير الى أن عدد ذرات كل عنصر ونوعها في المواد المتفاعلة يماثل عدد ذراته ونوعها في المواد الناتجة، وهذا يفسر قانون حفظ الكتلة. ويبين الشكل (4) تمثيلاً مبسطاً لاحتراق غاز الإيثان بوجود غاز الأوكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء:

ويصف الكيميائيون هذا التفاعل بالمعادلة الرمزية الموزونة كما يأتي:



ولكتابة المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعل ما، ينبغي أولاً كتابة معادلة كيميائية لفظية تصف التفاعل، وبعدها تُحوّل الكلمات إلى رموز وصيغ كيميائية؛ لتصبح معادلة رمزية، وتتضمن الحالة الفيزيائية لكل مادة. أخيراً يجري موازنة المعادلة بجعل عدد ذرات عناصر المواد المتفاعلة والنتيجة التي من النوع نفسه متساوية على طرفي المعادلة.



الأوكسجين 7g

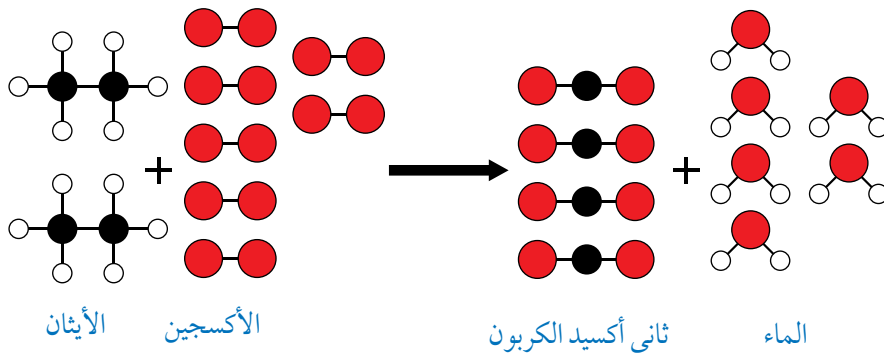


الزئبق 93g



أكسيد الزئبق 100g

الشكل (4): قانون حفظ الكتلة.



الشكل (5): تمثيل مبسط لاحتراق غاز الإيثان بوجود غاز الأوكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

أفسر: كيف تغير ترتيب ذرات العناصر بالنسبة إلى بعضها؟

## المثال 1

أكتب معادلةً كيميائيةً موزونةً لتفاعل غاز الهيدروجين مع غاز الأكسجين لإنتاج الماء السائل.

الحل:

- كتابة المعادلة بالرموز والصيغ:  $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$
- موازنة المعادلة: تُحدد عدد ذرات كل نوع في المواد المتفاعلة والنتيجة.

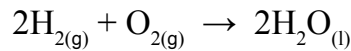
AWAZEL LEARN 2 BE		
عدد الذرات المتفاعلة		عدد الذرات الناتجة
1	2	

تلاحظ أن عدد ذرات H المتفاعلة يساوي عددها في المادة الناتجة، في حين يختلف عدد ذرات O المتفاعلة عن الناتجة. ولمساواة عدد ذرات O في طرفي المعادلة تستخدم طريقة المحاولة والخطأ،

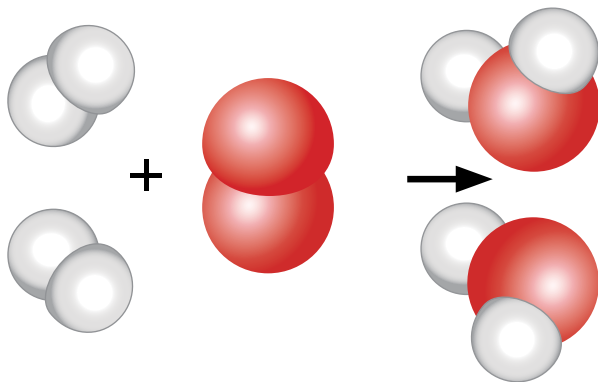
O	H	
2	2	عدد الذرات المتفاعلة
2	4	عدد الذرات الناتجة

وفي هذا التفاعل إذا وُضع الرقم 2 أمام الصيغة  $H_2O$  كما يلي:  $2 H_2O$ : يصبح عدد ذرات O متساويًا في طرفي المعادلة.

ونتيجة لذلك سوف يختلف عدد ذرات H، ولمساواة عددها يوضع الرقم 2 أمام الصيغة  $H_2$  في المواد المتفاعلة؛ فيصبح عدد ذراتها في المواد المتفاعلة والناتجة متساويًا، وهو 4. وبذلك تصبح المعادلة موزونة، وتكتب متضمنة الحالة الفيزيائية للمواد المتفاعلة والناتجة، كالآتي:



وعند موازنة المعادلة الكيميائية يجب المحافظة على الصيغة الكيميائية للمادة حتى لا يتناقض ذلك مع قانون حفظ الكتلة، لذلك يوضع الرقم 2 أمام الصيغة  $H_2O$  أي:  $2 H_2O$ ، وهذا يعني جزيئين من الماء، أما لو جرت الموازنة بوضع الرقم 2 يمين الصيغة، أي:  $H_2O_2$  فهذا سوف يُنتج مركبًا جديدًا هو  $H_2O_2$  الذي يختلف في الخواص الفيزيائية والكيميائية عن  $H_2O$  برغم أن عدد ذرات H و O متساوٍ في طرفي المعادلة الكيميائية، انظر الشكل (6).



الشكل (6): نموذج تفاعل الأكسجين مع الهيدروجين لإنتاج الماء.

## المثال 2

أكتب معادلةً كيميائيةً موزونةً لتفاعل غاز الميثان  $CH_4$  مع غاز الأوكسجين  $O_2$  لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  وسائل الماء.

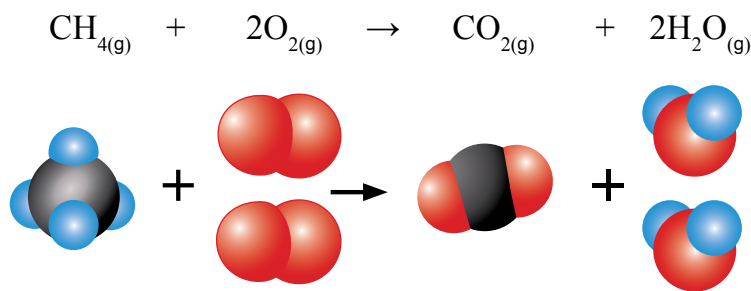


الحل:

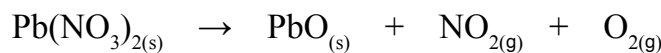
- كتابة المعادلة بالرموز والصيغ:  $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$
- موازنة المعادلة: تُحدد عدد ذرات كل نوع في المواد المتفاعلة والنتيجة، وتوازنها:

المواد المتفاعلة	المواد الناتجة
$CH_4 + O_2$	$CO_2 + H_2O$
تُعد ذرات كل عنصر في المواد المتفاعلة والنتيجة	1C , 2H , 3O
تحتاج إلى زيادة عدد ذرات H الناتجة ضع الرقم 2 أمام الصيغة $H_2O$	$CO_2 + 2H_2O$
تُعد الذرات المتفاعلة والنتيجة مرةً أخرى	1C , 4H , 4O
تحتاج إلى زيادة عدد ذرات O المتفاعلة ضع الرقم 2 أمام الصيغة $O_2$	$CO_2 + 2H_2O$
تأكد من عدد الذرات المتفاعلة والنتيجة في المعادلة	1C , 4H , 4O

تلاحظ أن المعادلة موزونة وتُكتب على النحو الآتي:



✓ **أتحقّق:** أزن المعادلة الكيميائية الآتية:

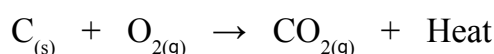


**أفكر:** كيف يتحقق قانون حفظ المادة في تفاعل المثال السابق.

## أنواع التفاعلات الكيميائية:

### 1- تفاعل الاحتراق Combustion Reaction

تفاعل الاحتراق **combustion reaction** هو تفاعل مادة ما (عنصر أو مركب) مع غاز الأوكسجين ويصاحب التفاعل بشكل عام انطلاق طاقة في صورة حرارة أو ضوء. فمثلاً احتراق قطعة من الفحم (فيها عنصر الكربون) بوجود غاز الأوكسجين يؤدي إلى انطلاق حرارة، أنظر الشكل (7)، حيث يمكن التعبير عن التفاعل بالمعادلة الآتية:

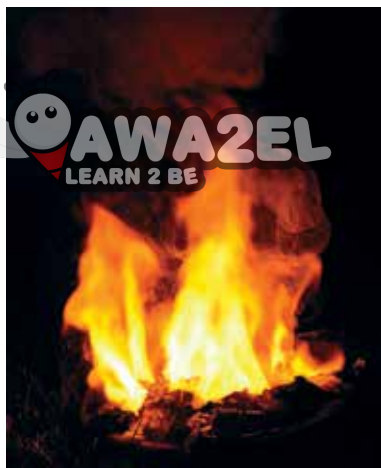
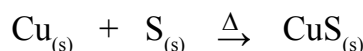


والأمثلة على تفاعلات الاحتراق كثيرة؛ كاحتراق الخشب واحتراق أنواع الوقود المختلفة. وتفيدنا الحرارة الناتجة في التدفئة وتحريك وسائل المواصلات وطهي الطعام وغيرها. بالإضافة إلى أن احتراق الغذاء في الجسم يزوده بالطاقة اللازمة لأداء وظائفه الحيوية المتنوعة. وعادةً عند احتراق المركبات التي تتكون من الهيدروجين والكربون (الهيدروكربونات) فإنه ينتج غاز ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، فضلاً عن انطلاق حرارة، كما في المعادلة الآتية:



### 2- تفاعل الاتحاد Combination Reaction

تفاعل الاتحاد **Combination Reaction** هو تفاعل مادتين أو أكثر (عناصر أو مركبات) لِيُنتَجَ مركباً واحداً جديداً. فمثلاً يتفاعل عنصر النحاس مع عنصر الكبريت لِيُنتَجَ مركب كبريتيد النحاس (II)، ويُعبَّر عن التفاعل بالمعادلة الآتية:



الشكل (7): تفاعل احتراق قطع من الفحم.

**أفكر:** عند حرق (100 g) من الفحم في كمية معلومة من غاز الأوكسجين حرقاً تاماً، فإن كمية الناتج تكون أقل من المتوقع.

## التجربة 1

### تفاعل الاتحاد

المواد والأدوات: برادة الحديد Fe، مسحوق الكبريت S، جفنة تسخين، لهب بنسن، ملعقة، ميزان حساس، منصف ثلاثي، مغناطيس.

#### إرشادات السلامة:

• أحرز عند التعامل مع اللهب.

• ارتدي معطف المختبر، وألبس القفازين، وأضع النظارات الواقية.

#### خطوات العمل:

1. أزن 6g من برادة الحديد و 3g من الكبريت وأخلطهما معاً في جفنة التسخين.

2. أقرب طرف المغناطيس من الخليط، **والأحظ** أي المادتين تنجذب إليه؟

3. أضع المادتين مرة أخرى في الجفنة، وأخلطهما خلطاً جيداً، وأسخن الجفنة على اللهب أربع دقائق، ثم أترك الجفنة حتى تبرد، **والأحظ** التغير الحادث.

4. أقرب طرف المغناطيس من المادة الموجدة في الجفنة، **والأحظ** هل تنجذب إليه؟

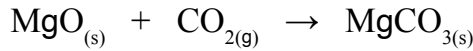
5. **الأحظ** وأسجل ملاحظاتي.

#### التحليل والاستنتاج:

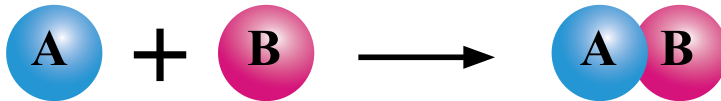
1- أصف التغير الذي حدث على كل من الحديد والكبريت بعد تسخين مخلوطهما.

2- أكتب معادلة كيميائية موزونة للتفاعل.

ومن الأمثلة أيضاً تفاعل أكسيد المغنيسيوم مع غاز ثاني أكسيد الكربون؛ لإنتاج كربونات المغنيسيوم كما هو موضح في المعادلة الآتية:



ويمكن عادةً تمثيل تفاعلات الاتحاد بالصورة المبسطة الآتية:



### 3- تفاعل التحلل (التفكك) الحراري

#### Thermal Decomposition Reaction

تفاعل التحلل (التفكك) الحراري Thermal Decomposition Reaction

هو تحلل مركب واحد بالحرارة منتجاً مادتين أو أكثر وقد تكون النواتج عناصر أو مركبات. فمثلاً تتحلل كربونات النحاس بالحرارة، منتجة أكسيد النحاس وغاز ثاني أكسيد الكربون ويُعبّر عن تفاعلها بالمعادلة الآتية:



#### الربط مع الأحياء

تحتوي أوراق كثير من الأشجار على اللونين البرتقالي والأصفر، ويغطيها لون الكلوروفيل الأخضر، وفي فصل الخريف؛ تتغير ألوان أوراق الشجر؛ نتيجة تفاعل كيميائي يتكسر فيه الكلوروفيل بمعدل أكبر من إنتاجه؛ مما يسبب ظهور اللونين البرتقالي والأصفر على الأوراق.



## التجربة 2

### تفاعل التحلل

المواد والأدوات: هيدروكسيد النحاس  $\text{Cu(OH)}_2$ ، جفنة تسخين، لهب بنسن، ملعقة، منصب ثلاثي.

#### إرشادات السلامة:

- أحرز عند التعامل مع اللهب.
- أرندي معطف المختبر، وألبس القفازين، وأضع النظارات الواقية.

#### خطوات العمل:

1. أضع ملعقة من هيدروكسيد النحاس في الجفنة.

2. أسخن الجفنة على اللهب خمس دقائق، ثم أترك الجفنة حتى تبرد.

3. ألاحظ التغير الذي حدث على هيدروكسيد النحاس، ثم أسجل ملاحظاتي.

#### التحليل والاستنتاج:

1- أصف التغير الذي حدث على المادة المتفاعلة قبل التسخين وبعده.

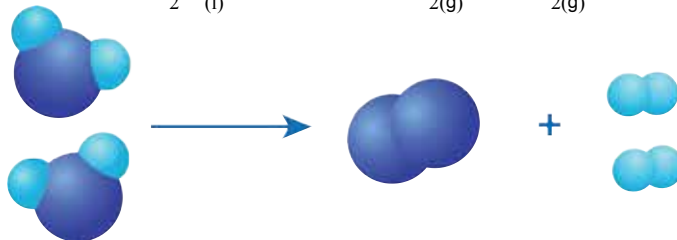
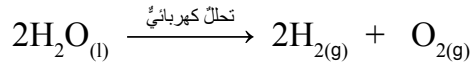
2- أكتب معادلة كيميائية موزونة للتفاعل.

ومن الأمثلة أيضًا على هذه التفاعلات تحلل نترات الأمونيوم بالحرارة منتجة أكسيد ثنائي النيتروجين وبخار الماء، كما يأتي:

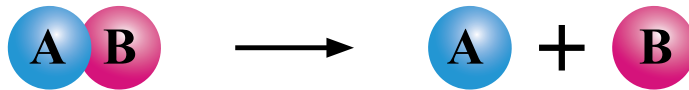


وكذلك تتحلل دايكرومات الأمونيوم  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  بالحرارة منتجة أكسيد الكروم وغاز النيتروجين وبخار الماء حيث تسبب الغازات الناتجة فوارنًا يشبه البركان، أنظر الشكل (8).

وقد تعتمد بعض تفاعلات التحلل على استخدام التيار الكهربائي بدلًا من الحرارة، فمثلًا يتحلل الماء تحللًا كهربائيًا إلى عنصري الهيدروجين والأكسجين، كما يأتي:



وعادةً يمكن تمثيل تفاعلات التحلل بالصورة المبسطة الآتية:

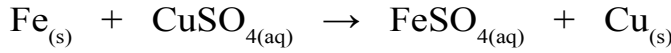


الشكل (8): التحلل الحراري لمركب دايكرومات الأمونيوم.

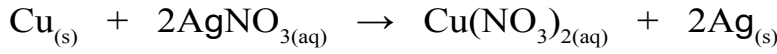
اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعل؟

#### 4 - تفاعل الإحلال الأحادي Single Displacement Reaction

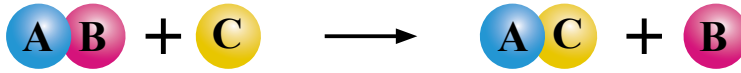
تفاعل الإحلال الأحادي Single Displacement Reaction؛ هو تفاعل يحل فيه عنصر نشط محل عنصر آخر أقل نشاطاً منه في أحد أملاحه. فمثلاً عند وضع مسمار من الحديد في محلول كبريتات النحاس (II)، أنظر الشكل (9)، فإن عنصر الحديد يحل محل أيونات النحاس في المحلول، وينتج عن ذلك محلول كبريتات الحديد، وترسب ذرات النحاس، ويُعبّر عن التفاعل كما في المعادلة الآتية:



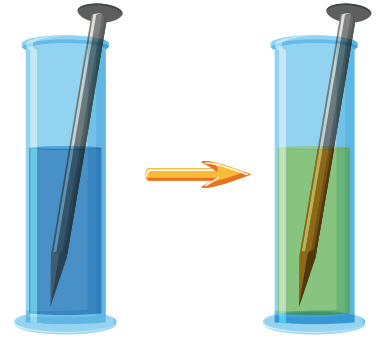
ومن الأمثلة أيضاً تفاعل عنصر النحاس مع محلول نترات الفضة؛ فينتج نترات النحاس، وترسب ذرات الفضة؛ كما في معادلة التفاعل الآتية:



ويمكن عادةً تمثيل تفاعلات الإحلال بالصورة المبسطة الآتية:



✓ **أتحقّق:** بماذا يختلف تفاعل الاتحاد عن تفاعل التحلل الحراري؟



الشكل (9): تفاعل إحلال عنصر الحديد محل أيونات النحاس.

**أفكر:** لماذا تترسب ذرات النيكل Ni عند وضع قطعة من عنصر الخارصين Zn في محلول من كبريتات النيكل NiSO<sub>4</sub>؟  
وأكتب معادلة التفاعل الحاصل.

### التجربة 3

#### تفاعل الإحلال الأحادي

المواد والأدوات: كبريتات النحاس (II) CuSO<sub>4</sub>، ماء مقطر، كأس زجاجية بسعة 250 ml، ملعقة، صفيحة خارصين Zn.

**إرشادات السلامة:** ارتدي معطف المختبر، وألبس القفازين، وأضع النظارات الواقية.

#### خطوات العمل:

1. أضع ملعقة من كبريتات النحاس في الكأس الزجاجية، وأضيف إليها 20 ml من الماء المقطر، ثم أحرك الخليط جيداً؛ حتى يذوب تماماً.

2. أغمس صفيحة الخارصين في المحلول من خمس دقائق إلى عشر دقائق.

3. ألاحظ التغير الذي حدث على صفيحة الخارصين والمحلول، وأسجل ملاحظاتي.

#### التحليل والاستنتاج:

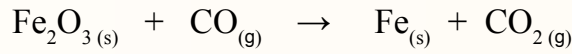
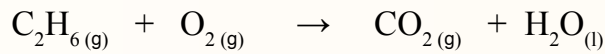
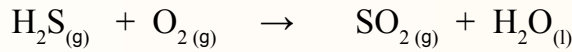
1- ماذا حدث للون صفيحة الخارصين ولون المحلول في الكأس الزجاجية؟  
2- أكتب معادلة كيميائية موزونة للتفاعل.

## مراجعة الدرس

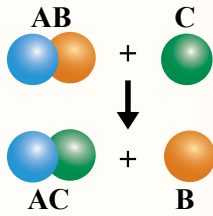
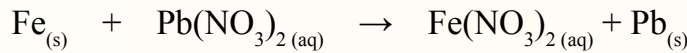
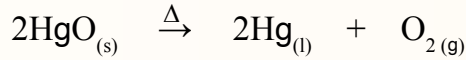
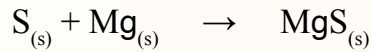
1- **الفكرة الرئيسية:** أوضِّح المقصودَ بكلِّ من: تفاعلِ الاتحادِ، التفاعلِ الكيميائيِّ، تفاعلِ التحللِ الحراري، تفاعلِ الاحتراقِ، تفاعلِ الإحلالِ الأحاديِّ.

2- **أفسرُ** قانونَ حفظِ الكتلةِ.

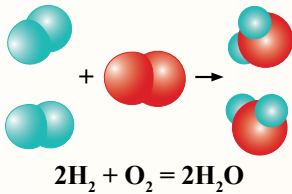
3- **أزنُ** المعادلاتِ الكيميائية الآتية:



4- **أصنّفُ** التفاعلاتِ الآتيةِ إلى أنواعِها (وهي: الاتحادُ، التحللُ، الاحتراقُ، الإحلالُ الأحاديُّ):



5- **أميزُ** التفاعلِ الآتِي الموضَّحَ في الشكلِ، وأفسرهُ.



6- **أفسرُ** قانونَ حفظِ الكتلةِ من خلالِ التفاعلِ الآتِي:

### الكتلة الذرية النسبية (Relative Atomic Mass (RAM))

#### الفكرة الرئيسة:

يرتبط مفهوم المول بالكتلة المولية وكتلة الصيغة، والكتلة الذرية.

#### نتائج التعلم:

- يوضح مفهوم المول.
- يربط بين المول وعدد أفوجادرو.
- يتعرف الكتلة الذرية النسبية، والكتلة الجزيئية النسبية، والكتلة المولية وكتلة الصيغة النسبية.
- يوظف مفهوم المول في بعض الحسابات الكيميائية.

#### المفاهيم والمصطلحات:

المول Mole

عدد أفوجادرو Avogadro's Number

الكتلة المولية Molar Mass ( $M_r$ )

الكتلة الذرية النسبية

Relative Atomic Mass ( $A_r$ )

الكتلة الجزيئية

Molecular Mass ( $M_m$ )

كتلة الصيغة

Formula Mass ( $F_m$ )

الشكل (10): مكونات

قالب حلوى

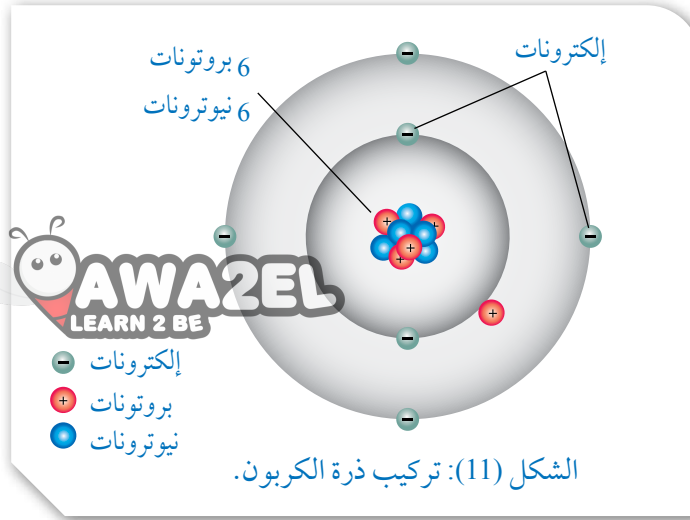


هل شاهدت والدتك وهي تصنع قالباً من الحلوى؟ هل استخدمت أداة القياس ذاتها لتحضير جميع المكونات؟ هل عدت حبات الدقيق، أو حبات السكر التي استخدمتها؟ أنظر الشكل (10).

لعلك لاحظت اختلاف وحدات القياس المستخدمة في إعداد قالب الحلوى بحسب المكون وطبيعته؛ فالطحين مثلاً يُقاس بالكتلة، وتعد حبات البيض بالحبة، ويُستخدم مقياس الحجم للزيوت والحليب والماء، والملعقة للكميات الصغيرة من الملح ومن كربونات الصوديوم والهيدروجينية (مسحوق الخبز).

نستخدم في حياتنا اليومية أدوات مختلفة لقياس الأشياء من حولنا، فيستخدم (الميزان) لقياس الكتلة، وتُقاس المسافات وأطوال الأجسام باستخدام المتر أو المسطرة، ونستخدم بعض المصطلحات التي تعبر عن عدد محدد من الأشياء مثل: كلمة زوج "pair" التي تدل على العدد اثنين (2) من أي شيء، وكلمة دزينة dozen للدلالة على عدد اثني عشر (12) من أي شيء قابل للعد، بغض النظر عن المادة المعدودة.





وقد توصل العلماء إلى أن ذرة العنصر تتكون من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات متناهية في الصغر، فكتلة كل من البروتون أو النيوترون تقريباً تساوي  $1.67 \times 10^{-24}g$ ، وكتلة الإلكترون تساوي  $1/1840$  من كتلة البروتون. وحيث إن كتلة الذرة صغيرة جداً؛ فقد وجد العلماء صعوبة في التعامل معها باستخدام أدوات القياس الشائعة، فلجؤوا إلى طريقة لقياس كتلة الذرة بالنسبة إلى كتلة ذرة معيارية، وقد اعتمدوا ذرة

الكربون  $^{12}C$  التي تحتوي 6 بروتونات و 6 نيوترونات باعتبارها أساساً لقياس كتل الذرات الأخرى انظر الشكل (11). وكتلة هذه الذرة تساوي 12 وحدة سُميت كل منها (وحدة كتلة ذرية) (amu). وبذلك؛ فإن وحدة

الكتلة الذرية (amu) لأي عنصر تساوي  $\frac{1}{12}$  من كتلة ذرة الكربون  $^{12}C$ . إن كتلة الذرة تعتمد على كتلة البروتونات والنيوترونات فيها؛ وبما أن كتلة البروتون أو النيوترون تساوي 1 amu تقريباً، لذا؛ يُتوقع أن تكون الكتلة الذرية للعنصر رقمًا صحيحًا، ولكن في الواقع فإن القيم المقاسة تحتوي عادةً على كسور؛ نظرًا لوجود نظائر للعنصر لها كتل مختلفة؛ ولذلك فإن متوسط كتلتها ليس رقمًا صحيحًا. وبهذا تم حساب الكتلة الذرية النسبية  $Relative\ Atomic\ Mass(A_m)$  وهي متوسط الكتل الذرية لنظائر ذرة عنصر ما.

وعند حساب الكتلة الذرية النسبية للعنصر يجب أخذ نظائره ونسب توافرها في الطبيعة بالاعتبار؛ فالكتل الذرية التي تُستخدم في الجدول الدوري تُعبر عن متوسط الكتل الذرية النسبية لنظائر ذرات العنصر. ولتسهيل التعامل معها نستخدم قيمًا تقريبية كما في الأمثلة الواردة في الجدول (1).

وتُقاس الكتلة الذرية النسبية بوحدة الكتل الذرية amu. ويمكن التعبير عنها أيضًا بوحدة g.  
الكتلة الذرية النسبية  $A_m = (الكتلة الذرية للنظير \times 1 \times نسبة توافره في الطبيعة) + (الكتلة الذرية للنظير \times 2 \times نسبة توافره في الطبيعة)$ .

$$A_m = A_{m_1}\% + A_{m_2}\%$$

الجدول (1): الكتل الذرية النسبية والتقريبية لبعض الذرات.

العنصر	الكتلة الذرية النسبية	الكتلة الذرية التقريبية
H	1.008	1
N	14.007	14
O	15.999	16
Na	22.989	23

## المثال 3

إذا علمت أن عنصر الليثيوم Li يوجد في الطبيعة على صورة النظير  ${}^3\text{Li}$  ، وأن كتلته الذرية = 6.02 بنسبة 7.5% ، وأن النظير  ${}^7\text{Li}$  وكتلته الذرية 7.02 بنسبة 92.5% ، فأحسب الكتلة الذرية النسبية لعنصر الليثيوم.

الحل:



$$A_m = A_{m_1}\% + A_{m_2}\%$$

$$= (7.5\% \times 6.02) + (92.5\% \times 7.02)$$

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

### الكتلة الجزيئية ( $M_m$ )

تختلف المركبات الكيميائية بحسب أنواع الذرات المكونة لها وأعدادها. وبمعرفة الصيغة الجزيئية للمركب فإنه يمكن حساب الكتلة الجزيئية للجزيء الواحد في المركب التساهمي.

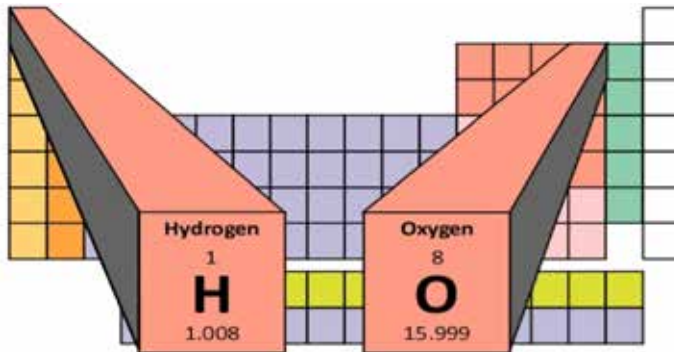
وتُعرف الكتلة الجزيئية ( $M_m$ ) بأنها مجموع الكتل الذرية للذرات الموجودة في الجزيء الذي ترتبط ذراته بروابط تساهمية مقيسة بوحدة amu فمثلاً الكتلة الجزيئية لجزيء الماء  $\text{H}_2\text{O}$  تُحسب كما يأتي:

الكتلة الجزيئية  $M_m =$  (الكتلة الذرية للهيدروجين  $\times$  عدد الذرات  $N$ ) + (الكتلة الذرية للأكسجين  $\times$  عدد الذرات  $N$ )

$$A_m = A_{m_H} \times N + A_{m_O} \times N$$

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

ويوضح الشكل (12) الكتل الذرية النسبية للهيدروجين والأكسجين.



الشكل (12): الكتل الذرية النسبية للهيدروجين والأكسجين.

## المثال 4

أحسب الكتلة الجزيئية للجزيء  $\text{HNO}_3$  علمًا بأن الكتل الذرية لذرات العناصر هي:  
(O = 16 , N = 14 , H = 1).

الحل:



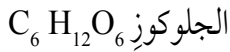
يُلاحظ أن الجزيء  $\text{HNO}_3$  يتكون من ذرة هيدروجين H وذرة نيتروجين N وثلاث ذرات أكسجين O، وبذلك نحسب الكتلة الجزيئية له على النحو الآتي:  
الكتلة الجزيئية = (الكتلة الذرية للهيدروجين × عدد الذرات) + (الكتلة الذرية للنيتروجين × عدد الذرات) + (الكتلة الذرية للأكسجين × عدد الذرات).

$$\begin{aligned} A_m &= A_{m_H} \times N + A_{m_N} \times N + A_{m_O} \times N \\ &= (1 \times 1) + (14 \times 1) + (16 \times 3) \\ &= 1 + 14 + 48 = 63 \text{ amu} \end{aligned}$$

## كتلة الصيغة (Formula Mass ( $F_m$ ))

✓ **أتحقَّق:**

1- أحسب الكتلة الجزيئية لجزيء



2- أحسب كتلة الصيغة للمركب



ترتبط الأيونات الموجبة والسالبة بروابط أيونية، وتسمى الصيغة الكيميائية للمركب الأيوني وحدة الصيغة الكيميائية Chemical Formula Unit وتمثل أبسط نسبة للأيونات في المركب الأيوني. ويُعرف مجموع الكتل الذرية للعناصر في وحدة الصيغة بكتلة الصيغة **Relative Formula Mass ( $F_m$ )**، وتُقاس بوحدتي amu.

تُحسب كتلة الصيغة بالطريقة نفسها المتبعة لحساب الكتلة الجزيئية.

## المثال 5

أحسب كتلة الصيغة النسبية للمركب  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$

الحل:

الكتل الذرية: (Al = 27 , N = 14 , O = 16)

يُلاحظ من صيغة المركب أنها تتكون من 9 ذرات O، و 3 ذرات N، وذرة Al:

$$\begin{aligned} F_m &= (27 \times 1) + (14 \times 3) + (16 \times 9) \\ &= 27 + 42 + 144 = 213 \text{ amu} \end{aligned}$$

## المول The Mole

تُسمَّى الوحدة الدولية التي تُستخدم في قياس كمية المادة المول (Mole)، ويساوي عدد ذرات الكربون  $^{12}\text{C}$  التي توجد في 12 g منه. وقد توصل الفيزيائي الإيطالي أفوجادرو إلى أن المول الواحد من المادة يحوي  $6.022 \times 10^{23}$  من الذرات أو الجزيئات أو الأيونات أو وحدات الصيغة. وسمي هذا العدد بعدد أفوجادرو Avogadro Number تكريماً له، ويرمز إليه بالرمز  $N_A$ .

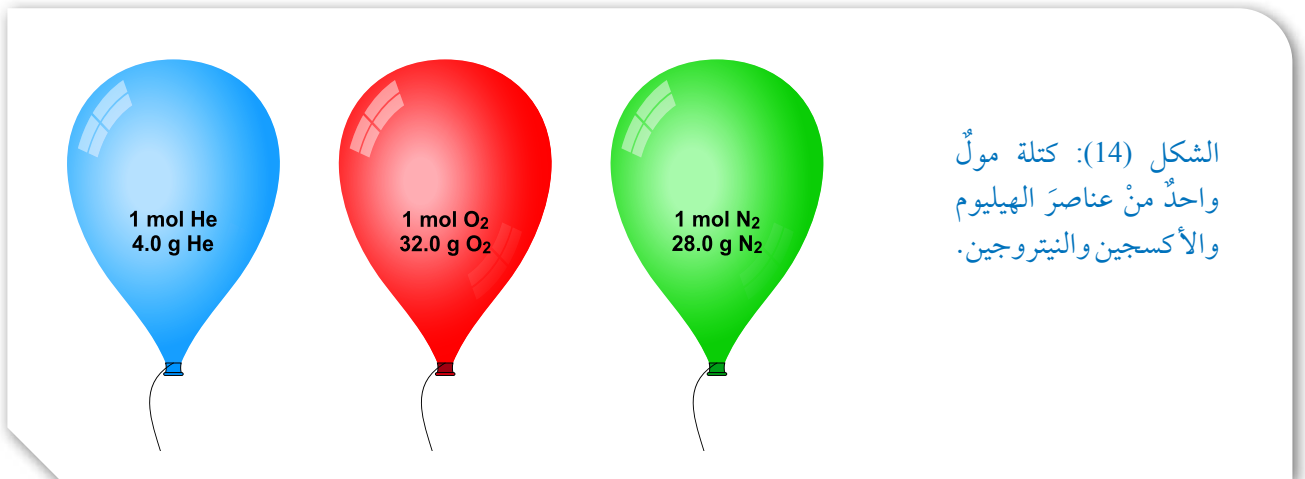
يختلف المول الواحد لكل من الحديد وملح الطعام والماء مثلاً في الجسيمات التي يتكون منها، كما يبين الشكل (13):

وبناءً عليه؛ فإن كتلة المول الواحد تختلف من مادة إلى أخرى، إلا أنها تحوي العدد نفسه من الجسيمات  $N$  يساوي عدد أفوجادرو، مثلاً كتلة مول من الهيليوم 4 g وكتلة مول من الأكسجين 32 g، وكتلة مول من النيتروجين 28 g كما يبين الشكل (14):

والكتل الذرية لذرات العناصر المختلفة تحوي عدد أفوجادرو من الذرات. فعدد الذرات الموجودة في 23g من الصوديوم يساوي عدد الذرات الموجودة في 27g من الألمنيوم ويساوي  $6.022 \times 10^{23}$  واصطُح على استخدام مفهوم الكتلة المولية Molar Mass للدلالة على كتلة المول الواحد من المادة؛ ويرمز لها بالرمز  $(M_r)$  وتقاس بوحدة g/mol، فمثلاً كتلة المول الواحد من ذرات العنصر تُسمى الكتلة المولية للعنصر، وهي تساوي عددياً كتلته الذرية مقبسةً بوحدة



الشكل (14): كتلة مول واحد من عناصر مختلفة.



الشكل (14): كتلة مول واحد من عناصر الهيليوم والأكسجين والنيتروجين.



$g$ ، فمثلاً إنَّ مولاً واحداً من ذرات عنصر المغنيسيوم يحوي عدد أفوجادرو من ذرات المغنيسيوم، وكتلته  $24g$ . ويرتبط عدد المولات ( $n$ ) Moles بعلاقة رياضية مع عدد أفوجادرو ( $N_A$ ) وعدد الجسيمات ( $N$ ) من الذرات أو الجزيئات أو الأيونات أو وحدات الصيغة، كما يأتي:

عدد الجسيمات = عدد المولات  $\times$  عدد أفوجادرو

$$N = N_A \times n$$

وكذلك يرتبط عدد مولات المادة ( $n$ )، بكتلة المادة ( $m$ ) مقيسة بوحدة  $g$  وكتلتها المولية ( $M_r$ )، كما يأتي:

$$\frac{\text{كتلة المادة}}{\text{كتلتها المولية}} = \text{عدد المولات}$$

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

## المثال 6

أحسب عدد مولات ( $n$ ) الكربون التي تحتوي على  $3.01 \times 10^{23}$  ذرة.

الحل:

$$\frac{\text{عدد ذرات الكربون}}{\text{عدد أفوجادرو}} = \text{عدد مولات الكربون}$$

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

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

## المثال 7

أحسب عددَ الجزيئات (N) الموجودة في 3 مول من غاز الميثان  $\text{CH}_4$ :

الحل:



$$\begin{aligned} N &= N_A \times n \\ &= 6.02 \times 10^{23} \times 3 \\ &= 1.806 \times 10^{24} \end{aligned}$$

## المثال 8

أحسب كتلة 4 مول من جزيئات  $\text{H}_2\text{O}$ ؛ علمًا بأن الكتلة الذرية لكل من  $\text{O} = 16$ ,  $\text{H} = 1$

الحل:

نحسب الكتلة المولية  $M_r$  للجزيء، بنفس طريقة حساب الكتلة الجزيئية له ومن ثم نضرب الناتج بعدد المولات.

$$\begin{aligned} M_r &= (16 \times 1) + (1 \times 2) \\ &= 16 + 2 = 18 \text{ g/mol} \\ &= 18 \times 4 = 72 \text{ g} \end{aligned}$$

✓ أتتحقق:

1- أحسب عدد ذرات (N) عنصر البوتاسيوم K الموجودة في

$1 \times 10^3 \text{ mol}$  من العنصر؟

2- عينة من مركب ما كتلتها 4 g، والكتلة المولية  $M_r$  للمركب؛

40 g/mol فما عدد المولات n؟

## مراجعة الدرس

1- الأفكار الرئيسية: أوضِّح المقصودَ بكلِّ من: الكتلة الذرية، الكتلة الجزيئية، الكتلة المولية، كتلة الصيغة، المول.

2- أجدُّ الكتلة المولية ( $M_r$ ) لكلِّ من  $C_2H_5OH$ ,  $CH_4$ .

3- أجدُّ كتلة الصيغة ( $F_m$ ) للمركبين:  $Ca(OH)_2$  ،  $Mg(NO_3)_2$ .

4- أحسبُ عددَ المولاتِ ( $n$ ) الموجودةِ في 72g من عنصرِ المغنيسيومِ.

5- أحسبُ كتلة 0.1 mol من ذراتِ الألمنيومِ.

6- أحسبُ عددَ جزيئاتِ  $NH_3$  الموجودةِ في 2 مول منها.

7- أوضِّح المقصودَ بعددِ أفوجادرو.

8- أكملُ الجدولَ الآتي:  $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$

HCl	$Cl_2$	$H_2$	
			عددُ المولاتِ $n$
			عددُ الجزيئاتِ $N$
			الكتلة المولية $M_r$

### الحسابات المبنية على الكميات

### Calculations based on quantities



تُعدُّ المعادلة الكيميائية الموزونة الركيزة الأساسية للمواد المتفاعلة الكيميائية ويمكنُ عن طريقها تحديد عدد مولات المواد المتفاعلة والنتيجة؛ مما يساعدُ في تحديد كتلتها بدقة، وكذلك في تحديد النسبة المئوية لكتلة عنصرٍ في مركبٍ، وتحديد المردود المئويِّ لنتائج تفاعلٍ ما.

### النسبة المئوية لكتلة العنصر Percent Composition

تلاحظُ عندَ تفحصك بطاقة المعلومات الملتصقة على عبوات ماء الشربِ مثلاً ستلاحظُ أنه مكتوبٌ عليها أسماء المواد المكونة له، ونسبة وجودها في حجم معين في العبوة. ويشبه هذا الحال المركبات الكيميائية؛ حيثُ تتكونُ من عناصرٍ محددةٍ بنسبٍ معينة. ويُجري بعضُ الكيميائيين الأبحاث المتنوعة لمعرفة المكونات الأساسية للمادة لتحديد العناصر الداخلة في تركيبها، والنسبة المئوية لكتل هذه العناصر؛ ما يساهم في معرفة الصيغة الكيميائية للمركب وتطوير خصائصه وتحسينها. وتُعرفُ النسبة المئوية لكتلة العنصر Percent Composition بأنها نسبة كتلة العنصر في المركب إلى الكتلة الكلية للمركب. وتُحسبُ هذه النسبة لأيِّ عنصرٍ بقسمة كتلة العنصر على كتلة المركب مضروباً في (100)، ويمكنُ التعبير عن ذلك بالقانون الآتي:

$$\text{النسبة المئوية بالكتلة (للعنصر)} = \frac{\text{كتلة العنصر}}{\text{كتلة المركب}} \times 100$$

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

### الفكرة الرئيسة:

اعتماداً على المعادلة الكيميائية الموزونة؛ يمكنُ حسابُ النسبِ المحددة من كميات المواد المتفاعلة والنتيجة ومكوناتها بدقة.

### نتائج التعلم:

- يحسبُ النسبة المئوية لكتلة عنصرٍ في مركبٍ.
- يحددُ الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية للمركبِ.
- يحسبُ عدد مولات مركبٍ وكتلته المتفاعلة أو الناتجة.
- يحسبُ المردود المئويِّ للتفاعل.

### المفاهيم والمصطلحات:

النسبة المئوية بالكتلة

Percent Composition

الصيغة الأولية Empirical Formula

الصيغة الجزيئية Molecular Formula

المردود المئويِّ Percentage Yield

النسبة المولية Mole Percentage

## المثال 9

عينة نقيّة من مركب كبريتيد الحديد FeS تكونت من تفاعل 6.4 g من عنصر الحديد مع 3.2 g من عنصر الكبريت. أحسب النسبة المئوية بالكتلة لكل من العنصرين Fe و S في العينة؟

الحل:

نحسب كتلة المركب كبريتيد الحديد FeS كما يأتي:

$$\begin{aligned}m(\text{FeS}) &= m(\text{Fe}) + m(\text{S}) \\ &= 6.4 + 3.2 \\ &= 9.6 \text{ g}\end{aligned}$$

• نحسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر Fe كما يأتي:

$$\begin{aligned}\text{Percent Compsition (Fe)} &= \frac{m.\text{element}}{m.\text{Compound}} \times 100 \\ &= \frac{6.4}{9.6} \times 100 = 67\%\end{aligned}$$

• نحسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر S كما يأتي:

$$\text{Percent Compsition (S)} = \frac{3.2}{9.6} \times 100 = 33\%$$

يلاحظ أنّ مجموع النسب المئوية بالكتلة للعناصر المكونة للمركب تساوي 100%.

ويمكن بواسطة معرفة صيغة المركب وكتلته المولية حساب نسبة العنصر كما يلي:

## المثال 10

أحسب النسبة المئوية لكل من عنصري الكربون والهيدروجين في جزيء الجلوكوز الذي صيغته  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  وكتلته المولية؛ 180 g/mol علمًا بأنّ الكتل الذرية (C = 12 , O = 16 , H = 1).

الحل:

$$\begin{aligned}\text{Percent Compsition} &= \frac{A_m}{M_r} \times 100 \\ \text{C} &= \frac{72}{180} \times 100 = 40\% \\ \text{H} &= \frac{12}{180} \times 100 = 6.67\%\end{aligned}$$

✓ أتحقّق:

- 1- أحسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر H في مركب كتلته 4.4g ويحتوي 0.8g منه.
- 2- أحسب النسبة المئوية لعنصر الأوكسجين في جزيء الجلوكوز الذي صيغته  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .

## الصيغة الكيميائية للمركب Chemical Formula

تعدُّ الصيغة الكيميائية للمركب طريقةً للتعبير عن عدد ذرات العناصر المكونة له ونوعها؛ حيث يظهر في الصيغة الرمز الكيميائي للعنصر، وعدد ذراته.



## الصيغة الأولية Empirical Formula

تُسمى الصيغة التي تدلُّ على أبسط نسبة عددية صحيحة بين ذرات العناصر المكونة للمركب **الصيغة الأولية Empirical Formula**، ويمكن حسابها مثلما في المثال الآتي:

### المثال 1

ما الصيغة الأولية لمركب هيدروكربوني يحتوي (60 g) كربوناً، و (20 g) هيدروجيناً؛ علماً بأن الكتل الذرية (H = 1, C = 12)؟

**الحل:** أتبع الإجراءات المبسطة الآتية:

	C	H
أكتب كتلة كلِّ عنصرٍ من العناصر المذكورة في السؤال.	60	20
أجد عدد مولات كلِّ عنصرٍ؛ حيث $(n = \frac{m}{M_r})$ .	$\frac{60}{12} = 5$	$\frac{20}{1} = 20$
أجد أبسط نسبة عددية صحيحة (أقسم عدد مولات العنصر على القيمة الأقل لعدد المولات).	$\frac{5}{5} = 1$	$\frac{20}{5} = 4$

وحيث إنَّ النسبة بين ذرات H : C هي 1:4 على الترتيب؛ فإنَّ الصيغة الأولية للمركب هي  $CH_4$ .

### المثال 2

ما الصيغة الأولية لمركب يتكون من 40% من الكالسيوم، 12% من الكربون، 48% من الأكسجين؛ علماً بأن الكتل الذرية (Ca = 40, O = 16, C = 12)؟

	Ca	C	O
أكتب النسبة المئوية لكلِّ عنصرٍ.	40	12	48
$(n = \frac{m}{M_r})$ .	$\frac{40}{40} = 1$	$\frac{12}{12} = 1$	$\frac{48}{16} = 3$
أجد أبسط نسبة عددية صحيحة (أقسم عدد مولات العنصر على القيمة الأقل لعدد المولات).	1	1	3

وبذلك تكون الصيغة الأولية للمركب  $CaCO_3$ .

## الصيغة الجزيئية Molecular Formula

من الملاحظ أن الصيغة الأولية تدل على أبسط نسبة عددية صحيحة لذرات العناصر في المركب، لكنها قد لا تُبين العدد الفعلي لهذه الذرات؛ فمثلاً قد تكون الصيغة الأولية لأحد الجزيئات  $\text{CH}_3$ ، ولكن لا يوجد في الطبيعة جزيء صيغته  $\text{CH}_3$ ، وإنما مضاعفات من عدد ذرات الكربون والهيدروجين، وفي الواقع فإن الجزيء الواحد من هذا المركب يحتوي على ست ذرات H وذرتي C، وبالتالي؛ تكون صيغته الفعلية  $\text{C}_2\text{H}_6$ ، وتسمى الصيغة الجزيئية Molecular Formula للمركب، وهي صيغة تُبين الأعداد الفعلية للذرات وأنواعها.

ولمعرفة الصيغة الجزيئية للمركب يجب تحديد الكتلة المولية له من خلال التجارب العملية أولاً، ومن ثم مقارنتها بكتلة الصيغة الأولية. فمثلاً لو كانت الكتلة المولية للجزيء  $\text{CH}_3$  15 g/mol فإن صيغته الأولية هي صيغته الجزيئية، في حين أنه إذا كانت كتلته المولية 30 g/mol فتكون صيغته الجزيئية  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

## المثال 13

ما الصيغة الأولية، والصيغة الجزيئية لمركب هيدروكربوني يتكون من 85.7% من الكربون، 14.3% من الهيدروجين. علماً بأن الكتل الذرية (C = 12, H = 1)، والكتلة المولية للمركب 56 g/mol؟

الحل:

	C	H
أكتب النسبة المئوية لكل عنصر	85.7	14.3
أجد عدد ذرات العنصر n.	$\frac{85.7}{12} = 7.1$	$\frac{14.3}{1} = 14.3$
أجد عدد ذرات العنصر (أقسم عدد مولات العنصر على القيمة الأقل لعدد المولات).	$\frac{7.1}{7.1} = 1$	$\frac{14.3}{7.1} = 2$

تستنتج أن الصيغة الأولية للمركب هي  $\text{CH}_2$ ، وكتلة هذه الصيغة 14 g، وبما أن الكتلة المولية للمركب 56 g/mol، فإن العدد الفعلي للذرات يُحسب على النحو الآتي:

$$\frac{\text{الكتلة المولية للمركب}}{\text{كتلة الصيغة الأولية}} \times \text{عدد ذرات العنصر في الصيغة الأولية} = \text{العدد الفعلي للذرات}$$

$$N = N_{\text{emp}} \times \frac{M_r}{m_{\text{emp}}}$$

$$N_{\text{H}} = 1 \times \frac{56}{14} = 4$$

$$N_{\text{C}} = 1 \times \frac{56}{14} = 4$$

وبذلك تكون الصيغة الجزيئية  $\text{C}_4\text{H}_8$

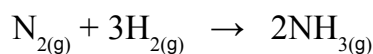
✓ أتتحقق:

ما الصيغة الجزيئية لمركب كتلته المولية 58 g/mol، وصيغته الأولية  $\text{C}_2\text{H}_5$  علماً بأن الكتل الذرية (C = 12, H = 1)؟

## الحسابات المبنية على المول - الكتلة

### Calculations based on Mole - Mass

يُستخدَم مفهوم المول في الحسابات الكيميائية باعتباره وحدة قياس للمادة؛ إذ تُستخدَم المعادلة الكيميائية الموزونة لتحديد عدد مولات المواد المتفاعلة والنااتجة. فعلى سبيل المثال في المعادلة الموزونة.



تلاحظ من المعادلة أنه عند تفاعل 3 mol من  $\text{H}_2$  مع 1 mol من  $\text{N}_2$  فإنه ينتج 2 mol من  $\text{NH}_3$ ، وتكون النسبة بين عدد المولات ( $\text{NH}_3 : \text{N}_2 : \text{H}_2$  هي 2 : 1 : 3) على الترتيب، وتسمى النسبة المولية **Mole Percentage** وهي: النسبة بين عدد مولات مادة إلى عدد مولات مادة أخرى، ويمكن كتابة النسبة المولية للهيدروجين مثلاً  $\text{H}_2$  بدلالة عدد مولاته إلى عدد مولات النيتروجين  $\text{N}_2$ ، كما يأتي:

$$\frac{n \text{H}_2}{n \text{N}_2} = \frac{3}{1}$$

وأيضاً يمكن كتابة النسبة المولية للهيدروجين  $\text{H}_2$  بدلالة عدد مولاته إلى عدد مولات  $\text{NH}_3$ ، كما يأتي:

$$\frac{n \text{H}_2}{n \text{NH}_3} = \frac{3}{2}$$

وكذلك الحال عند كتابة النسبة المولية للنيتروجين  $\text{N}_2$  بدلالة

$\text{H}_2$  أو  $\text{NH}_3$ .

$$\frac{n \text{N}_2}{n \text{H}_2} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{n \text{N}_2}{n \text{NH}_3} = \frac{1}{2}$$





## حسابات (المول – المول) Calculations Mole-Mole

تُستخدَمُ النسبة المولية في تحويل عددِ مولاتِ المادةِ المعروفةِ إلى عددِ مولاتِ المادةِ الأخرى المطلوبِ حسابها في المعادلة الكيميائية الموزونة، وعلى سبيلِ المثالِ في المعادلة السابقة عند تفاعل 0.1 mol من الهيدروجين فإنه يمكن حساب عددِ مولاتِ النيتروجين المتفاعلة على النحو الآتي:

نحدد النسبة المولية للمادة المطلوبة، وهي النيتروجين  $N_2$ .

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

نحسب عددَ مولاتِ النيتروجين اللازمة للتفاعل، وذلك بضرب النسبة المولية له في عددِ مولاتِ الهيدروجين المعطاة في السؤال، كما يأتي:

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

## المثال 14

في المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:



أحسب عددَ مولاتِ  $H_2O$  الناتجة عن تفاعل 4 mol من  $O_2$  مع كمية كافية من الهيدروجين.  
الحل:

بالرجوع إلى المعادلة الكيميائية الموزونة، نجد النسبة المولية  $H_2O$  بدلالة  $O_2$  كالآتي:

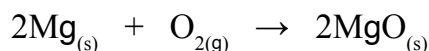
$$\frac{n H_2O}{n O_2} = \frac{1}{2}$$

ولحساب عددِ مولاتِ  $H_2O$  الناتجة نضرب النسبة المولية لها في عددِ مولاتِ  $O_2$  المُعطاة في السؤال، كما يأتي:

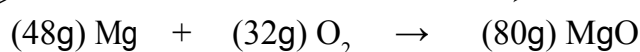
$$n H_2O = \frac{1}{2} \times 4 \text{ mol} = 8 \text{ mol}$$

## حسابات (مول - كتلة) Mass- Mole Calculations

يُلاحظُ مما سبق أنَّ المعادلةَ الكيميائيةَّ الموزونة تشيرُ إلى نسبِ أعدادِ مولاتِ الموادِّ المتفاعلةِ والنتيجةِ. وحيثُ يمثلُ المولُ الواحدُ من أيةِ مادةٍ الكتلةَ الموليةَ لها؛ فإنه يمكنُ حسابُ كتلِ الموادِّ المتفاعلةِ والنتيجةِ في المعادلةِ الموزونةِ بمعرفةِ عددِ مولاتها، ففي المعادلةِ الموزونةِ الآتيةِ مثلاً:



يُلاحظُ أنَّه تفاعلَ 2 mol من Mg مع 1 mol من O<sub>2</sub> لتكوينِ 2 mol من MgO، وبتحويلِ مولاتِ الموادِّ المتفاعلةِ والنتيجةِ إلى كتلٍ، ينتجُ:



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

## المثال 15

في معادلةِ التفاعلِ الموزونةِ:  $2\text{H}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  أحسبُ كتلةَ H<sub>2</sub> اللازمةَ للتفاعلِ معَ 7 mol من O<sub>2</sub>، علماً بأنَّ كتلةَ 1 mol من H<sub>2</sub> تساوي 2 g/mol.

الحلُّ:

بالرجوعِ إلى معادلةِ التفاعلِ الموزونةِ نجدُ أنَّ النسبةَ الموليةَ H<sub>2</sub> هي:

$$\frac{n \text{ H}_2}{n \text{ O}_2} = \frac{2}{1}$$

نستخدمُ النسبةَ الموليةَ لتحويلِ مولاتِ O<sub>2</sub> إلى مولاتِ H<sub>2</sub> المطلوبة كما يأتي:

$$n \text{ H}_2 = \frac{2}{1} \times 7 \text{ mol} = 14 \text{ mol}$$

فإنَّه يمكنُ تحويلُ مولاتِ الهيدروجينِ إلى كتلةٍ كما يأتي:

$$m \text{ H}_2 = \frac{2 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times 14 \text{ mol} = 28 \text{ g}$$

## المثال 16

أحسب كتلة Fe الناتجة عن تفاعل 9 mol من الكربون C، وفق المعادلة الموزونة الآتية: (علمًا بأن الكتلة المولية: Fe = 56 g/mol)



الحل:

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

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

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

### حسابات (كتلة - كتلة) Mass - Mass Calculations

من الملاحظ في ما سبق أنه بمعرفة عدد مولات المادة المتفاعلة أو الناتجة والنسبة المولية لها، يمكن حساب عدد مولات مادة أخرى وكتلتها. وبهذا؛ يمكن أيضًا حساب كتلة مادة متفاعلة أو ناتجة عن طريق معرفة كتلة مادة أخرى في المعادلة الموزونة كالاتي:

## المثال 17

في معادلة التفاعل الآتية:  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$

أحسب كتلة الأمونيا  $\text{NH}_3$  الناتجة عن تفاعل 56g من النتروجين، والكتل الذرية (H = 1 , N = 14)

الحل:

نحسب عدد مولات  $\text{NH}_3$ :

$$n \text{ NH}_3 = \frac{2}{1} \times 2 \text{ mol} = 4 \text{ mol}$$

ومنها نحسب كتلتها:

$$m \text{ NH}_3 = \frac{17 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times 4 \text{ mol} = 68 \text{ g}$$

نحوّل كتلة النتروجين المعلومة في السؤال إلى مولات:

$$n \text{ N}_2 = 56 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28 \text{ g}} = 2 \text{ mol}$$

نجد النسبة المولية  $\text{NH}_3$

$$= \frac{n \text{ NH}_3}{n \text{ N}_2} = \frac{2}{1}$$

✓ **أنتحقّق:** اعتمادًا على المعادلة الموزونة الآتية:  $2\text{Mg}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{MgO}(\text{s})$

1- أحسب عدد مولات  $\text{O}_2$  اللازمة للتفاعل مع 5 mol من عنصر Mg

2- أحسب كتلة  $\text{MgO}$  الناتجة عن احتراق 6g من عنصر Mg احتراقًا تامًا، بوجود كمية كافية من الأكسجين.

## المردود المئوي Percentage Yield

تعلمت في الحسابات السابقة حساب كمية مادة ناتجة عن التفاعل من معرفة كمية مادة أخرى في التفاعل، ومعادلة التفاعل الكيميائية الموزونة،

وتُسمى كمية المادة الناتجة المحسوبة من التفاعل المردود المتوقع

(النظري) Predict Yield ويرمزُ إليها بالرمز (Py). أما كمية المادة الناتجة

فعلياً من التفاعل التي يحددها الكيميائي من التجارب الدقيقة تسمى

المردود الفعلي (الحقيقي) Actual Yield. ويرمزُ إليها بالرمز (Ay).

وبمعرفة المردود النظري والمردود الفعلي للمادة الناتجة يمكن

حساب المردود المئوي Percentage Yield (Y) وهو النسبة المئوية

للمردود الفعلي إلى المردود النظري، ويُعبّر عنه بالمعادلة الآتية:

ويُعبّر عنه بالمعادلة الآتية:

$$\text{المردود المئوي للتفاعل} = \frac{\text{الفعلي المردود}}{\text{المتوقع المردود}} \times 100$$

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

## المثال 18

في تفاعل ما حصلنا على 2.64 g من كبريتات الأمونيوم. فإذا علمت

أن المردود المتوقع 3.3g فأحسب المردود المئوي للتفاعل.

الحل:

$$Y = \frac{A_y}{P_y} \times 100$$
$$= \frac{2.64}{3.3} \times 100 = 80\%$$

✓ أتتحقّق:

ما الفرق بين المردود الفعلي، والمردود المتوقع للتفاعل؟

**أفكر:** لماذا تكون نسبة المردود الفعلي أقلّ بشكل عامّ من نسبة المردود المتوقع؟

أبحثُ



أرجع إلى المواقع الإلكترونية عبر شبكة الإنترنت، وأكتب تقريراً عن النسبة المئوية لنقاوة المادة (Percentage Purity) مبيّناً أهميتها في الصناعات الكيميائية، وكيف يجري حسابها. وأناقشه مع زملائي ومعلمي.

## مراجعة الدرس



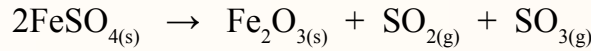
1- **الفكرة الرئيسية:** ما أهمية الحسابات الكيميائية؟

2- **أوضح** المقصود بكلٍّ من: النسبة المئوية بالكتلة لعنصر، الصيغة الأولية، الصيغة الجزيئية، المردود المئوي للفاعل.

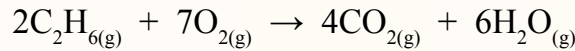
3- ما الصيغة الأولية لمركب يتكون من تفاعل 2.3g من الصوديوم Na مع 8g من البروم Br؟

4- ما الصيغة الجزيئية لمركب هيدروكربوني يتكون من 92.3% من الكربون، و 7.7% من الهيدروجين؛ علماً بأن الكتلة المولية للمركب 26 g/mol؟

5- **أحسب** كتلة أكسيد الحديد (III)  $Fe_2O_3$  الناتجة من تفاعل 9.12g من كبريتات الحديد (II) ( $FeSO_4$  II) علماً بأن معادلة التفاعل الموزونة هي:



6- **أحسب** عدد مولات غاز ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  الناتجة عن احتراق 6 mol من غاز الإيثان  $C_2H_6$  احتراقاً تاماً في كمية وافرة من غاز الأوكسجين؟ وذلك حسب المعادلة الموزونة الآتية:

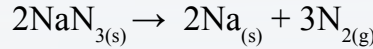


7- **أحسب** المردود المئوي لفاعل ما لإنتاج أكسيد الكالسيوم؛ علماً بأن المردود المتوقع 2.8g والمردود الفعلي 2.8g

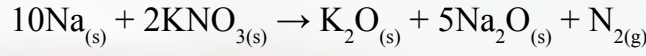
تُستخدم في السيارات الحديثة الصنع وسادة هوائية؛ لمنع ارتطام السائق بمقود السيارة لحظة اصطدام السيارة بسيارة أخرى أو بأي جسم آخر؛ حيث يتمدد الهواء داخل الوسادة فتتفخ وتتضخم، وتعمل على حماية السائق. وفي حالة احتواء الوسادة على كمية كبيرة من الهواء فإنها تصبح قاسية، وهو ما قد يتسبب جروحاً خطيرة. وفي المقابل فإن كمية الهواء القليلة تكون غير كافية لمنع تأثير ارتطام السائق.

ولذلك يستخدم المهندسون الحسابات الكيميائية لتقدير الكميات الدقيقة من المواد الكيميائية اللازمة للتفاعل داخل الوسادة؛ حتى يكون نظام الأمان فعالاً.

ومن المواد المستخدمة في الوسادة الهوائية مركبي أزيد الصوديوم  $\text{NaN}_3$ ، وترات البوتاسيوم  $\text{KNO}_3$ ، وعند حدوث التصادم تحدث سلسلة من التفاعلات الكيميائية، منها تحلل مركب أزيد الصوديوم منتجاً الصوديوم وغاز النيتروجين كما يأتي:



حيث يتسبب غاز النيتروجين بانفخ الوسادة الهوائية. في حين تتفاعل ترات البوتاسيوم مع الصوديوم وذلك لمنع تفاعله مع الماء، كما في المعادلة الآتية:



وفي المحصلة فإن المواد الناتجة عن هذه التفاعلات تكون غير ضارة.

**أبحاث** في مصادر المعرفة المناسبة عن تركيب الوسادة الهوائية وكيفية عملها، ثم أكتب تقريراً عن ذلك، ثم أناقشه مع زملائي.

## مراجعة الوحدة

1. ما المقصودُ بكلِّ من المصطلحاتِ الكيميائية الآتية:

- المول.
- الكتلة الجزيئية.
- التفاعل الكيميائي.
- قانون حفظ الكتلة.
- المردود المئوي للتفاعل.
- النسب المئوية لكتلة عنصرٍ في مركبٍ.

2. أكتب معادلةً كيميائيةً موزونةً تمثل:

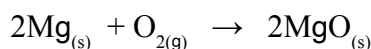
- أ. تفاعل عنصر الحديد الصلب مع غاز الأكسجين لإنتاج أكسيد الحديد (III) الصلب.  
 ب. تفاعل كربونات الكالسيوم الصلبة مع محلول حمض الهيدروكلوريك لإنتاج كلوريد الكالسيوم الصلب وغاز ثاني أكسيد الكربون والماء السائل.  
 ج. تفاعل أيونات الفضة مع أيونات البروميدي؛ لتكوين راسب من بروميد الفضة.

3. **أستنتج** الصيغة الأولية للمركب في كلِّ من الحالات الآتية:

- أ. تفاعل 2.3 g من الصوديوم مع 8 g من البروم.  
 ب. تفاعل 0.6 g من الكربون مع الأكسجين لتكوين 2.2 g من أكسيد الكربون.

4. **أستنتج** الصيغة الجزيئية لمركب صيغته الأولية  $CH_2$  وكتلته المولية 28 g .

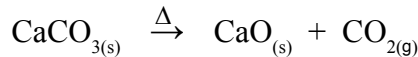
5. يحترق عنصر المغنسيوم وفق المعادلة الآتية:



- أ. **احسب** كتلة المغنسيوم اللازمة لإنتاج 8 g من أكسيد المغنسيوم.  
 ب. **احسب** كتلة الأكسجين اللازمة لإنتاج 8 g من أكسيد المغنسيوم.

6. **أحسب** عدد المولات في: 9.8 g من حمض الكبريتيك  $H_2SO_4$

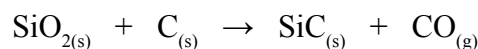
7. تتحلل كربونات الكالسيوم بالحرارة وفق المعادلة الآتية:



فإذا علمتُ أنَّ الكتل الذرية: (C = 12, O = 16, Ca = 40)

- أ. **فأحسب** كتلة أكسيد الكالسيوم الناتجة عن تسخين 50 g من كربونات الكالسيوم.  
 ب. **وأحسب** المردود المئوي للتفاعل إذا حصلنا على 15 g فقط من أكسيد الكالسيوم.

8. - كربيد السيلكون SiC مادة قاسية تستخدم في صناعة ورق الزجاج وحجر الجليخ، ويتم الحصول عليه من تسخين أكسيد السيلكون مع الكربون وفق المعادلة:



فإذا علمتُ أنَّ الكتل الذرية للعناصر المذكورة كالآتي: (C = 12, O = 16, Si = 28)

## مراجعة الوحدة

أ . فأزّن معادلة التفاعل.

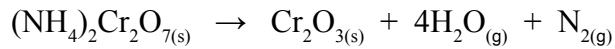
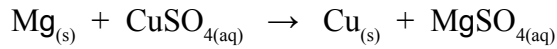
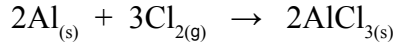
ب. أحسب عدد مولات CO الناتجة عن تفاعل 0.5 mol من  $\text{SiO}_2$

ج. أحسب كتلة SiC الناتجة عن تفاعل 4 mol من ذرات الكربون.

د . احسب النسبة المئوية لعنصر الكربون في المركب SiC.



9. أصنف المعادلات الآتية حسب أنواعها ( من: اتحاد، أو تحلل، أو إحلال أحادي):



10. أختار رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. ما عدد مولات ذرات الأكسجين الموجودة في 1 mol من  $\text{A}_9\text{NO}_3$ ؟

أ . 1      ب . 2      ج . 3      د . 4

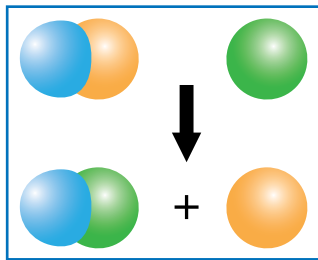
2. أي من الآتية يعد الكتلة المولية لمركب  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (بوحدّة g/mol)؟

أ . 71      ب . 119      ج . 142      د . 183

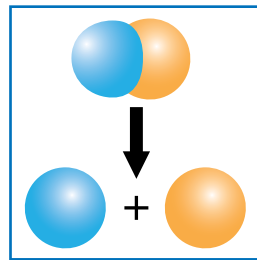
3. تُسمى كمية المادة الناتجة المحسوبة من التفاعل:

أ . المرود المتوقع.      ب . المرود الفعلي.      ج . الكتلة المولية.      د . المول.

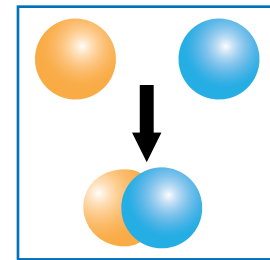
11. أميز التفاعلات الواردة في النماذج الآتية وفسرها:



c



b



a

12. مركب كتلته 8.8 g يتكون فقط من عنصري الكربون والهيدروجين، وكتلة الهيدروجين: 1.6 g

أ . أحسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر الكربون والهيدروجين في المركب.

ب. أستنتج أي الصيغتين تمثل المركب  $\text{C}_2\text{H}_6$  أم  $\text{C}_3\text{H}_8$ ؟



# الطاقة الكيميائية

## Chemical Energetics

## الوحدة

# 5



### أتأملُ الصورةَ

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

## الفكرة العامة:

تعدُّ التفاعلات الكيميائية المصدرَ الأساسيَّ لأشكالِ الطاقةِ على سطحِ الأرضِ.

**الدرسُ الأولُ:** تغيراتُ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ.

**الفكرةُ الرئيسةُ:** يرافقُ التغيراتِ الكيميائيةَ والفيزيائيةَ التي تحدثُ للموادِّ امتصاصُ للطاقةِ أو انبعاثُ لها.

**الدرسُ الثاني:** الطاقةُ الممتصةُ والمنبعثةُ منَ المادةِ.

**الفكرةُ الرئيسةُ:** تتبادلُ الموادُّ الطاقةَ في ما بينها وبينَ الوسطِ المحيطِ تبعًا لطبيعتها واختلافِ درجةِ حرارتها.

**الدرسُ الثالثُ:** حساباتُ الطاقةِ في التفاعلاتِ الكيميائيةِ.

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

## تجربة استعلاية



### الطاقة المرافقة للتفاعل

المواد والأدوات: كأس زجاجية، ميزان حرارة، مخبران مدرجان، ماء مقطر، محلول حمض الكبريتيك المركز (96%) ( $H_2SO_4$ ).

#### إرشادات السلامة:

- أتبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- أحذر من تذوق محلول حمض الكبريتيك المركز، أو لمسه بيدي.



#### خطوات العمل:

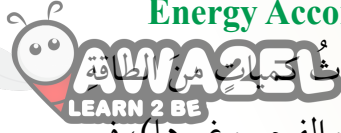
- 1 **أقيس:** أضع في الكأس الزجاجية (20 ml) من الماء المقطر باستخدام المخبر المدرج، وأقيس درجة حرارته، وأسجلها.
- 2 **أقيس:** أضع (5 ml) من محلول حمض الكبريتيك المركز في المخبر المدرج. وأقيس درجة حرارته وأسجلها.
- 3 أضيف ببطء محلول حمض الكبريتيك المركز إلى الكأس الزجاجية المحتوية على الماء المقطر، وأحرك المحلول ببطء.
- 4 **أقيس:** أنتظر دقيقة ثم أقيس درجة حرارة المحلول الجديد، وأسجلها.
- 5 **ألاحظ:** درجة حرارة الماء بعد إضافة محلول حمض الكبريتيك: هل ارتفعت أم انخفضت؟
- 6 **أنظم:** أسجل البيانات والقياسات، وأنظمها في جدول.

#### التحليل والاستنتاج:

- 1- أصف التغير الذي يحدث لدرجة حرارة الماء بعد إضافة محلول حمض الكبريتيك.
- 2- ماذا أستنتج؟

### الطاقة المرافقة للتفاعل الكيميائي:

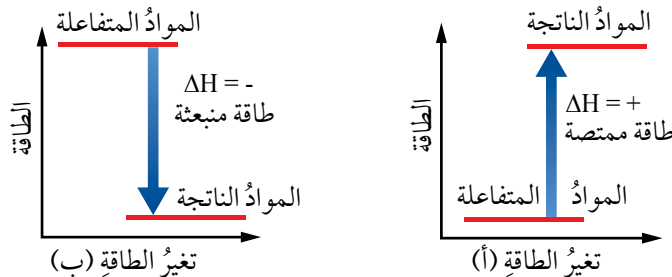
### Energy Accompaniment the Chemical Reactions



يرافق حدوث الكثير من التفاعلات انبعاث كميات من الطاقة مثل الناتجة عن احتراق الوقود (غاز الطبخ، والفحم وغيرها)، في حين تحتاج بعض التفاعلات إلى امتصاص الطاقة حتى تحدث، مثل طهو الطعام وتفاعلات البناء الضوئي وغيرها، ويهتم الكيميائيون بدراسة تغيرات الطاقة التي ترافق هذه العمليات والتفاعلات، فما مصدر هذه الطاقة؟ وكيف يمكن تمييز التفاعلات المختلفة؛ وفقاً لتغيرات الطاقة التي ترافق حدوثها.

### التغير في المحتوى الحراري (الإنتالبي): Change in Enthalpy

تحدث الكثير من التفاعلات الكيميائية في المختبرات، وفي أجسام الكائنات الحية عند ضغط ثابت، ويرافق حدوثها انبعاث أو امتصاص للطاقة، ما يشير إلى تغيرات تحدث على الطاقة المخزونة في المواد المتفاعلة والناتجة التي تسمى **المحتوى الحراري Enthalpy**، وهو كمية الطاقة المخزونة في مول من المادة، ويرمز له بالرمز (H)، ويُطلق على كمية الطاقة الممتصة أو المنبعثة خلال التفاعل التغير في المحتوى الحراري للتفاعل، ويرمز إليه بالرمز ( $\Delta H$ )، وقد تكون إشارته موجبة أو سالبة؛ فإذا كانت الطاقة ممتصة خلال التفاعل تكون ( $\Delta H$ ) ذات إشارة موجبة (+)، أما إذا كانت الطاقة منبعثة من التفاعل فتكون ذات إشارة سالبة (-)، ويبين الشكل (1) مخطط تغير المحتوى الحراري للتفاعل.



الشكل (1) تغير المحتوى الحراري للتفاعل.

### الفكرة الرئيسة:

يرافق التغيرات الكيميائية والفيزيائية التي تحدث للمواد من امتصاص للطاقة أو انبعاث لها.

### نتائج التعلم:

- يبين أهمية الطاقة في التفاعلات الكيميائية وأشكالها وتطبيقاتها.
- يصنف التفاعلات الكيميائية وفق الطاقة المصاحبة لها إلى ماصة وطاردة.
- يوظف التكنولوجيا للبحث في الطاقة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية.

### المفاهيم والمصطلحات:

الطاقة: Energy

المحتوى الحراري: Enthalpy  
تفاعلات طاردة للحرارة:

Exothermic Reactions

تفاعلات ماصة للحرارة:

Endothermic Reactions

الانصهار: Fusion

التبخّر: Evaporation

التجمّد: Freezing

التكاثف: Condensation

التسامي: Sublimation

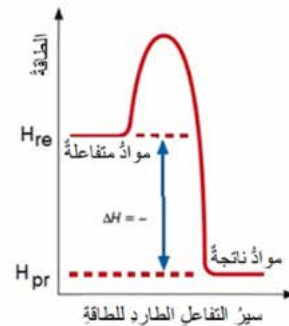
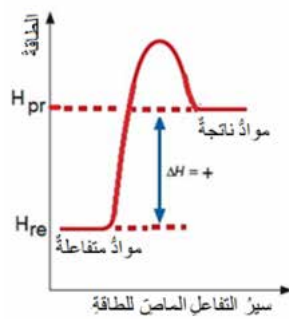
طاقة الانصهار المولية:

Molar Fusion Energy

طاقة التبخر المولية:

Evaporation Energy Molar

الشكل (2) التغير في  
المحتوى الحراري.



يعتمدُ التغيرُ في المحتوى الحراريّ ( $\Delta H$ ) على الحالة النهائية والحالة الابتدائية للتفاعل، ولا يعتمدُ على الطريقة التي يحدثُ بها التفاعلُ، كما يتضحُ من الشكل (2) الذي يبينُ مخططَ التغيرِ في المحتوى الحراريّ لتفاعلٍ طاردٍ للطاقة، وتفاعلٍ آخرٍ ماصٍّ لها.

لاحظ أن التغيرَ في المحتوى الحراريّ للتفاعلِ يمثلُ الفرقَ بينَ المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة ( $H_{pr}$ )، والمحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة ( $H_{re}$ )، ويُقاسُ بالكيلوجول/مول ( $\text{kJ/mol}$ )، ويمكنُ حسابهُ باستخدامِ العلاقة الآتية:

التغيرُ في المحتوى الحراريّ للتفاعلِ =

المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة - المحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة.

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

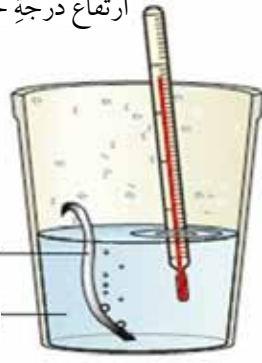
### تفاعلات طاردة للحرارة: Exothermic Reactions

تنتقلُ الطاقةُ في كثيرٍ من التفاعلاتِ من الموادّ المتفاعلة إلى الوسط المحيطٍ مثل تفاعلاتِ احتراقِ الوقود، وتفاعلاتِ التعادلِ التي تحصلُ بينَ الحمضِ والقاعدة. فمثلاً عندَ احتراقِ الوقودِ في المدفأةِ تنبعثُ عنه طاقةٌ حراريةٌ؛ ما يفضي إلى رفعِ درجةِ حرارةِ الوسطِ المحيطِ، ويشعُرُ المحيطونَ بالمدفأةِ بالدفءِ، وكذلكَ عندَ احتراقِ سكرِ الجلوكوزِ في الخلايا فإنَّهُ يزودُها بالطاقةِ اللازمةِ لأداءِ العملياتِ الحيويةِ المختلفةِ، يُطلقُ على التفاعلاتِ التي من هذا النوعِ اسمُ **التفاعلاتِ الطاردة للحرارة Exothermic Reactions**؛ حيثُ يكونُ المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة ( $H_{pr}$ ) أقلَّ منَ المحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة ( $H_{re}$ )، وبناءً عليه؛ فإنَّ التغيرَ في المحتوى الحراريّ ( $\Delta H$ ) للتفاعلِ يصبحُ سالباً.

**أفكر:** كيف يتم انتقال الحرارة من المدفأة الى الأشخاص المحيطين بها؟

ارتفاع درجة حرارة المحلول

شريط مغنيسيوم  
محلول حمض  
الهيدروكلوريك



الشكل (3) التفاعل الطارد  
للطاقة.

فمثلاً يتفاعل شريط المغنيسيوم (Mg) مع محلول حمض الهيدروكلوريك (HCl) كما في الشكل (3)، وترتفع درجة حرارة المحلول، ما يعني أن التفاعل طاردٌ للحرارة، حيث تنطلق طاقة حرارية من التفاعل تُسببُ رفعَ درجة حرارة المحلول، وهذه الطاقة تمثل التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ( $\Delta H$ )، ويمكن التعبير عن التفاعل بالمعادلة الحرارية الآتية:



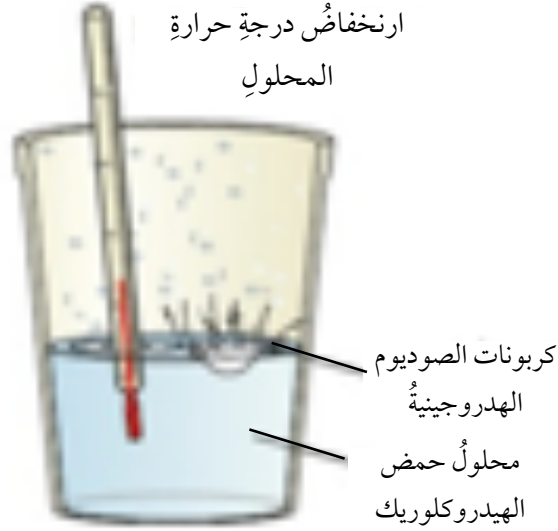
يُستفاد من الحرارة (Heat) المنبعثة من التفاعلات الطاردة للطاقة في مختلف مناحي الحياة كعمليات طهو الطعام، والتسخين، وتشغيل المركبات، والآلات الصناعية وغيرها.

### تفاعلات ماصة للحرارة: Endothermic Reactions

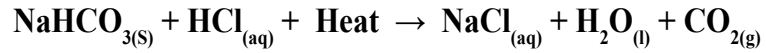
تحتاج بعض التفاعلات إلى كمية من الطاقة للتغلب على الروابط بين ذرات المواد المتفاعلة؛ فتمتص هذه المواد الطاقة من الوسط المحيط؛ مما يسبب انخفاضاً في درجة حرارة الوسط، مثل تفاعلات التحلل الحراري، فمثلاً يتطلب تحلل كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) امتصاص كمية من الطاقة لكسر الروابط بين الذرات وتحلل المادة، وكذلك تفاعل البناء الضوئي الذي يحصل في النبات يمتص الطاقة اللازمة لحدوثه من ضوء الشمس ويُطلق على التفاعلات التي من هذا النوع اسم **التفاعلات الماصة للحرارة Endothermic Reactions**، حيث يكون المحتوى الحراري للمواد الناتجة ( $H_{pr}$ ) أكبر من المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة ( $H_{re}$ )، ومن ثم؛ فإن التغير في المحتوى الحراري ( $\Delta H$ ) يصبح موجباً.



**أفكر:** يستخدم تفاعل التيرمايت في لحم قضبان السكك الحديدية، ويتطلب تزويده بكمية كبيرة من الحرارة لبدء التفاعل، ورغم ذلك يعد تفاعل التيرمايت طاردا للحرارة، فسر ذلك؟

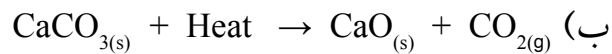
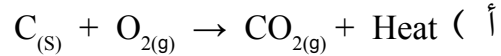


فمثلاً لوحظَ عند إضافة كربونات الصوديوم الهيدروجينية ( $\text{NaHCO}_3$ ) إلى محلول حمض الهيدروكلوريك ( $\text{HCl}$ ) انخفاض في درجة حرارة المحلول، كما يبين الشكل (4)؛ الأمر الذي يعني أن التفاعل امتصَّ الطاقة من المحلول وتسبب في خفض درجة حرارة المحلول، وهذه الطاقة تمثل التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ( $\Delta H$ )، ويمكن التعبير عن التفاعل كما في المعادلة الآتية:



✓ **أتحقَّق:**

1- أيُّ التفاعلات الآتية يعدُّ ماصًّا للطاقة وأيُّها يعدُّ طارداً لها:



2- ماذا تمثل الطاقة في كلِّ من التفاعلين السابقين؟ وما إشارتها؟

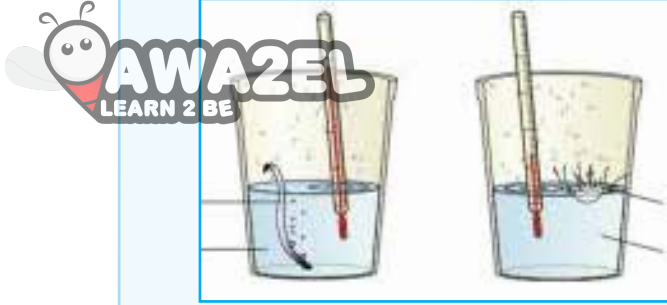
### أبحثُ



يُستفاد من التفاعلات الطاردة للحرارة في عملِ الوجبات الساخنة من دون لهب. مستعيناً بالكلمات المفتاحية الآتية: (التسخين من دون لهب، الوجبات الساخنة لرواد الفضاء) أبحثُ كيفية تحضير هذه الوجبات، وأكتبُ تقريراً بذلك، أو أصممُ عرضاً تقديمياً حول الموضوع، وأعرضه أمام زملائي.

## التجربة 1

### التفاعل الطارد والتفاعل الماص للطاقة



**المواد والأدوات:** ثلاث كؤوس زجاجية، ميزان حرارة، ملعقة، ميزان حساس، قضيب زجاجي، مخبر مدرج، محلول حمض الهيدروكلوريك (HCl) تركيزه (0.5mol/L)، هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) تركيزه (0.5mol/L)، بلورات كلوريد الأمونيوم (NH<sub>4</sub>Cl)، شريط من المغنسيوم (2cm)، ماء مقطر.

#### إرشادات السلامة:

- أتبع إرشادات السلامة العامة في المختبر.
- ارتدي معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات.
- أحذر من تذوق محلول حمض الهيدروكلوريك (HCl)، أو استنشاق بخاره.
- أحذر من لمس محلول هيدروكسيد الصوديوم أو كلوريد الأمونيوم أو تذوق أي منهما.

#### خطوات العمل:

1. **أقيس:** أضع في الكأس الأولى (20ml) من محلول حمض الهيدروكلوريك باستخدام المخبر المدرج. وأقيس درجة حرارة المحلول في الكأس، وأسجلها.
2. **أقيس:** أضيف شريطاً من المغنسيوم طوله (2cm)، أحرك المحلول ببطء، وأقيس درجة حرارته، وأسجلها.
3. **ألاحظ:** درجة حرارة المحلول بعد إضافة شريط المغنسيوم؛ هل ارتفعت أم انخفضت؟
4. **أقيس:** أضع في الكأس (20ml) باستخدام المخبر المدرج. وأقيس درجة حرارة الماء، وأسجلها.
5. **أزن:** باستخدام الميزان الحساس أزن (5g) من كلوريد الأمونيوم، وأضيفها إلى الكأس، وأحرك المحلول ببطء، وأقيس درجة حرارة المحلول، وأسجلها.
6. **ألاحظ:** درجة حرارة الماء بعد إضافة كلوريد الأمونيوم؛ هل ارتفعت أم انخفضت؟

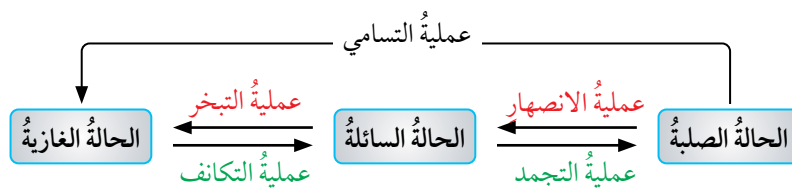
7. **أقيس:** أضع في الكأس الثالثة (20ml) من محلول حمض الهيدروكلوريك باستخدام المخبر المدرج. وأقيس درجة حرارته وأسجلها.
8. **أقيس:** أضيف إلى الكأس (20ml) من محلول هيدروكسيد الصوديوم، وأحرك المحلول ببطء، وأقيس درجة حرارته وأسجلها.
9. **ألاحظ:** درجة حرارة المحلول بعد إضافة هيدروكسيد الصوديوم؛ هل ارتفعت أم انخفضت؟
10. **أنظم:** أسجل البيانات والقياسات، وأنظمها في جدول.

#### التحليل والاستنتاج:

- 1- أصف التغير الذي يحدث لدرجة حرارة محلول حمض الهيدروكلوريك بعد تفاعله مع شريط المغنسيوم. ماذا أستنتج؟
- 2- أصف التغير الذي يحدث لدرجة حرارة الماء بعد تفاعله مع كلوريد الأمونيوم. ماذا أستنتج؟
- 3- أصف التغير الذي يحدث لدرجة حرارة محلول حمض الهيدروكلوريك بعد إضافة هيدروكسيد الصوديوم. ماذا أستنتج؟
- 4- أفسر التغير الذي يحصل على درجة الحرارة في كل حالة.



أي هذه التحولات يسبب  
انبعاثاً للطاقة الحرارية؟  
وأيهما يتطلب امتصاصاً لها؟



الشكل (5) تحولات الحالة الفيزيائية للمادة.

## الطاقة والحالة الفيزيائية للمادة:

### Energy and Physical State of Matter

توجد المادة في حالات فيزيائية ثلاث، هي: الصلبة والسائلة والغازية، ولكل من هذه الحالات خصائص معينة تعتمد على طبيعة المادة والروابط بين جسيماتها، ويمكن أن تتحول المادة من حالة فيزيائية إلى أخرى، فيمكن تحويل الغازات إلى سوائل بالضغط والتبريد، كذلك يمكن تحويل المادة الصلبة إلى السائلة بالتسخين، وهذا يشير إلى أنه يرافق تحول المادة من حالة فيزيائية إلى أخرى تغيرات في الطاقة؛ فقد يكون هذا التحول ماصاً للطاقة أو طارداً لها. ويبين الشكل (5) تغيرات الطاقة المصاحبة للتحولات الفيزيائية للمادة:

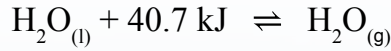
### الانصهار Fusion:

عملية تحويل المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، وهذا يتطلب تزويد المادة بكمية كافية من الطاقة الحرارية؛ للتغلب على الترابط بين جزيئات المادة أو ذراتها، وهذا يعني أن الانصهار عملية ماصة للطاقة، فمثلاً يمتص الجليد طاقة حرارية من الوسط المحيط ليتحول إلى الماء السائل، وهو ما يفسر الشعور ببرودة الجو نتيجة انخفاض درجة حرارته؛ بسبب انصهار الثلج في أيام الشتاء، وتعتمد كمية الطاقة اللازمة للانصهار على كمية الجليد، وتسمى كمية الطاقة اللازمة لتحويل مول من الجليد عند درجة حرارة ثابتة إلى الحالة السائلة طاقة الانصهار المولية، **Molar Fusion Energy** ولكل مادة طاقة انصهار خاصة بها، فطاقة الانصهار المولية للجليد مثلاً تساوي (6.01 kJ)، ويمكن التعبير عنها بالمعادلة الكيميائية الآتية:



## التبخُّر Evaporation:

عمليةُ تحوُّلِ المادةِ منَ الحالةِ السائلةِ إلى الحالةِ الغازيةِ، حيثُ تصبحُ جزيئاتُ المادةِ أو ذراتُها أكثرَ قدرةً على الحركةِ؛ ما يتطلبُ تزويدها بكميةٍ منَ الطاقةِ الحراريةِ تعملُ على تحريرِ الجزيئاتِ أو الذراتِ منَ قوى الترابطِ بينها في الحالةِ السائلةِ، وبذلك، فهي عمليةٌ ماصةٌ للطاقةِ؛ حيثُ تستمدُّ المادةُ الطاقةَ الحراريةَ اللازمةَ منَ الوسطِ المحيطِ، وهذا يفسرُ الشعورَ بالبرودةِ أو القشعريرةَ بعدَ الاستحمامِ، إذ يتبخَّرُ الماءُ عنَ سطحِ الجسمِ مستمدًّا الطاقةَ الحراريةَ اللازمةَ لذلكَ منَ الجلدِ؛ ما يخفِّضُ حرارةَ الجسمِ ويحدثُ الشعورَ بالبرودةِ، ويُطلَقُ على كميةِ الطاقةِ اللازمةِ لتبخيرِ مولٍ منَ المادةِ عندَ درجةِ حرارةٍ معينةٍ طاقةُ التبخيرِ المولية **Molar Evaporation Energy**، ولكلِّ مادةٍ طاقةُ تبخيرٍ خاصةٌ بها؛ فطاقةُ التبخيرِ الموليةُ للماءِ مثلاً تساوي: (40.7 kJ)، ويمكنُ التعبيرُ عنها بالمعادلةِ الكيميائية الآتية:



## التجمدُ Freezing:

عمليةُ تحوُّلِ المادةِ السائلةِ إلى صلبةٍ عن طريق تبريدها بخفضِ درجةِ حرارتها؛ ممَّا يقلُّ منَ حريةِ حركةِ الجزيئاتِ أو الذراتِ، ويزيدُ منَ تجاذبها وتماسكها، وهذا يتطلبُ فقدانها كميةً منَ الطاقةِ، ويُطلَقُ على هذه العملية: التجمدُ **Freezing**، وكميةُ الطاقةِ الناتجةُ عن تجمدِ مولٍ منَ المادةِ عندَ درجةِ حرارةٍ معينةٍ تساوي الطاقةَ اللازمةَ لصهرها عندَ درجةِ الحرارةِ نفسها. فمثلاً يتجمدُ الماءُ ويتحوُّلُ إلى جليدٍ عندَ درجةِ صفرٍ سيلسيوس وفي الوقت نفسه ينصهرُ الجليدُ ويتحوُّلُ إلى الماءِ السائلِ عندَ درجةِ الحرارةِ نفسها، فإذا تمَّ تجميدُ مولٍ منَ الماءِ وتحويله إلى جليدٍ تنطلقُ نتيجةً لذلكَ كميةٌ منَ الطاقةِ تساوي (6.01 kJ)، وتُسمَّى طاقةُ التجمدِ المولية **Molar Freezing Energy**.

**أفكر:** تلعبُ عمليةُ التبخرِ دورًا مهمًّا في الحفاظِ على درجةِ حرارةِ سطحِ الأرضِ وتوزيعِ الحرارةِ عليه، أوضح ذلكَ.



## التكاثف Condensation:

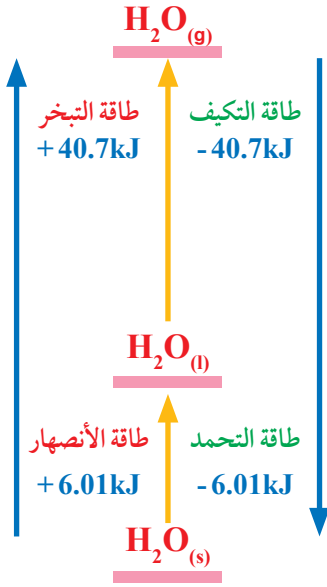
يتكاثف الغازُ ويتحولُ إلى سائلٍ عندَ زيادةِ الضغطِ المؤثرِ عليه وخفضِ درجةِ حرارتهِ؛ مما يتيحُ تقاربَ جزيئاتِ الغازِ من بعضها بالقدر الذي يسمحُ بتجاذبها وتحويلها إلى سائلٍ، ويُطلقُ على هذه العمليةِ التكاثفُ Condensation، وهذا أيضًا يسببُ انبعاثَ طاقةٍ حراريةٍ. وتُسمى كميةُ الطاقةِ المنبعثةُ عندَ تكاثفِ مولٍ من الغازِ عندَ درجةِ الغليانِ: طاقةُ التكاثفِ الموليةِ Molar Condensing Energy، وهي تساوي طاقةَ التبخرِ الموليةِ. وهكذا نجدُ أنَّ عمليتي التجمدِ والتكاثفِ هما تحولاتٌ طاردةٌ للطاقةِ الحراريةِ.

## التسامي Sublimation:

تحولُ المادةِ من الحالةِ الصلبةِ إلى الحالةِ الغازيةِ دونَ المرورِ بالحالةِ السائلةِ، وهذا يتطلبُ تزويدَ المادةِ بالطاقةِ اللازمةِ لتكسيرِ الروابطِ بينَ جزيئاتها أو ذراتها، ويصبحُ التجاذبُ بينها ضعيفًا جدًا فتتحولُ إلى الحالةِ الغازيةِ، فتسامي مولٍ من الجليدِ مثلاً يتطلبُ تزويدهُ بمقدارٍ من الطاقةِ يساوي (46.71 kJ)، وكميةُ الطاقةِ هذه تساوي مجموعَ كميةِ الطاقةِ اللازمةِ في ما لو جرى تحويلهُ إلى الحالةِ السائلةِ ثمَّ إلى الحالةِ الغازيةِ، ويبيِّنُ الشكلُ (6) تغيراتِ الطاقةِ المصاحبةَ لتحولاتِ الماءِ في الحالاتِ الثلاثِ.

✓ **أتحقَّقُ:**

- أيُّ التحولاتِ الفيزيائيةِ الآتيةِ يرافقهُ انبعاثٌ للحرارةِ؟ وأيُّها يرافقهُ امتصاصٌ لها:
- أ) جفافُ الملابسِ بعدَ غسلها ونشرها وتعريضها لأشعةِ الشمسِ.
- ب) انصهارُ الكتلِ الجليديةِ أيامَ الربيعِ في المناطقِ الشماليةِ منَ الكرةِ الأرضيةِ.
- ج) تكوُّنُ الصقيعِ (الجليدِ) في ليالي الشتاءِ الباردةِ.



الشكل (6) تحولاتِ الطاقةِ  
لحالاتِ الماءِ.

## الربط مع الحياة: الكمادات الباردة والساخنة

يتعرض الرياضيون للإصابة والكدمات أثناء المباريات الرياضية أو أثناء التدريبات، وقد استُفيد من التفاعلات الماصة والتفاعلات الطاردة للحرارة في صناعة ما يُسمى بالكمادات الفورية التي تُستخدم للتخفيف من الآلام الناتجة عن هذه الإصابات، وهي تتكون من كيسين من بلاستيكي يحتوي على مادة كيميائية بالإضافة إلى كيس صغير من الماء، وعند الضغط على الكمادة ينفجر كيس الماء بداخلها ويختلط بالمادة الكيميائية ويعمل على إذابتها، ويرافق ذلك انبعاث طاقة حرارية ترفع درجة حرارة المحلول، وتتكون الكمادة الساخنة، وعادة يُستخدم كلوريد الكالسيوم أو كبريتات المغنسيوم في هذه الكمادات. وقد يُستخدم في الكمادة مادة نترات الأمونيوم التي تؤدي إذابتها في الماء إلى امتصاص طاقة حرارية من الوسط، ويؤدي إلى انخفاض درجة حرارة المحلول، وتتكون الكمادة الباردة، وبهذا يمكن استخدام النوع المناسب من الكمادات ضمن عمليات الإسعاف الأولية التي يقدمها الاختصاصيون المرافقون للفريق أثناء المباريات.

### أبحثُ



لعلك لاحظت أن التحولات الفيزيائية في حالة المادة يرافقها امتصاص أو انبعاث للطاقة الحرارية، فهل جميع التحولات الفيزيائية والكيميائية للمواد يرافقها طاقة حرارية دائماً؟

مستعيناً بالكلمات المفتاحية الآتية: (الطاقة المرافقة للتفاعلات، أشكال الطاقة الكيميائية، الطاقة والتنفس) أبحث عن أشكال أخرى للطاقة ترافق التغيرات الكيميائية والفيزيائية للمادة، وأكتب تقريراً بذلك، أو أصمم عرضاً تقديمياً حول الموضوع، وأعرضه أمام زملائي.



## مراجعة الدرس



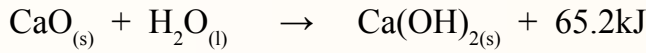
1- **الفكرة الرئيسية:** ما المقصودُ بكلِّ ممَّا يلي:

- المحتوى الحراريُّ.
- والتفاعلُ الماصُّ للحرارة.
- والتفاعلُ الطاردُ.
- وطاقةُ التبخرِ الموليةُ.
- وطاقةُ التكاثفِ الموليةُ.

2- **أحسب المتغيرات:** إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجة لتفاعلٍ ما (120kJ)، وللموادِّ المتفاعلة (80kJ)، فكمْ يكونُ التغيرُ في المحتوى الحراريُّ للتفاعلِ؟ وما إشارتهُ؟

3- **أفسر:** التغيرُ في المحتوى الحراريُّ لبعضِ التفاعلاتِ يكونُ سالبًا ( $\Delta H$ ).

4- **أصنّف** التفاعلاتِ الماصة للحرارة والتفاعلاتِ الطاردة لها:



5- **أفسر:**

أ ( الانخفاض النسبي لدرجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض أثناء انصهار الثلج في أيام الشتاء.

ب) تُستخدمُ الكمادةُ الباردة للمساعدة على خفضِ درجة حرارة الأطفال الذين يعانون من الحمى.

6- **أحسب المتغيرات:** إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجة لتفاعلٍ ما (140 kJ)، والتغيرُ في

المحتوى الحراريُّ للتفاعلِ (-60 kJ)، فكمْ يكونُ المحتوى الحراريُّ للموادِّ المتفاعلة؟

### تبادل الطاقة بين المادة والمحيط:

#### Energy Exchange between Matter and the Surrounding

#### الفكرة الرئيسة:

تبادل المواد الطاقة في ما بينها وبين الوسط المحيط؛ تبعاً لطبيعتها واختلاف درجة حرارتها.

#### نتائج التعلم:

- يحسب كمية الطاقة التي تمتصها أو تصدرها المادة.
- يجري تجارب عملية حول الطاقة الممتصة والمنبعثة من المادة.

#### المفاهيم والمصطلحات:

Heat Capacity	السعة الحرارية
Specific Heat	الحرارة النوعية
Matter State	حالة المادة
Calorimetry	المُسعر
Heat Absorbed	الحرارة الممتصة
Heat Emitted	الحرارة المنبعثة

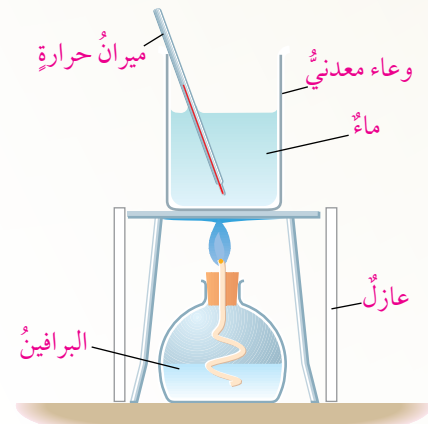
تبادل المواد المختلفة الحرارة مع الوسط المحيط بها، حيث تتبادل الحرارة عادةً من المادة ذات درجة الحرارة العليا إلى المادة ذات درجة الحرارة الدنيا، ولعلك تلاحظ أنه عند تسخين كأسٍ تحتوي كميةً من الماء، فإن الماء سوف ترتفع درجة حرارته، وعند وضع الكأس في الهواء لفترةٍ وجيزةٍ سوف تنخفض درجة حرارة الماء بداخله، ويرجع السبب في ذلك إلى أنه فقد كميةً من طاقته الحرارية وانتقلت إلى الوسط المحيط به (الهواء)؛ مما يسبب انخفاضاً في درجة حرارة الماء، ويبين الشكل (7) عملية تبادل الحرارة بين المواد والوسط المحيط بها.



الشكل (7) تبادل الطاقة بين المادة والوسط المحيط.

تعدُّ تفاعلات احتراق الوقود من التفاعلات الطاردة للطاقة الحرارية؛ فمثلاً عند تسخين كمية معينة من الماء باستخدام البرافين السائل (الكاز)، فإن الحرارة الناتجة عن الاحتراق سوف تنتقل إلى الماء مسببةً رفع درجة حرارته، كما في الشكل (8).

ومن الجدير بالذكر أن ارتفاع درجة حرارة الماء خلال فترة زمنية معينة من التسخين يعدُّ مؤشراً على كمية الحرارة الناتجة عن الاحتراق، مع مراعاة أن جزءاً قليلاً من الحرارة الناتجة عن الاحتراق سوف ينتقل إلى الهواء المحيط، وتختلف كمية الحرارة الناتجة عن الاحتراق باختلاف نوع الوقود المستخدم، كذلك تختلف المواد في قدرتها على امتصاص الحرارة باختلاف نوع المادة وطبيعتها. ولفهم هذه التغيرات سوف نتعرفُ بعض المفاهيم الخاصة بالحرارة، مثل: السعة الحرارية، والحرارة النوعية.



الشكل (8) قياس الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود.

### الربط مع الأحياء

الحرارة النوعية للماء وعلم الأحياء: تقدر الحرارة النوعية للماء بحوالي (4.18J/g.°C) وبهذا يعد الماء أكثر المواد حرارة نوعية في الطبيعة، وحيث أنه يشكل حوالي (70%) من أجسام الكائنات الحية، فإنها لا تتأثر بتغيرات درجة الحرارة ليلاً ونهاراً صيفاً وشتاءً، فتبقى درجة حرارتها ثابتة الأمر الذي يحافظ على حياة الكائنات الحية. وكذلك بالنسبة لمياه البحار والمحيطات التي تتعرض لأشعة الشمس بشكل كبير فان درجة حرارتها لا تتأثر كثيراً ولا ترتفع درجة حرارتها بشكل كبير مما يجعلها بيئة مناسبة لحياة الكثير من الكائنات البحرية التي تعيش في هذه المياه سواء الأسماك بانواعها أو النباتات.

## السعة الحرارية Capacity Heat:

عند تعريض المادة للحرارة فإنها سوف تمتص كمية من الحرارة وترتفع درجة حرارتها، وتسمى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة درجة سيليزية واحدة: السعة الحرارية، يُرمز إليها بالرمز (C)، وهي تعتمد على كتلة المادة ومقدار التغير في درجة حرارتها، وتُقاس بوحدة جول/ درجة سيليزية (J/°C)، ويمكن قياس كمية الحرارة التي تمتصها المادة عند تسخينها أو التي تنبعث منها عند تبريدها باستخدام العلاقة الآتية:

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

q: كمية الحرارة الممتصة أو المنبعثة (J)

C: السعة الحرارية للمادة (J/°C)

$\Delta t$ : التغير في درجة الحرارة (درجة الحرارة النهائية - درجة الحرارة الابتدائية)

## الحرارة النوعية Specific Heat:

تعد الحرارة النوعية من الخصائص المميزة للمادة، وتُعرف بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من المادة درجة سيليزية واحدة عند ضغط ثابت. وتُقاس بوحدة (جول/ جرام. درجة سيليزية) أو (J/g.°C)، فمثلاً الحرارة النوعية للماء تساوي (4.18 J/g.°C)، وهذا يعني أنه لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء درجة سيليزية واحدة فإن الغرام الواحد يمتص طاقة حرارية مقدارها (4.18J)، بينما الحرارة النوعية للحديد تساوي (0.45 J/g.°C)، وهذا يعني أنه لرفع درجة حرارة غرام واحد من الحديد درجة سيليزية واحدة، فإنه يمتص طاقة حرارية مقدارها (0.45J)، وهذا أقل بكثير من الحرارة التي يمتصها غرام واحد من الماء لتزداد درجة حرارته درجة سيليزية واحدة، أي أنه كلما قلت الحرارة النوعية للمادة فإنها تمتص كميات قليلة من الحرارة، تؤدي إلى زيادة ملحوظة في درجة حرارتها.

وعلى سبيل المثال: عند تسخين وعاءٍ من الحديد أو الألمنيوم - يحتوي كميةً من الماء - لفترةٍ وجيزةٍ يلاحظُ أنّ درجة حرارة الوعاء ترتفعُ بدرجةٍ أعلى بكثيرٍ من درجة حرارة الماء بداخله. والسببُ في ذلك هو أنّ الحرارة النوعية للمعادن بصفةٍ عامةٍ أقلُّ (أو أدنى) بكثيرٍ من الحرارة النوعية للماء؛ مما يجعلها تكتسبُ حرارةً أكبرَ بكثيرٍ مما يكتسبه الماء. ويبين الجدولُ (1) قيمَ الحرارة النوعية لكثيرٍ من المواد عند درجة حرارة (25°C).

الجدولُ (1): الحرارة النوعية لبعض المواد عند درجة حرارة (25°C).

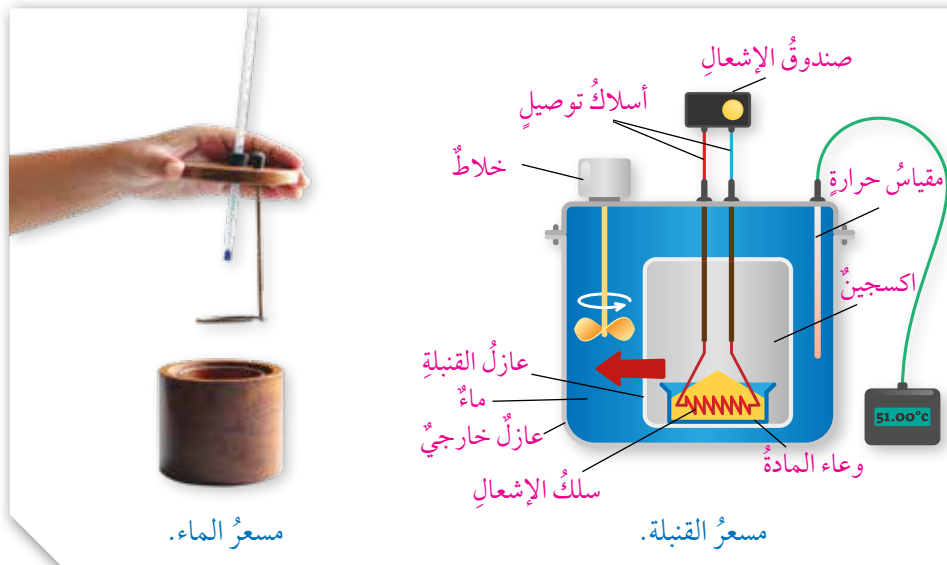
المادة	الحرارة النوعية (J/g. °C)
الماء (السائل)	4.18
الثلج	2.03
بخار الماء	2.01
الهواء	1.01
الإيثانول	2.44
المغنسيوم	1.02
الألمنيوم	0.89
الكالسيوم	0.65
الحديد	0.45
النحاس	0.38
الفضة	0.24
الذهب	0.13

### قياس الحرارة النوعية للمادة:

يُستخدمُ لقياس الحرارة النوعية للمادة جهازٌ يُسمى **المُسعر** **Calorimetry**، وهو وعاءٌ معزولٌ حراريًا، يُستخدمُ لقياس كمية الطاقة الممتصة أو المنبعثة من تفاعلٍ كيميائيٍّ أو تحوّلٍ فيزيائيٍّ، حيثُ توضعُ فيه كميةٌ معلومةٌ من الماء تعملُ على امتصاص الحرارة الناتجة عن التفاعل أو تزويد التفاعل بالحرارة اللازمة، ويمكنُ قياسُ التغير في درجة حرارة الماء باعتبارها تمثلُ التغير في درجة حرارة التفاعل، وبذلك يمكنُ قياسُ الحرارة الممتصة أو المنبعثة وقياسُ الحرارة النوعية. وللمُسعرِ أنواعٌ وأشكالٌ متعددةٌ، مثلُ: مُسعر القنبلة، ومُسعر الماء، ومُسعر الثلج، ومُسعر التكثيف وغيرها. ويبين الشكلُ (9) مُسعر القنبلة ومُسعر الماء.

أيها أكبر الحرارة النوعية للماء ام الفلزات؟

**أفكر:** لماذا تبقى درجة حرارة جسم الإنسان السطحية ثابتةً تقريبًا (25°C). رغم تعرضه إلى تقلبات الحرارة اليومية؟



الشكلُ (9) مسعر قنبلة ومُسعر الماء.



## الربط مع علوم الأرض: نسيم البرّ ونسيم البحر

يحدث نسيم البحر بسبب اختلاف تسخين أشعة الشمس لكل من ماء البحر، واليابسة المجاورة، وحيث إنّ الحرارة النوعية لليابسة أقل من الحرارة النوعية للماء؛ فإنّ اليابسة تمتص كميةً من الحرارة أكثر من التي يمتصّها الماء، وتسخنُ بسرعة أكبر من الماء، ويسخنُ الهواء فوق اليابسة بسرعة أكبر من ذلك الموجود فوق الماء، ويرتفعُ إلى الأعلى، ويسببُ انخفاضاً في الضغط الجوي فوق اليابسة مع بقاء الهواء فوق الماء أقل درجة حرارة، وأكثر كثافةً، وأكثر ضغطاً؛ فيندفع نحو اليابسة على شكل تياراتٍ هوائية تُسمى نسيم البحر، ويحدث ذلك عادةً أثناء النهار أيام الصيف والربيع

أما أثناء الليل وبسبب ارتفاع الحرارة النوعية للماء فإنّه يفقد الحرارة ببطء أكثر من اليابسة التي تفقد الحرارة بسرعة أكبر، فتبقى درجة حرارة الهواء فوق الماء أكبر من الهواء فوق اليابسة، ويرتفعُ إلى الأعلى، ويقلُّ الضغط الجوي فوق الماء فيندفع الهواء البارد من اليابسة نحو البحر على شكل تياراتٍ هوائية باردة تُسمى نسيم البرّ، وهذا يحدث عادةً أثناء الليل.



### نسيم البر ليلاً



### نسيم البحر نهاراً



## حساب كمية الحرارة الممتصة أو المنبعثة:

### Calculate Quantity of Heat Absorbed or Emitted

عرفت فيما سبق أن الحرارة النوعية للفلزات أقل منها للماء، وهذا يشير إلى أن قدرة الفلزات على امتصاص الحرارة وتوصيلها أكبر بكثير من قدرة الماء، فمثلاً عند تعريض كتلة من الماء وقطعة من الحديد أو الألمنيوم لهما الكتلة نفسها لأشعة الشمس لمدة محددة، نجد أن قطعة الحديد أو الألمنيوم ترتفع درجة حرارتها أضعاف ما ترتفع إليه كتلة الماء، وهذا يعني أنها تمتص كمية من الحرارة أكبر من تلك التي تمتصها كتلة الماء، أي أن كمية الحرارة الممتصة تعتمد على الحرارة النوعية للمادة، والتغير في درجة الحرارة، وكتلة المادة. ويمكن حساب كمية الحرارة التي تمتصها المادة نتيجة تعرضها للحرارة من العلاقة الآتية:

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

حيث:

q : كمية الحرارة الممتصة أو المفقودة (J)

s : الحرارة النوعية للمادة (J/g.°C)

m : كتلة المادة (g)

t<sub>1</sub> : درجة الحرارة الابتدائية (°C)

t<sub>2</sub> : درجة الحرارة النهائية (°C)

Δt : التغير في درجة الحرارة (Δt = t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>)

## المثال 1

جرى تسخين (20g) من الماء من (25°C) إلى (30°C)، أحسب كمية الحرارة التي امتصتها هذه الكتلة من الماء.

تحليل السؤال (المعطيات):

$$m = 20 \text{ g}$$

$$s = 4.18 \text{ J/g. } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 30 - 25 = 5^\circ \text{ C}$$

المطلوب: حساب كمية الحرارة الممتصة q

الحل:

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

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

## المثال 2

سُخِّنت قطعة من الحديد كتلتها (50g) فارتفعت درجة حرارتها من (25°C) إلى (40°C) أحسب كمية الحرارة التي امتصتها هذه الكتلة من الحديد.

تحليل السؤال (المعطيات):

الحل:

$$m = 50 \text{ g}$$

$$s = 0.45 \text{ J/g. } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 40 - 25 = 15^\circ \text{ C}$$

المطلوب: حساب كمية الحرارة الممتصة q



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

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

**لاحظ** أنه عند تبريد المادة وخفض درجة حرارتها فإنها ستفقد الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط، وتعتمد كمية الطاقة المنبعثة (المفقودة) أيضًا على التغير في درجة حرارة المادة وكتلتها، وتكون مساوية لكمية الحرارة الممتصة عند الظروف نفسها، وأيضًا يمكن حسابها باستخدام العلاقة السابقة، والفرق أن كمية الحرارة في هذه الحالة ستأخذ إشارة سالبة، وهذا يعني أن الحرارة منبعثة من المادة.

## المثال 3

وُضِعَتْ قطعة من النحاس كتلتها (5g) ودرجة حرارتها (25°C) في حوض ماء بارد؛ فانخفضت درجة حرارتها إلى (15°C)، أحسب كمية الحرارة المنبعثة من هذه القطعة.

تحليل السؤال (المعطيات):

الحل:

$$m = 5 \text{ g}$$

$$s = 0.38 \text{ J/g. } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 15 - 25 = -10^\circ \text{ C}$$

المطلوب: حساب كمية الحرارة المنبعثة q

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

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

✓ أتتحقّق:

- 1) قطعة من الألمنيوم كتلتها (150g)، ما كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارتها (30°C)؟
- 2) عُرِّضَتْ قطعة من الفضة كتلتها (50g) ودرجة حرارتها (45°C) لتيار هواء بارد؛ فانطلقت كمية من الحرارة مقدارها (240J)، فكم تكون درجة حرارتها النهائية؟

## التجربة 2

### قياس الحرارة النوعية للنحاس

#### المواد والأدوات:

كأسان زجاجيان بسعة (300 ml)، كأس بوليسترين، ميزان حرارة كحولي، ماسك معدني (مُلقَط)، ميزان حساس، ماء مقطر، كرة نحاسية، منصب، لهب بنسن أو سخان كهربائي.

#### إرشادات السلامة:

أحذر من لمس الكأس الساخن أو الكرة النحاسية الساخنة بيدي، أو الإمساك بهما مباشرةً.

#### خطوات العمل:

1. أزن الكرة النحاسية باستخدام الميزان الحساس، وأسجل كتلتها.
2. أضيف إلى الكأس الزجاجية (100 ml) من الماء، وأضيف إليها الكرة النحاسية، وأضعها على اللهب أو السخان الكهربائي.
3. أضيف إلى كأس البوليسترين (100 ml) من الماء، وأضعها في الكأس الزجاجية الفارغة، وأقيس درجة حرارة الماء ( $t_1$ ) وأسجلها.
4. ألاحظ غليان الماء في الكأس، وعندها أقيس درجة حرارة الكأس والكرة النحاسية ( $t_2$ )، وأسجلها.
5. أستخرج الكرة النحاسية من الماء باستخدام الملقط، وأضعها في كأس البوليسترين، وأسجل أعلى درجة حرارة يصل إليها الماء ( $t_3$ ).
6. ألاحظ: هل ارتفعت درجة حرارة الماء بعد وضع الكرة النحاسية فيه؟ أم انخفضت؟
7. أنظم البيانات والقياسات في جدول.

#### التحليل والاستنتاج:

- 1- أحدد التغير في درجة حرارة الماء في كأس البوليسترين بعد إضافة الكرة النحاسية إليه. ماذا أستنتج؟
- 2- أحدد التغير في درجة حرارة الكرة النحاسية بعد وضعها في كأس البوليسترين؟ ماذا أستنتج؟
- 3- أبين العلاقة بين كمية الحرارة في الحالتين السابقتين.
- 4- أستنتج الحرارة النوعية للنحاس.
- 5- أقرن: أطاقب النتيجة التي حصلت عليها مع القيمة المسجلة في الجدول، أفسر سبب الاختلاف إن وجد.



يهتمُّ اختصاصيو التغذية بحسابِ السعراتِ الحرارية اللازمة للجسم؛ من أجلِ بناءِ نظامٍ غذائيٍّ متوازنٍ، فكيف تُحسبُ كمية الحرارة والسعرات الحرارية للمواد الغذائية المختلفة؟ مستعيناً بالكلمات المفتاحية الآتية: (السعرات الحرارية، النظام الغذائي، السعرات الحرارية في المواد الغذائية، إنقاص الوزن، زيادة الوزن) أبحث عن طرائق حساب السعرات الحرارية للأطعمة المختلفة، وأكتب تقريراً بذلك، أو أصمم عرضاً تقديمياً حول الموضوع، وأعرضه أمام زملائي.

## مراجعة الدرس

1- **الفكرة الرئيسية:** ما المقصود بكلٍّ من:

السعة الحرارية، والحرارة النوعية؟

2- **أفسر:** عند تعرض الفلزات لأشعة الشمس في أيام الصيف الحارة ترتفع درجات حرارتها بشكل متفاوت.

3- أجب عما يأتي:

أ) أحسب كمية الحرارة الناتجة من تبريد (100g) ماء من (85°C) إلى (40°C).

ب) أحسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة (100g) إيثانول من (15°C) إلى (350°C).

4- أحسب الحرارة النوعية لمادة الجرانيت؛ إذا امتصت قطعة منه كتلتها (200g) كمية من الحرارة مقدارها (3212 J)؛ عند رفع درجة حرارتها بمقدار (20°C).

5- **أفكر:** وُضعت ثلاث صفائح متماثلة في الكتلة من النحاس، والألمنيوم، والحديد تحت أشعة الشمس في أحد أيام الصيف الحارة؛ بحيث تكتسب جميعها كمية الطاقة نفسها، ونقلت هذه الصفائح إلى ثلاثة مسعرات تحتوي كمية متماثلة من الماء عند درجة حرارة الغرفة، فأَيُّ هذه المسعرات تصبح درجة حرارة الماء فيه أكبر ما يمكن؟ أدمم إجابتي بالمبررات.

## حساب التغير في المحتوى الحراري:

### Calculate Enthalpy Change

#### الفكرة الرئيسة:

يرافق حدوث التفاعلات تغير في المحتوى الحراري، يمكن حسابه بطرائق مختلفة.

#### نتائج التعلم:

- يوضح مفهوم طاقة الرابطة
- يحسب الحرارة المرافقة للتفاعل باستخدام قيم طاقة الرابطة.
- يطبق قانون هيس لحساب المحتوى الحراري للتفاعل.
- يحسب كمية الحرارة المرافقة لتفاعل كتلة معينة من المادة باستخدام المعادلة الموزونة

#### المفاهيم والمصطلحات:

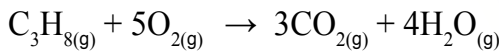
- طاقة الرابطة Energy Bond
- حرارة التفاعل Heat Reaction
- القيمة الحرارية للوقود Thermal fuel value
- قانون حفظ الطاقة Energy Conservation Law
- قانون هيس Hess's Law
- حرارة التكوين القياسية Standard Enthalpy of Formation

الشكل (10) مراحل احتراق البروبان.

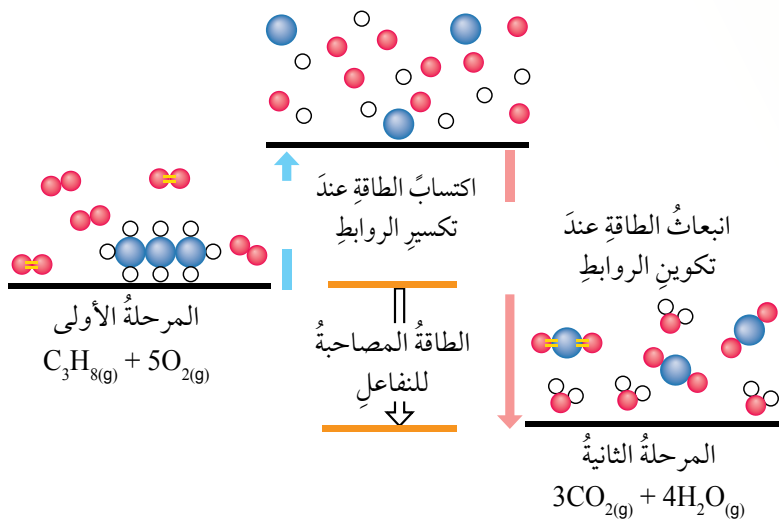
تختلف التفاعلات في آليات حدوثها وسرعتها، فبعضها يحدث في ظروف صعبة لا يمكن توافرها في المختبر وبعضها قد يستغرق حدوثه زمناً طويلاً، فيصعب قياس حرارة التفاعل بالمسعر والطرائق التقليدية؛ لذلك يلجأ الكيميائيون إلى استخدام طرائق نظرية لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل. وسوف نتعرف بعض هذه الطرائق.

### طاقة الرابطة: Bond Energy

ما مصدر الطاقة في التفاعلات الكيميائية؟ وما التغيرات التي تحدث على المواد خلال التفاعل، وتسبب تغيراً في طاقتها؟ تمر التفاعلات الكيميائية عادةً بمرحلتين: المرحلة الأولى يحدث فيها تكسير الروابط بين ذرات المواد المتفاعلة؛ مما يتطلب اكتساب الذرات طاقة كافية لكسر الروابط بينها، والمرحلة الثانية تحدث فيها إعادة ترتيب الذرات، وتكوين روابط بينها في تراكيب كيميائية جديدة، ويمكن استخدام طاقة الروابط في حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل؛ فمثلاً عند احتراق غاز البروبان بوجود الأكسجين كما في المعادلة:



فإن التفاعل يمر بمرحلتين أساسيتين، كما في الشكل (10).



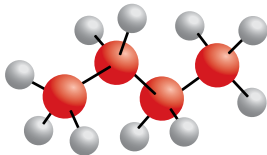
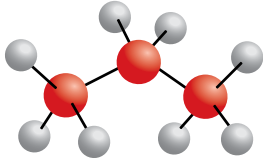
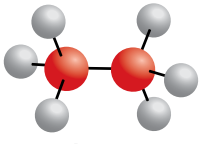
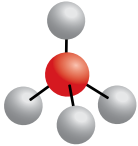
في المرحلة الأولى يجري تكسير الروابط بين الذرات في المواد المتفاعلة، فتتكسر الروابط بين ذرات الكربون والهيدروجين، والروابط بين ذرات الكربون في البروبان ( $C_3H_8$ ) وكذلك الرابطة بين ذرتي الأكسجين في جزيء الأكسجين ( $O_2$ )، فنكتسب كل رابطة منها كمية كافية من الطاقة لكسرها، وبذلك تكون هذه العملية ماصة للطاقة.

أما في المرحلة الثانية فيجري تكوين روابط جديدة بين ذرات الكربون والأكسجين في المركب ( $CO_2$ ) الناتج، وكذلك بين ذرات الأكسجين والهيدروجين في المركب ( $H_2O$ )، ويرافق تكوين هذه الروابط انبعاث كمية من الطاقة، وتكون هذه العملية طاردة للطاقة. وبشكل عام؛ فإن تفاعل احتراق الوقود يكون عادةً طارداً للحرارة؛ وذلك أن الطاقة المنبعثة نتيجة تكوين الروابط الجديدة أكبر من الطاقة اللازمة لتكسير الروابط في المواد المتفاعلة.

ويبين الجدول (2) كمية الطاقة المنبعثة عن حرق مول من الألكانات المختلفة (وهي مواد تتكون من الكربون والهيدروجين).

الجدول (2): كمية الطاقة المنبعثة من احتراق مول من بعض الألكانات.

اسم الألكان	الصيغة الجزيئية للألكان	كمية الحرارة (kJ/mol)
الميثان	$CH_4$	-882
الإيثان	$C_2H_6$	-1542
البروبان	$C_3H_8$	-2202
البيوتان	$C_4H_{10}$	-2877
البنتان	$C_5H_{12}$	-3487
الهكسان	$C_6H_{14}$	-4141



**لاحظ** أنه بزيادة عدد ذرات الكربون في الألكان تزداد كتلته المولية، وبذلك تزداد كمية الطاقة الناتجة عن احتراقها. وتسمى كمية الحرارة الناتجة عن حرق غرام واحد من الوقود حرقاً تاماً بوجود الأكسجين:

### القيمة الحرارية للوقود Thermal Fuel Value

يتضح أن التفاعل الكيميائي في مرحلته الأولى يتضمن لكسر الروابط بين ذرات المواد المتفاعلة، وهذا يتطلب تزويد هذه الروابط بكمية كافية من الطاقة لكسرها، ويُطلق على كمية الطاقة هذه طاقة الرابطة Energy Bond، وهي كمية الطاقة اللازمة لكسر مول من الروابط بين ذرتين في الحالة الغازية، وتُقاس بوحدة الكيلوجول/مول (kJ/mol)، ويرمزُ إليها (BE).

أما في المرحلة الثانية فتتكون روابط جديدة ويرافق ذلك انبعث كمية من الطاقة، وانخفاض في طاقة المواد الناتجة، وتبعاً لقانون حفظ الطاقة Energy Conservation في التفاعلات الكيميائية فإن مجموع الطاقة التي تمتصها الروابط في المواد المتفاعلة التي تنبعث عند تكوين الروابط الجديدة يمثل التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ( $H \Delta$ )، ويبين الجدول (3) قيم طاقة عدد من الروابط مقيسة بالكيلو جول/مول

جدول (3): قيم طاقة عدد من الروابط مقيسة بالكيلو جول/مول (kJ/mol)

روابط أحادية									
	H	C	N	O	S	F	Cl	Br	I
H	436								
C	413	348							
N	386	305	167						
O	464	385	201	142					
S	363	272	-----	--	226				
F	565	485	283	190	284	155			
Cl	431	327	313	218	255	249	242		
Br	362	258	---	201	217	249	216	190	
I	295	213	--	201	--	278	208	175	149
روابط متعددة									
C=C	602	C=N	615	C=O	745				
C=C	835	C=N	887	C=O	799	in CO <sub>2</sub>			
C=O	1072	N=O	607	S=O	532	in SO <sub>2</sub>			
N=N	942	O=O	494	S=O	532	in SO <sub>3</sub>			





وتجدد الإشارة هنا إلى أن كمية الطاقة اللازمة لكسر الرابطة (طاقة الرابطة) تساوي كمية الطاقة الناتجة عند تكوينها، وكذلك تجدد الإشارة إلى أن طاقة الروابط في المواد الناتجة تكون سالبة بسبب انبعاث الطاقة عند تكوين الرابطة، وتبين العلاقة الآتية كيفية احتساب الحرارة المرافقة للفاعل ( $\Delta H$ ):

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

ويمكن إعادة ترتيب هذه العلاقة لتصبح:

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

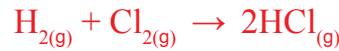
$\sum BE_{re}$ : مجموع طاقة الروابط التي يتم تكسيدها في المواد المتفاعلة.

$\sum BE_{pr}$ : مجموع طاقة الروابط التي يتم تكوينها في المواد الناتجة.

والأمثلة الآتية توضح كيفية احتساب حرارة التفاعل باستخدام طاقة الرابطة:

## المثال 4

يتكون غاز كلوريد الهيدروجين وفقاً للمعادلة الآتية:



باستخدام جدول (3) الذي يمثل طاقات الروابط أحسب الحرارة المرافقة للتفاعل.

تحليل السؤال:

يلاحظ أن هناك رابطة أحادية بين ذرتي الكلور (Cl - Cl) وكذلك رابطة أحادية بين ذرتي الهيدروجين (H - H) في المواد المتفاعلة وأن هناك جزيئين من (HCl)، كل جزيء منها يحتوي رابطة أحادية (H - Cl)

أي أن عدد الروابط (H - Cl) =  $2 = 2 \times 1$

الحل:

$$\begin{aligned}\Delta H &= \sum BE_{re} - \sum BE_{pr} \\ &= 1 \times (H - H) + 1 \times (Cl - Cl) - 2 \times (H - Cl) \\ &= 436 + 242 - 2(431) = -184 \text{ kJ}\end{aligned}$$

الإشارة السالبة لحرارة التفاعل تشير إلى أن التفاعل طارد للحرارة.

يتفاعل النتروجين مع الأكسجين مكوناً أكسيد النتروجين كما في المعادلة الآتية:



باستخدام جدول (3) الذي يمثل طاقات الروابط؛ أحسب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل

تحليل السؤال:

يُلاحظ أنه في المواد المتفاعلة يوجد جزيء (N<sub>2</sub>) الذي يحتوي رابطةً ثلاثيةً بين ذرتي النتروجين (N≡N) بالإضافة إلى جزيئين من الأكسجين، يحتوي كلُّ منهما رابطةً ثنائيةً بين ذرتي الأكسجين (O=O) أما في المواد الناتجة فهناك جزيئان من (NO<sub>2</sub>) يحتوي كلُّ منهما على رابطةً ثنائيةً مع إحدى ذرات الأكسجين (N=O)، وعلى رابطةً أحاديةً مع الذرة الأخرى (N-O) فيكون هناك رابطتان (N=O) ورابطتان (N-O) في النواتج

الحل:

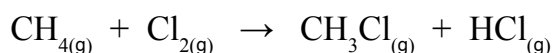
$$\begin{aligned} \Delta H &= \sum \text{BE}_{\text{re}} - \sum \text{BE}_{\text{pr}} \\ &= 1 \times (\text{N} \equiv \text{N}) + 2 \times (\text{O} = \text{O}) - (2 \times (\text{N} = \text{O}) + 2 \times (\text{N} - \text{O})) \\ &= 1 \times 942 + 2 \times 494 - (2 \times 607) + (2 \times 201) \\ &= 1930 - 1616 = +314 \text{ kJ} \end{aligned}$$

يُلاحظ أن الإشارة الموجبة لحرارة التفاعل تشير إلى أن التفاعل ماصٌّ للحرارة.

✓ أتتحقق:

بالاعتماد على جدول طاقات الروابط (1): أحسب تغير المحتوى الحراري للتفاعلين الآتين، وأصنّفها إلى ماصة، وأخرى طاردة للحرارة:

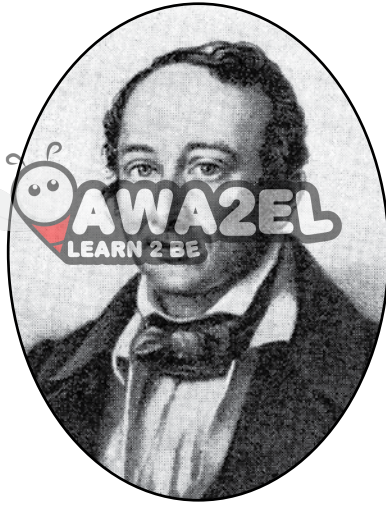
1) تفاعل غاز الميثان مع غاز الكلور لتكوين غاز كلورو ميثان وغاز كلوريد الهيدروجين، كما في المعادلة:



2) تحلل الماء وفق المعادلة الآتية:



## قانون هيس: Hess's Law



جيرمان هنري هيس

تحدث كثير من التفاعلات الكيميائية بخطوتين أو أكثر، ويمثل مجموع هذه الخطوات المعادلة النهائية للتفاعل، ولما كان التغيير في المحتوى الحراري لا يعتمد على مسار حدوث التفاعل أو الخطوات التي يمرُّ بها، ويعبر عن الحالة النهائية للتفاعل، فقد توصل الكيميائي جيرمان هنري هيس Germain Henri Hess إلى أنه يساوي مجموع التغيرات الحرارية لخطوات حدوث التفاعل سواءً أ حدث التفاعل بخطوة واحدة أم أكثر، وهذا ما يُعرف بقانون هيس Hess's Law الذي ينص على أن «التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل يعتمد على طبيعة المواد المتفاعلة والنتيجة، وليس على مسار حدوث التفاعل». ولتوضيح كيفية حساب حرارة التفاعل باستخدام قانون هيس ندرس الأمثلة الآتية:

## المثال 6

يتفاعل الجرافيت (C) مع الأكسجين لتكوين أول أكسيد الكربون كما في المعادلة الآتية:



عند إجراء التفاعل فإنه يتكون خليط من أول أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>)، ويمكن زيادة نسبة الأكسجين للحصول على ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) كما في المعادلتين الآتيتين، أي أنه يمكن وضع تصور لحدوث التفاعل يشتمل على خطوتين لكل منهما حرارة تفاعل خاصة بها كما يأتي:



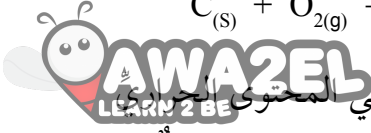
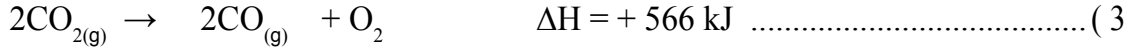
باستخدام المعادلتين (2،1) أحسب حرارة التفاعل.

تحليل السؤال:

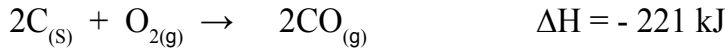
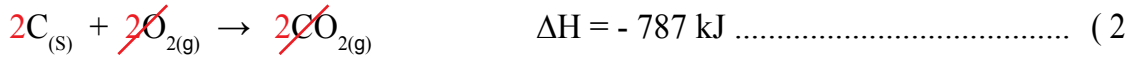
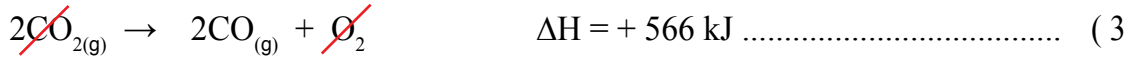
لحساب حرارة التفاعل يجب إعادة تنظيم التفاعلين لنحصل عند جمعهما على المعادلة النهائية للتفاعل، وحيث إن الناتج النهائي للتفاعل يتضمن أول أكسيد الكربون (CO)، ولا بد أن يظهر في النواتج عند جمع المعادلتين، ولذلك نعكس المعادلة (2) ونعكس إشارة (ΔH) ونضرب المعادلة بـ (2) للتخلص من الكسر في المعادلة؛ لتصبح على النحو الآتي:



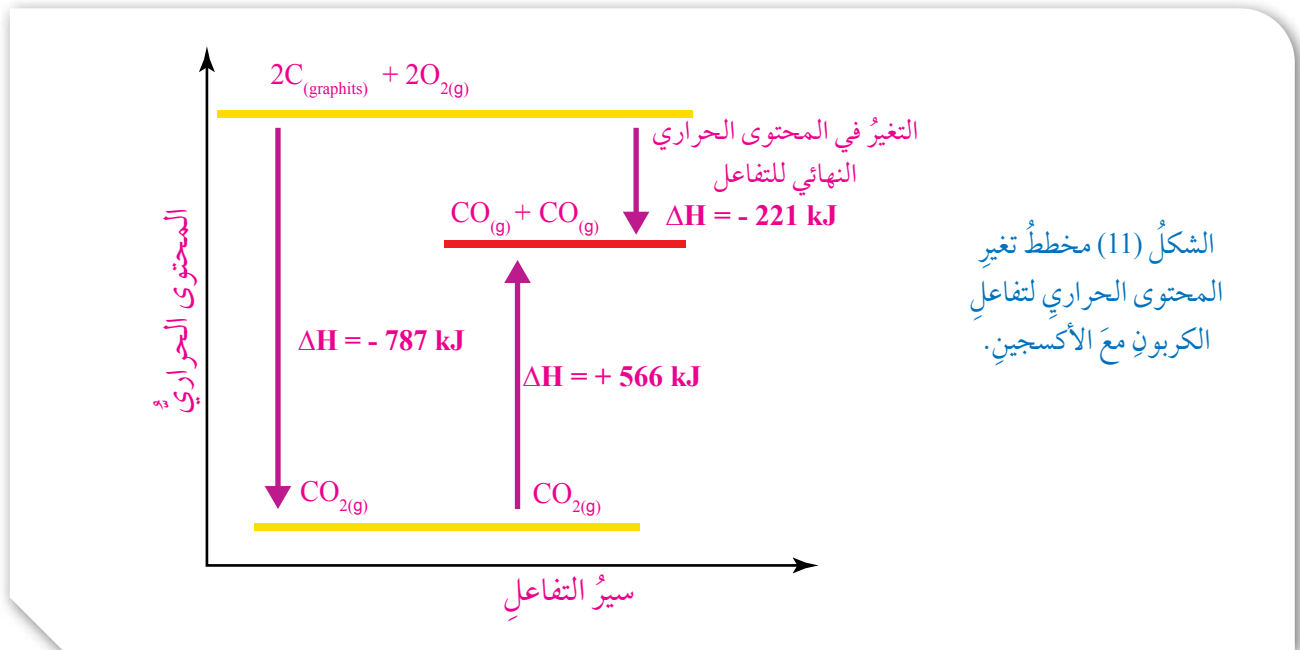
يصبح لدينا المعادلتان على النحو الآتي:



**لاحظ** أن المركب (CO<sub>2</sub>) لا يظهر في معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في المحتوى الحراري في له، لذلك يجب التخلص منه عند جمع المعادلتين، وبالتالي يجب أن تكون أعداد مولاته متساوية في المعادلتين لتمكن من اختصاره، فنضرب المعادلة (2) بـ (2)، ونجمع المعادلتين (2) و (3) مع مراعاة اختصار الصيغ المتماثلة على جانبي المعادلتين، نحصل على صافي المعادلة الكلية للتفاعل ومقدار التغير في المحتوى الحراري للتفاعل كما يأتي:

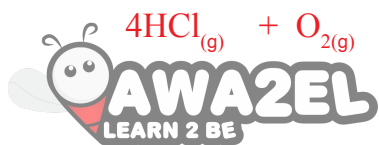


وهكذا يمكن حساب حرارة التفاعل أو التغير في المحتوى الحراري باستخدام قانون هيس، وبيّن الشكل (11) مخطط التغير في المحتوى الحراري لتفاعل الجرافيت مع الأكسجين.



## المثال 7

يتفاعل الأكسجين مع غاز كلوريد الهيدروجين؛ وفق المعادلة الآتية:



أستخدم المعادلتين الآتيتين لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل:



**الحل:**

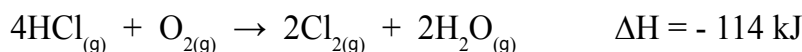
**لاحظ** أن المعادلة المطلوبة لا تتضمن المركب HCl في المواد الناتجة، وإنما يوجد في المواد المتفاعلة؛ لذلك نعكس المعادلة (1)، ونعكس إشارة ( $\Delta H$ )؛ لتصبح المعادلة كما يأتي:



وحيث إن المعادلة النهائية تحتوي (4) مولات من HCl، في حين أن المعادلة (3) تحتوي مولين (2) منه؛ فإننا نضرب المعادلة (3) بقيمة ( $\Delta H$ ) بـ (2)، وتصبح المعادلة كما يأتي:



نجمع المعادلتين (2,4) وقيم ( $\Delta H$ ) لهما؛ لنحصل على المعادلة النهائية وقيمة التغير في المحتوى الحراري للتفاعل:



يتضح من المثالين السابقين أنه يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للفاعل باستخدام قانون هيس؛ من خلال مجموع التغيرات في المحتوى الحراري للفاعلات التي تمثل خطوات حدوث التفاعل، أي أن:

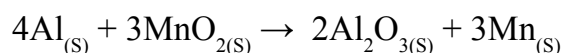
$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \dots$$



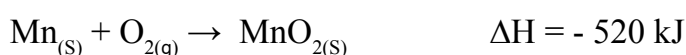
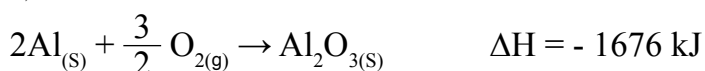
وكذلك حرارة التفاعل الكلية تساوي مقداراً ثابتاً بغض النظر عن خطوات حدوث التفاعل.

✓ **أتحقق:**

1) يتفاعل الألمنيوم (Al) مع أكسيد المنغنيز ( $MnO_2$ ) وفق المعادلة الآتية:



أستخدم المعادلتين الآتيتين لحساب التغير في المحتوى الحراري للفاعل:



**حرارة التكوين القياسية ( $\Delta H_f^\circ$ ):**

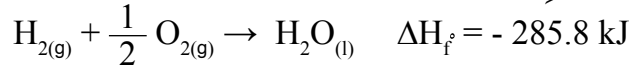
**Standard Enthalpy (Heat) of Formation**

يقصد بحرارة التكوين القياسية Standard Enthalpy of Formation

التغير في المحتوى الحراري الناتج عن تكوين مول واحد من المركب من عناصره الأساسية. وتشير الحالة القياسية إلى قياس التغير في المحتوى الحراري في الظروف القياسية؛ حيث يكون التركيز  $(1 \text{ mol/L})$  ودرجة الحرارة  $25^\circ\text{C}$  وعند ضغط  $(1 \text{ atm})$ ، تُستخدم حرارة التكوين القياسية في حساب التغير في المحتوى الحراري للفاعل. ولفهم حرارة التكوين القياسية وكيفية استخدامها في حساب التغير في المحتوى الحراري، نأخذ حرارة التكوين القياسية للماء من عناصره الأساسية، ففي الظروف القياسية يتفاعل نصف مول من غاز الأوكسجين ( $O_2$ ) مع مول من غاز الهيدروجين ( $H_2$ ) لتكوين مول من الماء السائل، ويرافق ذلك انبعاث طاقة حرارية مقدارها  $(285.8 \text{ kJ/mol})$ ، وهذه الطاقة تمثل حرارة التكوين القياسية للماء، ويُرمز إليها بالرمز  $(\Delta H_f^\circ)$ .



ويمكن التعبير عن التفاعل بالمعادلة الآتية:



ويبين الجدول (4) قيم حرارة التكوين القياسية لعدد من المركبات، حيث يمكن استخدام هذه القيم في حساب حرارة التفاعل القياسية أو التغير في المحتوى الحراري القياسي للتفاعل الذي يُرمز إليه ( $\Delta H^\circ$ )، الذي يساوي مجموع حرارة التكوين القياسية لجميع المركبات في التفاعل، ويلاحظ أن حرارة التكوين القياسية للمركبات الناتجة من التفاعل تكون ذات إشارة سالبة، وقد اتفق العلماء أن حرارة التكوين القياسية للعناصر الحرة تساوي صفراً، وبهذا يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل باستخدام العلاقة الآتية:

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

حيث:

$\Delta H^\circ$  : التغير في المحتوى الحراري للتفاعل

$\Delta H_{\text{re}}^\circ$  : حرارة التكوين القياسية للمركبات المتفاعلة.

$\Delta H_{\text{pr}}^\circ$  : حرارة التكوين القياسية للمركبات الناتجة.

**أفكر:** لماذا تظهر قيم حرارة التكوين القياسية لبعض المركبات في الجدول بقيم موجبة؟

الجدول (4): قيم حرارة التكوين القياسية لعدد من المركبات، مقبسة بوحدة (كيلو جول/مول)

المادة	$\Delta H_f^\circ$	المادة	$\Delta H_f^\circ$	المادة	$\Delta H_f^\circ$
$\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{s})}$	-1669.8	$\text{C}_3\text{H}_{8(\text{g})}$	-103.8	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{s})}$	-822.2
$\text{CaCO}_{3(\text{s})}$	-1207.0	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{l})}$	-277.6	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{s})}$	-315.4
$\text{CaO}_{(\text{s})}$	-653.5	$\text{H}_2\text{S}_{(\text{g})}$	-20.1	$\text{NO}_{(\text{g})}$	+90.4
$\text{Ca(OH)}_{2(\text{s})}$	-986.6	$\text{HBr}_{(\text{g})}$	-36.2	$\text{NO}_{2(\text{g})}$	+33.9
$\text{CO}_{2(\text{g})}$	-393.5	$\text{HCl}_{(\text{g})}$	-92.3	$\text{NH}_{3(\text{g})}$	-46.1
$\text{CO}_{(\text{g})}$	-110.5	$\text{HF}_{(\text{g})}$	-268.6	$\text{SiO}_{2(\text{s})}$	-859.4
$\text{CH}_{4(\text{g})}$	-74.8	$\text{HI}_{(\text{g})}$	+25.9	$\text{SO}_{2(\text{g})}$	-296.1
$\text{C}_2\text{H}_{2(\text{g})}$	+226.7	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$	-241.8	$\text{SO}_{3(\text{g})}$	-395.2
$\text{C}_2\text{H}_{4(\text{g})}$	+52.7	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	-285.8	$\text{HNO}_{3(\text{l})}$	-173.2
$\text{C}_2\text{H}_{6(\text{g})}$	-84.7	$\text{H}_2\text{O}_{2(\text{l})}$	-187.6	$\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{l})}$	-811.3

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



## المثالُ 8

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



تحليلُ السؤالِ:

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

$$\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4) = -74.8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) = -393.5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}) = -285.8 \text{ kJ/mol}$$

عندَ حسابِ التغيُّرِ في المحتوى الحراريِّ نضربُ حرارةَ تكوينِ المركبِ بعددِ مولاته في المعادلةِ

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ(\text{pr}) - \sum \Delta H_f^\circ(\text{re})$$

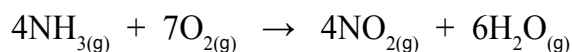
$$\Delta H^\circ = (\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) + 2 \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O})) - (\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4) + 2\Delta H_f^\circ(\text{O}_2))$$

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

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

✓ أتُحَقِّقُ:

باستخدامِ جدولِ حرارةِ التكوينِ القياسيةِ، أحسبُ حرارةَ التفاعلِ الآتي:



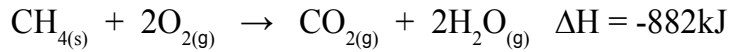




## حساب حرارة التفاعل الكيميائي لكتلة معينة من المادة

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

يُعبّر عن الطاقة المرافقة للتفاعل في المعادلة الكيميائية بكتابة حرارة التفاعل ضمن المعادلة؛ ففي التفاعلات الطاردة للحرارة تُكتب حرارة التفاعل في جهة المواد الناتجة، في حين تُكتب حرارة التفاعل في التفاعل الماص في جهة المواد المتفاعلة، وفي كلتا الحالتين تُعامل الطاقة في المعادلة كما تُعامل المواد المتفاعلة أو الناتجة، ويمكن التعبير عن حرارة التفاعل بكتابتها إلى جانب المعادلة، وتُسمى المعادلة الكيميائية الحرارية **The Thermochemical Equation**، فمثلاً يحترق مول من غاز الميثان بوجود الأكسجين منتجاً طاقة حرارية مقدارها (882kJ) كما يأتي:



بالتدقيق في المعادلة الكيميائية الحرارية نجد أن احتراق مول من الميثان ( $\text{CH}_4$ ) حيث كتلته المولية (16g) احتراقاً تاماً بوجود (2) مول من الأكسجين ينتج ما مقداره (882kJ) من الحرارة، ويعني ذلك أنه ينتج من احتراق مولين من الميثان كتلتهم (32g) ما مقداره (882 × 2 = 1772 kJ)، وبالتالي يمكن استخدام المعادلة الكيميائية الحرارية لحساب كمية الحرارة المرافقة لاحتراق كتلة معينة من المادة أو تفاعلها.

## المثال 9

يحترق الميثان بوجود الأكسجين؛ وفق المعادلة الحرارية الآتية:



فإذا احترق (128g) من الميثان بوجود كمية كافية من الأكسجين فأحسب كمية الحرارة المرافقة للتفاعل؛ علماً بأن الكتلة المولية للميثان تساوي (16g/mol).

تحليل السؤال:

بالرجوع إلى المعادلة الموزونة نجد أن احتراق مول من الميثان ( $\text{CH}_4$ ) ينتج (882kJ)، وحيث إن المطلوب حساب كمية الحرارة الناتجة عن احتراق (128g) من الميثان فإننا نحول هذه الكتلة إلى مولات كما يأتي:

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

n : عدد المولات  
m : كتلة المادة  
M<sub>r</sub> : الكتلة المولية



ثمَّ حسابُ النسبة المولية (x) للمادة (CH<sub>4</sub>) بقسمة عدد مولاتها في التفاعل (n<sub>r</sub>) على عدد مولاتها في المعادلة (n<sub>e</sub>).

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

ثمَّ نحسب كمية الحرارة الناتجة (q) عنها بضرب النسبة المولية (n<sub>r</sub>) بكمية الحرارة المرافقة للتفاعل (ΔH).

$$q = x \times \Delta H = 8 \times 882 = 7056 \text{ kJ}$$

## المثال 10

يُحضَّر أكسيد الكالسيوم CaO من تحلل كربونات الكالسيوم CaCO<sub>3</sub> بالحرارة؛ وفق المعادلة الحرارية الآتية:



أحسب كمية الحرارة اللازمة لتحليل (150g) من كربونات الكالسيوم بشكل كامل؛ علمًا بأن الكتلة المولية لكربونات الكالسيوم تساوي (100g/mol).

تحليل السؤال:

بالرجوع إلى المعادلة الموزونة نجد أن تحلل مول كربونات الكالسيوم CaCO<sub>3</sub> يُنتج (178 kJ) وحيث إن المطلوب حساب كمية الحرارة اللازمة لتحليل (150g) من كربونات الكالسيوم CaCO<sub>3</sub> فإننا نحول هذه الكتلة إلى مولات كما يأتي:

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

ثمَّ نحسب النسبة المولية (x) للمادة (CaCO<sub>3</sub>) بقسمة عدد مولات المادة (n<sub>r</sub>) على عدد مولاتها في المعادلة (n<sub>e</sub>).

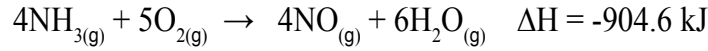
$$x = \frac{n_r}{n_e} = \frac{1.5}{1} = 1.5$$

ثمَّ نحسب كمية الحرارة الناتجة (q) عنها بضرب النسبة المولية (x) بكمية الحرارة المرافقة للتفاعل (ΔH).

$$q = x \times \Delta H = 1.5 \times 178 = 267 \text{ kJ}$$

✓ **أتحقّق:**

1) يُحضّر أكسيد النتروجين (NO) باحتراق الأمونيا بوجود الأكسجين؛ وفق المعادلة الحرارية الآتية:



أحسب كمية الحرارة الناتجة عند احتراق كمية كافية من الأمونيا لإنتاج (200g) من أكسيد النتروجين (NO). علماً بأن الكتلة المولية لأكسيد النتروجين (NO) تساوي (30g/mol).

2) يحترق الإيثانول السائل (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) بوجود الأكسجين؛ وفق المعادلة الحرارية الآتية:



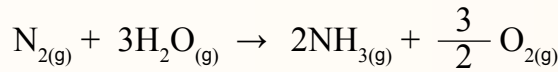
إذا احترق (30g) من الإيثانول بوجود كمية كافية من الأكسجين فأحسب كمية الحرارة المرافقة للفاعل. علماً بأن الكتلة المولية للإيثانول تساوي (46g/mol).

## مراجعةُ الدرس

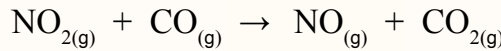
1- **الفكرةُ الرئيسة:** ما المقصودُ بكلٍّ من: الطاقة الرابطة، وحرارة التكوين القياسية؟

2- **أفسّر:** تعد تفاعلات احتراق الوقود تفاعلات طاردة للحرارة.

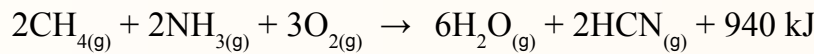
3- **أحسب:** حرارة التفاعل الآتي باستخدام جدول قيم طاقة الرابطة



4- **أحسب:** باستخدام جدول قيم التكوين القياسية، أحسب حرارة تفاعل:



5- **أحسب:** يُحضّر سيانيد الهيدروجين (HCN) وفق المعادلة الآتية:

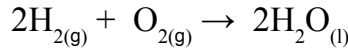


إذا جرى إنتاج 20 غراماً من سيانيد الهيدروجين، فأحسب الطاقة المرافقة للفاعل؛

علماً أن الكتلة المولية لـ (HCN) = 27g/mol

## الهيدروجين باعتباره وقوداً Hydrogen as Fuel

يعدُّ تفاعل احتراق الهيدروجين بوجود الأكسجين من التفاعلات الأكثر إنتاجاً للطاقة بين المواد فهو من التفاعلات الطاردة للطاقة؛ حيثُ يحترق الهيدروجين وفقاً للمعادلة الآتية:



فعند احتراق (2g) من الهيدروجين يُنتج طاقةً حراريةً مقدارها (286 kJ)، وهذه الكمية من الطاقة كبيرة مقارنةً بما تُنتجه الكمية نفسها من أنواع الوقود الأخرى؛ لذلك يُستخدم الهيدروجين باعتباره وقوداً في الصواريخ الفضائية والغواصات، وحيثُ إنّ احتراق الهيدروجين لا يرافقه إنتاج أيّ من أنواع الغازات السامة؛ فهو يعدُّ من الوقود النظيف. ويبيّن الجدول (7) كمية الطاقة الناتجة عن احتراق غرام واحد لعددٍ من أنواع الوقود المختلفة.

الجدول (7): كمية الطاقة الناتجة عن احتراق غرام واحد لبعض أنواع الوقود	
الوقود	كمية الطاقة الناتجة (kJ/g)
الهيدروجين	143
الميثان	55
الأوكتان (المكون الرئيس للنفط)	44
الجلوكوز	16



ويبيّن الجدول (8) مزايا استخدام الهيدروجين باعتباره وقود احتراق، وعيوبه في السيارات:

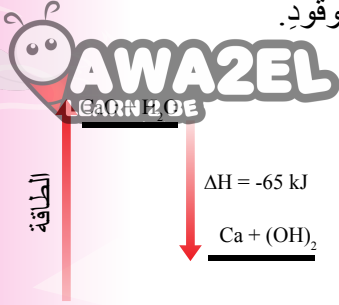
الجدول (8): مزايا استخدام الهيدروجين باعتباره وقود احتراق في السيارات، وعيوب ذلك الاستخدام:	
مزايا استخدام الهيدروجين	عيوب استخدام الهيدروجين
إنتاج كمية كبيرة من الطاقة لكل غرام مقارنةً مع أنواع الوقود الأخرى.	كثافة الهيدروجين السائل تعادل عُشر كثافة البنزين؛ لذلك تحتاج المركبات التي تستخدم الهيدروجين إلى خزانات وقود أكبر بكثير من تلك التي تستخدم البنزين أو الديزل.
لا يرافقه احتراقه انبعاث للغازات السامة، مثل: ثاني أكسيد الكربون، أو ثاني أكسيد الكبريت	يجب ضغط الهيدروجين وتخزينه بأمان في خزان الوقود؛ فهو غاز قابل للاشتعال.
	عدم توافر عددٍ كافٍ من محطات الوقود التي تستخدم الهيدروجين وقوداً.

**أبحث** أبحث: مستعيناً بالكلمات المفتاحية الآتية: (خلية الهيدروجين، الهيدروجين باعتباره وقوداً، كيفية عمل خلية الهيدروجين) عن كيفية عمل خلية الهيدروجين في إنتاج الطاقة، وأكتب تقريراً بذلك، وأناقشه مع معلمي وزملائي، أو أصمم عرضاً تقديمياً، وأعرضه أمامهم.

# مراجعة الوحدة

1. أوضِّح المقصود بالمصطلحاتِ والمفاهيم الآتية:

- المحتوى الحراريُّ للتفاعل.
- التفاعل الماصُّ للحرارة.
- طاقة التجمد المولية.
- طاقة التسامي المولية.
- الحرارة النوعية.
- حرارة التكوين القياسية.
- القيمة الحرارية للوقود.



2. المخططُ المجاورُ يمثلُ تفاعلَ أكسيدِ الكالسيومِ معَ الماءِ لإنتاجِ هيدروكسيدِ

الكالسيومِ، أدرُسُ المخططُ وأجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتية:

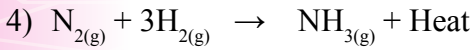
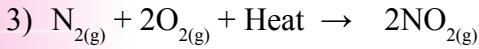
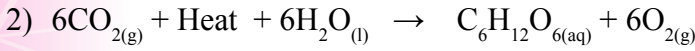
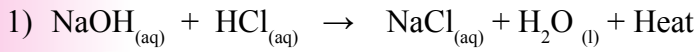
أ. هلِ التفاعلُ ماصُّ أم طاردٌ للحرارة؟

ب. أيُّهما أكثرُ الطاقةَ اللازمةً لكسرِ الروابطِ في الموادِّ المتفاعلة؟ أم الطاقةَ

المنبعثةُ عندَ تكوينِ النواتجِ؟

ج. أكتبُ معادلةً كيميائيةً حراريةً تمثلُ التفاعلَ.

3. أدرُسُ التفاعلاتِ الآتية، وأجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتية:



أ. أحددُ التفاعلَ الطاردَ للطاقة، والتفاعلَ الماصِّ لها.

ب. أحددُ أيُّها تكونُ قيمةُ ( $\Delta H$ ) لها إشارةً سالبةً.

ج. أستنتجُ أيُّها يكونُ فيه المحتوى الحراريُّ للموادِّ المتفاعلة أكبرَ منَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجة.

د. أرسُمُ مخططاً لكلِّ من: تكوينِ المركبِ ( $\text{NO}_2$ ) والمركبِ ( $\text{NH}_3$ ) يبيِّنُ التغيُّرَ في المحتوى الحراريُّ لكلِّ منهما.

4. **أفسرُ** ما يأتي:

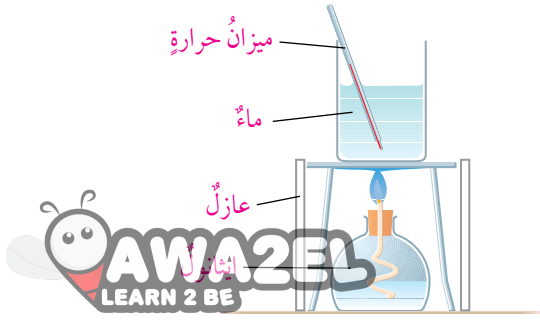
أ. تعدُّ عمليةُ التبخرِ تحولاً فيزيائياً ماصاً للطاقة، وعمليةُ التجمدِ تحولاً فيزيائياً طارداً للطاقة.

ب. طاقةُ التسامي المولية أكبرُ منَ طاقةِ التبخرِ المولية.

5. **أحسبُ المتغيرات:** إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجة لتفاعلٍ ما (90kJ)، وللموادِّ المتفاعلة (10kJ)، فكَمُ

يكونُ التغيُّرُ في المحتوى الحراريُّ للتفاعلِ؟ وما إشارتهُ؟

## مراجعة الوحدة



قياس الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود.

6. قام مجموعة من الطلاب بتجربة لقياس الطاقة المنبعثة من حرق أنواع مختلفة من الوقود السائل في المشعل، بتسخين (200ml) من الماء في وعاء معدني، وقد حصلوا على النتائج الآتية المبينة في الجدول، أدرس هذه النتائج، وأجب عن الأسئلة التي تليه:

اسم الوقود	كتلة الوقود المحترقة (g)	الارتفاع في درجة حرارة الماء في علبة معدنية	ارتفاع درجة حرارة الماء لكل جرام من الوقود المحترق
الإيثانول	1.1	32	
البارافين	0.9	30	
بنتان	1.5	38	
أوكتان	0.5	20	

أ. من وجهة نظرك، كيف توصل الطلبة إلى حساب مقدار الوقود الذي حرق في كل تجربة؟  
ب. أكمل العمود الأخير من الجدول بحساب الارتفاع في درجة حرارة الماء الناتج عن حرق غرام واحد من الوقود.

ج. ما الوقود الذي أنتج أعلى ارتفاع في درجة الحرارة لكل جرام تم حرقه؟

د. إذا تكررت تجربة الأوكتان باستخدام (400ml) من الماء في العلبة المعدنية؛ فما الارتفاع المتوقع في درجة الحرارة تقريباً؟ أصف كيف توصلت إلى إجابتي.

هـ. استخدمت مجموعة أخرى من الطلبة دورقاً زجاجياً بدلاً من العلبة المعدنية في تجاربهم. أية مجموعة من الطلبة ستحصل على نتائج أكثر دقة؟ أفسر إجابتي.

و. قياس تغيرات الطاقة عند حرق الوقود في المصباح الكحولي (Spirit Lamp) لا يعطي نتائج دقيقة للغاية. أفسر ذلك.

7. يحترق مول من الميثان ( $CH_4$ ) بوجود كمية وافرة من الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) والماء ( $H_2O$ )، وينتج عن ذلك كمية من الحرارة مقدارها (882kJ).

أ. أكتب معادلة كيميائية حرارية تعبر عن التفاعل.

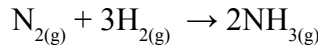
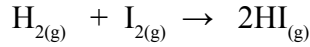
ب. أرسّم مخططاً يبين تغير المحتوى الحراري للتفاعل.

8. وعاء يحتوي (40g) من الماء درجة حرارته (حرارة الماء) ( $25^{\circ}C$ )، أحسب درجة حرارة الماء النهائية؛ إذا وُضعت فيه قطعة من الألمنيوم كتلتها (25g) ودرجة حرارتها ( $60^{\circ}C$ ) درجة سيليزية.

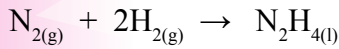
9. أحسب الحرارة النوعية لمعدن مجهول، إذا وُضعت قطعة منه كتلتها (20g)، ودرجة حرارتها ( $70^{\circ}C$ )، في (40g) من الماء عند درجة حرارة ( $25^{\circ}C$ )، فارتفعت درجة حرارة الماء بمقدار ( $3.5^{\circ}C$ ).

10. أحسب كمية الحرارة اللازمة لتسخين قطعة من النحاس كتلتها (15g) من (22°C) إلى (60°C).

11. أحسب حرارة التفاعل ( $\Delta H$ ) باستخدام طاقة الروابط للتفاعلين الآتيين:



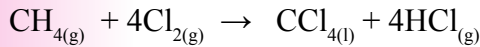
12. الهيدرازين السائل ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) هو أحد أنواع الوقود المستخدم في المركبات الفضائية، أحسب حرارة التفاعل الناتجة عن تكوين الهيدرازين. وفق المعادلة الآتية:



علمًا بأن:

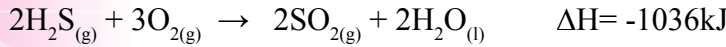


13. يتكون رابع كلوريد الكربون ( $\text{CCl}_4$ ) بتفاعل غاز الميثان ( $\text{CH}_4$ ) مع غاز الكلور ( $\text{Cl}_2$ )، وفق المعادلة الآتية:



باستخدام حرارة التكوين القياسية للمركبات في التفاعل أحسب حرارة التفاعل ( $\Delta H^\circ$ ).

14. يحترق غاز كبريتيد الهيدروجين ( $\text{H}_2\text{S}$ ) وفق المعادلة الآتية:



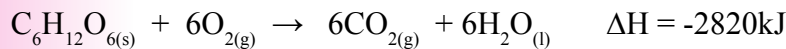
أحسب كمية الحرارة الناتجة عن احتراق (29.5g) منه بوجود كمية كافية من الأكسجين.

15. يحترق (3g) من حمض الخل  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في مسعر بوجود كمية كافية من الأكسجين، فارتفعت درجة حرارة

المسعر بمقدار (3°C)، فإذا كانت الحرارة النوعية للمسعر ومكوناته (4.5 J/g°C)، فأحسب كمية الحرارة

الناتجة عن احتراق (1.5mol) من الحمض؛ علمًا بأن الكتلة المولية للحمض = (60g/mol)

16. يحترق الجلوكوز في الجسم لإنتاج الطاقة اللازمة لقيام الخلايا بالوظائف المختلفة؛ وفق المعادلة الآتية:



فإذا كانت الطاقة التي يحتاجها لاعب كرة سلة خلال الساعة التدريبية الواحدة تساوي (2100kJ)، فأحسب أقل كتلة

من السكر يتم حرقها؛ إذا تدرّب اللاعب لمدة ساعتين، علمًا بأن الكتلة المولية للجلوكوز = (180g/mol).

17. أختار رمز الإجابة الصحيحة لكل من الفقرات الآتية:

1. يكون التغير في المحتوى الحراري سالبًا عندما يكون:

أ. المحتوى الحراري للمواد الناتجة مساويًا للمحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.

ب. المحتوى الحراري للمواد الناتجة أكبر من المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.

ج. المحتوى الحراري للمواد الناتجة أقل من المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.



- د . المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة أقل من المحتوى الحراري للمواد الناتجة.
- 2 . يكون التفاعل ماصاً للحرارة عندما:
  - أ . تفقد المادة الحرارة إلى الوسط المحيط.
  - ب . تكسب المادة الحرارة من الوسط المحيط.
  - ج . عندما تتعادل طاقة التفاعل مع الوسط المحيط.
  - د . عندما يكون التغير في المحتوى الحراري سالباً.
- 3 . زيادة درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة سيليزية واحدة يشير إلى:
  - أ . التغير في المحتوى الحراري.
  - ب . المحتوى الحراري للمادة.
  - ج . السعة الحرارية.
  - د . الحرارة النوعية.
- 4 . تشير حرارة التفاعل الناتج عن تكوين مول واحد من المركب من عناصره الأساسية إلى:
  - أ . طاقة الرابطة .
  - ب . حرارة التكوين القياسية.
  - ج . قانون هيس.
  - د . التغير في المحتوى الحراري للتفاعل.
- 5 . يشير قانون هيس إلى أن:
  - أ . حرارة التفاعل تعتمد على المسار الذي يسلكه التفاعل .
  - ب . حرارة التفاعل تعتمد على الخطوة الرئيسية لتكوين النواتج.
  - ج . حرارة التفاعل تمثل مجموع التغيرات الحرارية لخطوات حدوث التفاعل.
  - د . حرارة التفاعل تمثل الفرق بين مجموع طاقات الروابط للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة.



## مسرّد المصطلحات

- التغير في المحتوى الحراري (الإنتالبي) **Change in Enthalpy**: كمية الطاقة الممتصة أو المنبعثة خلال التفاعل.
- تفاعل الاتحاد **Combination Reaction**: تفاعل يحدث بين مادتين أو أكثر (عناصر أو مركبات) لينتج مركبًا واحدًا جديدًا.
- تفاعل الاحتراق **Combustion Reaction**: هو تفاعل مادة ما (عنصر أو مركب) مع غاز الأكسجين ويصاحب التفاعل بشكل عام انطلاق طاقة في صورة حرارة أو ضوء.
- تفاعل الإحلال الأحادي **Single Displacement Reaction**: تفاعل يحل فيه عنصر نشط محل عنصر آخر أقل نشاطًا منه في أحد أملاحه.
- تفاعل التحلل الحراري **Decomposition Reaction Thermal**: تحلل مركب واحد بالحرارة منتجًا مادتين أو أكثر (عناصر أو مركبات).
- تفاعلات طاردة للحرارة **Exothermic Reactions**: تفاعلات يتم فيها تزويد الوسط المحيط بالطاقة.
- تفاعلات ماصة للحرارة **Endothermic Reactions**: تفاعلات يتطلب حدوثها تزويدها بكمية مناسبة من الطاقة من الوسط المحيط.
- حرارة التكوين القياسية **Standard Enthalpy (Heat) of Formation**: التغير في المحتوى الحراري الناتج عن تكوين مول واحد من المركب من عناصره الأساسية.
- الحرارة النوعية **Specific Heat**: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من المادة درجة سيليزية واحدة عند ضغط ثابت.
- السعة الحرارية **Heat Capacity**: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة درجة سيليزية واحدة.
- الصيغة الأولية **Empirical Formula**: أبسط نسبة عددية صحيحة بين ذرات العناصر المكونة للمركب.
- الصيغة الجزيئية **Molecular Formula**: صيغة تُبين الأعداد الفعلية للذرات وأنواعها في المركب.
- طاقة الانصهار المولية **Molar fusion energy**: كمية الطاقة اللازمة لتحويل مول من الجليد عند درجة حرارة ثابتة إلى الحالة السائلة.

• طاقة التبخر المولية **Molar evaporation energy**: كمية الطاقة اللازمة لتحويل مولٍ من المادة السائلة الى غازٍ عند درجة حرارة معينة.

• طاقة التجمد المولية **Molar Freezing Energy**: كمية الطاقة الناتجة عن تجمد مولٍ من المادة عند درجة حرارة معينة.



• طاقة التكاثف المولية **Molar Condensing Energy**: كمية الطاقة المنبعثة عند تكاثف الغاز عند درجة الغليان.

• طاقة الرابطة **Bond Energy**: كمية الطاقة اللازمة لكسر مولٍ من الروابط بين ذرتين في الحالة الغازية.

• قانون حفظ الطاقة **Energy Conservation Law**: مجموع الطاقة التي تمتصها الروابط في المواد المتفاعلة أو التي تنبعث عند تكوين الروابط الجديدة.

• قانون حفظ الكتلة **Law of Conservation of Mass**: المادة لا تفنى ولا تُستحدث من العدم؛ أي أن مجموع كتل المواد المتفاعلة يساوي مجموع كتل المواد الناتجة.

• قانون هيس **Hess's Law**: التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل يعتمد على طبيعة المواد المتفاعلة والناتجة، وليس على مسار حدوث التفاعل.

• القيمة الحرارية للوقود **Thermal fuel value**: كمية الحرارة الناتجة عن حرق غرام واحد من الوقود حرقاً تاماً بوجود الأكسجين.

• الكتلة الجزيئية النسبية **(Relative Molecular Mass)(RMM)**: مجموع الكتل الذرية النسبية للذرات الموجودة في الجزيء الذي ترتبط ذراته بروابط تساهمية مقيسة بوحدة amu.

• الكتلة الذرية النسبية **(Relative Atomic Mass)(RAM)**: متوسط الكتل الذرية لنظائر ذرة عنصرٍ ما.

• كتلة الصيغة النسبية **(Relative Formula Mass (RFM)**: مجموع الكتل الذرية للعناصر في وحدة الصيغة للمركب الأيوني.

• الكتلة المولية **Molar Mass**: كتلة المول الواحد من دقائق المادة.

• المحتوى الحراري **Enthalpy**: كمية الطاقة المخزونة في مولٍ من المادة.

- المردود الفعلي (الحقيقي) **Actual Yield**: كمية المادة الناتجة فعلياً من التفاعل التي يحددها الكيميائي من التجارب الدقيقة.
- المردود المئوي **Percentage Yield**: النسبة المئوية للمردود الفعلي إلى المردود النظري.
- المردود المتوقع (النظري) **Predict Yield**: كمية المادة الناتجة المحسوبة من التفاعل.
- المسعر **Calorimetry**: وعاء معزول حراريًا، يُستخدم لقياس كمية الطاقة الممتصة أو المنبعثة من تفاعل كيميائي أو تحول فيزيائي.
- المعادلة الكيميائية الحرارية **The Thermochemical Equation**: معادلة كيميائية يُعبّر فيها عن الطاقة المرافقة للتفاعل.
- المعادلة الكيميائية الموزونة **Balanced Chemical Equation**: تعبير بالرموز والصيغ يبين المواد المتفاعلة والناتجة، ونسب تفاعلها، وحالاتها الفيزيائية، والظروف التي يُجرى فيها التفاعل.
- المول **The Mole**: الوحدة الدولية التي تُستخدم في قياس كميات المواد في التفاعلات الكيميائية.
- النسبة المئوية بالكتلة **Percent Composition**: نسبة كتلة العنصر في المركب إلى الكتلة الكلية للمركب.
- النسبة المئوية **Mole Percentage**: النسبة بين عدد مولات مادة إلى عدد مولات مادة أخرى.

## قائمة المراجع

### أولاً- المراجع العربية:

- خليل حسام، موسوعة الكيمياء الشاملة، دار أسامة للنشر، ج ٢، ٢٠٠٩ م.
- صالح محمد، صابر محمد، عثمان عثمان، أسس ومبادئ الكيمياء، ج ٢، الدار العربية للنشر، ٢٠٠٩ م.
- إبراهيم صادق الخطيب، مصطفى تركي عبيد، الكيمياء العامة، دار المسيرة للنشر والتوزيع، عمان، ٢٠٠٤ م.
- جيمس برادي، جيرارد هيوم ستون، الكيمياء العامة والمبادئ والبنية، ج ١، ترجمة سليمان سعسع ومأمون الحلبي، نيويورك، جون ويلي للنشر، ١٩٩٢ م.
- محمد إسماعيل الدرمللي، الدليل في الكيمياء: الكيمياء العامة؛ ماهيتها، عناصرها، دار العلم والإيمان ودار الجديد للنشر والتوزيع، ٢٠١٨ م.

### ثانياً- المراجع الأجنبية:

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