



المركز الوطني  
لتطوير المناهج  
National Center  
for Curriculum  
Development

# الكيمياء

الصف العاشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

10

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

بلال فارس محمود      تيسير أحمد الصبيحات

عبد الله نايف دواغرة

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

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

© HarperCollins Publishers Limited 2020.

- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

**ISBN: 978 - 9923 - 41 - 284 - 8**

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

375,001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

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

المركز، 2022

(84) ص.

ر.إ.: 2022/4/1866

الوصفات: / تطوير المناهج / المقررات الدراسية / مستويات التعليم / 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.

1441 هـ / 2020 م

2021 - 2025 م

منهاجي  
متعة التعليم الهادف



الطبعة الأولى

أعيدت طباعته

## قائمة المحتويات

الصفحة

الموضوع

المقدمة

### 7 ..... 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



## 41 ..... الوحدة الخامسة: الطاقة الكيميائية

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 وقودًا

77 ..... مراجعة الوحدة

81 ..... مسرد المصطلحات

84 ..... قائمة المراجع



## المقدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين.

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، لتعين الطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجارة أقرانهم في الدول المتقدمة.

يُعَدُّ 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 المُتبَّعة عالمياً؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، واستجابتها لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلمين والمعلّمات.

جاء هذا الكتاب مُحَقَّقاً مضامين الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومؤشّرات أدائها المتمثلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الحادي والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعْتزٌّ - في الوقت نفسه - بانتمائه الوطني. وتأسيساً على ذلك، فقد اعتُمدت دورة التعلّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطالب الدور الأكبر في العملية التعلّمية 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 الفصل الدراسي الثاني من الكتاب من وحدتين، يتصف محتواهما بالتنوع في أساليب العرض، وهي: التفاعلات والحسابات الكيميائية، والطاقة الكيميائية. يضم الكتاب أيضاً رسوماً كثيرة ومتنوعة، والصور، والأشكال التوضيحية، والأنشطة، والتجارب العملية التي تنمي مهارات العمل المخبري، وتساعد الطلبة على اكتساب مهارات العلم، مثل: الملاحظة العلمية، والاستقصاء، ووضع الفرضيات، وتحليل البيانات، والاستنتاج القائم على التجربة العلمية المضبوطة، 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 إلى البحث في مصادر المعرفة المختلفة؛ فلغة الكتاب تشجع الطالب أن يتفاعل مع المادة العلمية، وتحثه على بذل مزيد من البحث والاستقصاء. وقد تضمن الكتاب أسئلة متنوعة تراعي الفروق الفردية، وتنمي لدى الطلبة مهارات التفكير وحل المشكلات.

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

ونحن إذ نُقدِّم هذه الطبعة من الكتاب، 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 المعلِّمين والمعلِّمات، وإثراء أنشطته المتنوعة.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

# التفاعلات والحسابات الكيميائية

Reactions and Stoichiometry

الوحدة

4



أتأمل الصورة

تنتج المواد الكيميائية المختلفة من تفاعل العناصر والمركبات، فما التفاعل الكيميائي؟ وكيف نعبّر عنه؟ وكيف نحسب كميات المواد المتفاعلة والنتيجة؟

## 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 وكمياتها وحالاتها الفيزيائية.

### الدرس الثاني: المول والكتلة المولية

**الفكرة الرئيسة:** يرتبط مفهوم المول بالكتلة 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، كأسان زجاجيان سعة كل منهما 100 mL.

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



#### خطوات العمل:

- 1 أضع كأسين زجاجيين على الميزان الحساس، وأضبطه للحصول على قراءة مؤشر صفر.
- 2 **أقيس:** أضع (10 mL) من محلول يوديد البوتاسيوم في إحدى الكأسين، وأضع (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 جيدًا بعد الانتهاء من العمل.

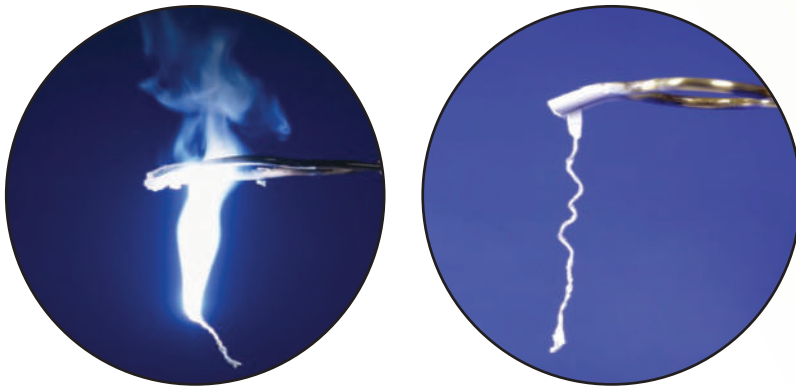
#### التحليل والاستنتاج:

- 1- **أقارن** قراءة الميزان قبل خلط المادتين وبعدها.
- 2- **ألاحظ** التغيرات التي تدل على حدوث التفاعل.
- 3- **أعبر** عن التفاعل الحاصل بمعادلة كيميائية موزونة متضمنًا الحالة الفيزيائية للمواد المتفاعلة والنتيجة.

### التغير الكيميائي Chemical Change

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

أما التغيرات الكيميائية، فينتج منها 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.

### الفكرة الرئيسة:

يعبر عن التفاعلات الكيميائية المختلفة بمعادلات موزونة تبين المواد المتفاعلة والنواتج وكمياتها وحالاتها الفيزيائية.

### نتائج التعلم:

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

### المفاهيم والمصطلحات:

تفاعل كيميائي Chemical Reaction  
معادلة كيميائية موزونة

Balanced Chemical Equation

قانون حفظ الكتلة

Law of Conservation of Mass

تفاعل الاحتراق

Combustion Reaction

تفاعل الاتحاد

Combination Reaction

تفاعل التحلل (التفكك)

Decomposition Reaction

تفاعل الإحلال الأحادي

Single Displacement Reaction

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

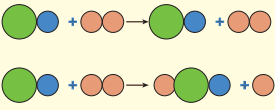


الصوديوم

الكلور

كلوريد الصوديوم

**أفكر:** أي الشكلين الآتيين يمثل  
تفاعلاً كيميائياً؟ أفسر إجابتي.



يمتاز الصوديوم بأنه فلز يتفاعل بشدة مع الماء، أما الكلور فغاز سام لونه أصفر مخضر، وينتج من تفاعلهما مركب كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) الأبيض، الذي يحتاج الجسم إليه، أنظر الشكل (2).

تسمى 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  $H_2$  و  $Cl_2$ ، وتتكون روابط كيميائية جديدة بين ذرات  $H$  و ذرات  $Cl$  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 المواد المتفاعلة، وتكوين روابط جديدة بين ذرات المواد الناتجة، ويتضمن إعادة ترتيب للذرات دون المساس بنوعها وعددها، وتختلف الصفات الفيزيائية والكيميائية للمواد الناتجة منها للمواد المتفاعلة.

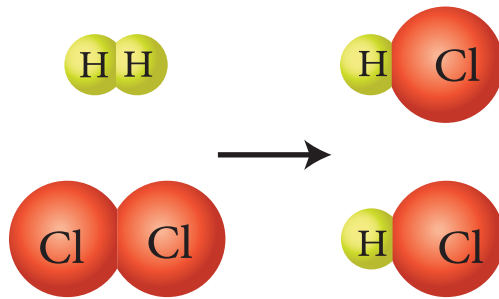


أصمم باستخدام  
برنامج السكراتش (Scratch)  
عرضاً يوضح كيف يتفاعل  
جزيء من الهيدروجين مع جزيء  
من الكلور؛ لإنتاج جزيئين من  
كلوريد الهيدروجين، ثم أشاركه  
زملائي/ زميلاتي في الصف.

✓ **أتحقق:** ما المقصود بالتفاعل  
الكيميائي؟

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

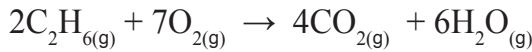
أتوقع: ما نوع الرابطة الكيميائية  
بين ذرات  $H-H$ ,  $Cl-Cl$ ,  $H-Cl$ ؟



## المعادلة الكيميائية الموزونة Balanced Chemical Equation

يمكن التعبير عن التفاعل الكيميائي بمعادلة كيميائية موزونة **Balanced Chemical Equation** وهي تعبير بالرموز والصيغ بين نوع المواد المتفاعلة والنتيجة، ونسب كمياتها في التفاعل، 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 تبنى ولا تُستحدث من العدم وإنما تتحول من شكل إلى آخر؛ وبهذا فإن مجموع كتل المواد المتفاعلة يساوي مجموع كتل المواد الناتجة، أنظر الشكل (4)؛ ما يشير إلى أن عدد ذرات كل عنصر ونوعها في المواد المتفاعلة يماثل عدد ذراته ونوعها في المواد الناتجة، وهذا يفسر قانون حفظ الكتلة. ويبين الشكل (5) تمثيلاً مبسطاً لتفاعل احتراق غاز الإيثان بوجود غاز الأكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، ويصف الكيميائيون هذا التفاعل بالمعادلة الرمزية الموزونة كما يأتي:



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



الأكسجين  $O_2$  7.39 g

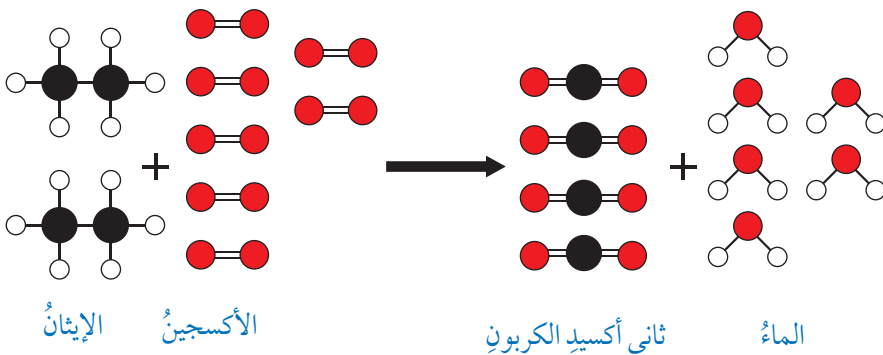


الزئبق  $2Hg$  92.61 g



أكسيد الزئبق  $2HgO$  100 g

الشكل (4): قانون حفظ الكتلة.



أفسر: كيف تغير ترتيب ذرات العناصر بالنسبة إلى بعضها؟

● كربون

● أكسجين

○ هيدروجين

## المثال 1

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

الحل:

O	H	
2	2	عدد الذرات المتفاعلة
1	2	عدد الذرات الناتجة

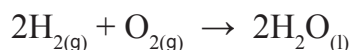
- أكتب المعادلة اللفظية: غاز الهيدروجين + غاز الأكسجين ← الماء.
- أكتب المعادلة بالرموز والصيغ:  $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$
- أوازن المعادلة: أحدد عدد ذرات كل نوع في المواد المتفاعلة والناتجة.

ألاحظ 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 أستخدم طريقة المحاولة والخطأ،

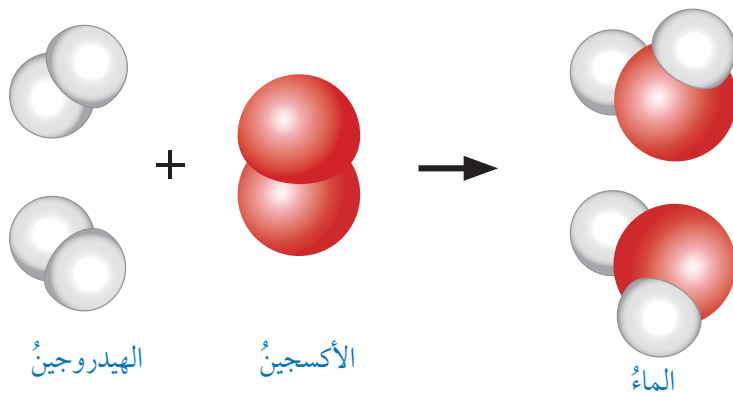
O	H	
2	2	عدد الذرات المتفاعلة
2	4	عدد الذرات الناتجة

وفي هذا التفاعل إذا وضع الرقم 2 يسار الصيغة  $H_2O$  كما يأتي:  $2 H_2O$  يصبح عدد ذرات O متساوياً في طرفي المعادلة.

ونتيجة لذلك سوف يختلف عدد ذرات H، ولمساواة عددها يوضع الرقم 2 يسار الصيغة  $H_2$  في المواد المتفاعلة؛ فيصبح عدد ذراتها في المواد المتفاعلة والناتجة متساوياً، 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 يسار الصيغة  $H_2O$  أي:  $2 H_2O$ ، وهذا يعني جزيئين من الماء، أما لو جرت الموازنة بوضع الرقم 2 يمين الصيغة، أي،  $H_2O_2$  فسيُنتج مركباً جديداً هو  $H_2O_2$  الذي يختلف في الخواص الفيزيائية والكيميائية عن  $H_2O$  على الرغم من أن عدد ذرات H و O متساوٍ في طرفي المعادلة الكيميائية، أنظر الشكل (6).



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

## المثال 2

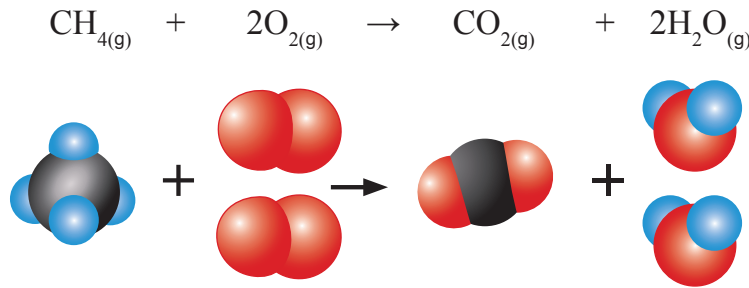
أكتب معادلةً كيميائيةً موزونةً لتفاعل غاز الميثان  $\text{CH}_4$  مع غاز الأوكسجين  $\text{O}_2$  لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$  وبخار الماء.

**الحل:**

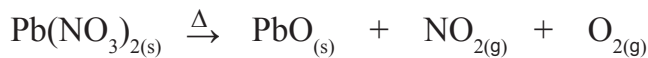
- أكتب المعادلة اللفظية: غاز الميثان + غاز الأوكسجين ← غاز ثاني أكسيد الكربون + بخار الماء
- أكتب المعادلة بالرموز والصيغ:  $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- أوازن المعادلة: أحدد عدد ذرات كل نوع في المواد المتفاعلة والنتيجة، وأزنّها:

المواد المتفاعلة	المواد الناتجة
المواد المتفاعلة والنتيجة	$\text{CH}_4 + \text{O}_2$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
أعدّ ذرات كل عنصر في المواد المتفاعلة والنتيجة	1C , 4H , 2O      1C , 2H , 3O
أزيد عدد ذرات H الناتجة أضع الرقم 2 يسار الصيغة $\text{H}_2\text{O}$	$\text{CH}_4 + \text{O}_2$ $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
أعدّ الذرات المتفاعلة والنتيجة مرةً أخرى	1C , 4H , 2O      1C , 4H , 4O
أزيد عدد ذرات O المتفاعلة أضع الرقم 2 يسار الصيغة $\text{O}_2$	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2$ $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
أناكد من عدد الذرات المتفاعلة والنتيجة في المعادلة	1C , 4H , 4O      1C , 4H , 4O

ألاحظ أن المعادلة موزونة وتكتب على النحو الآتي:



✓ **أتحقق:** أوازن المعادلة الكيميائية الآتية:



**أفكر:** كيف يتحقق قانون حفظ الكتلة في التفاعل الموضح في المثال السابق؟

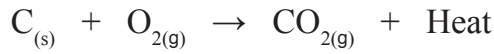
## أنواع التفاعلات الكيميائية Types of Chemical Reactions

### 1- تفاعل الاحتراق Combustion Reaction



الشكل (7): تفاعل احتراق قطع من الفحم.

**تفاعل الاحتراق Combustion Reaction** هو تفاعل مادة ما (عنصر أو مركب) مع غاز الأوكسجين ويصاحب التفاعل عمومًا انطلاق طاقة في صورة حرارة أو ضوء. فمثلًا، احتراق قطعة من الفحم (الكربون) بوجود غاز الأوكسجين تنتج منه حرارة Heat، أنظر الشكل (7)، حيث يمكن التعبير عن التفاعل بالمعادلة الآتية:

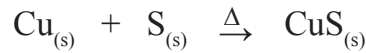


والأمثلة على تفاعلات الاحتراق كثيرة؛ كاحتراق الخشب واحتراق أنواع الوقود المختلفة. وتفيدنا الحرارة الناتجة في التدفئة وتحريك وسائل المواصلات وطهي الطعام وغيرها. بالإضافة إلى أن احتراق الغذاء في الجسم يزوده بالطاقة اللازمة لأداء وظائفه الحيوية المتنوعة. وعادةً عند احتراق المركبات التي تتكون من الهيدروجين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



### 2- تفاعل الاتحاد Combination Reaction

**تفاعل الاتحاد Combination Reaction** هو تفاعل مادتين أو أكثر (عناصر أو مركبات) ليُنتج مركبًا واحدًا جديدًا. فمثلًا يتفاعل عنصر النحاس مع عنصر الكبريت ليُنتج مركب كبريتيد النحاس (II)، ويُعبّر عن التفاعل بالمعادلة الآتية:



حيث يشير الرمز  $(\Delta)$  إلى التسخين (حرارة).

**أفكر:** عند حرق (100 g) من الفحم في كمية معلومة من غاز الأوكسجين حرقًا تامًا، فإن كمية الناتج تكون أقل من المتوقع، أفسر ذلك.



أعمل فيلمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (Movie Maker)، يوضح أنواع التفاعلات الكيميائية: (وهي الاحتراق، والتحلل، والاتحاد، والإحلال الأحادي)، وأحرص على أن يشتمل الفيلم على مفهوم كل نوع منها، ومعادلة التفاعل، ثم أشارك زملائي/زميلاتي في الصف.

## التجربة 1

### تفاعل الاتحاد

خطأ جيداً، وأسخن الجفنة على اللهب 4 min، ثم أترك الجفنة حتى تبرد، وألاحظ التغير الحاصل.

4. **أجرب:** أقرّب طرف المغناطيس من المادة الموجودة في

الجفنة، هل تنجذب إليه؟

5. **أتواصل:** أسجل ملاحظاتي وأقارنها مع ملاحظات

زملائي/ زميلاتي.

### التحليل والاستنتاج:

1- أصف التغير الذي حدث لكل من الحديد والكبريت بعد

تسخين مخلوطهما.

2- أكتب معادلة كيميائية موزونة للتفاعل.

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

### إرشادات السلامة:

• أحرص عند التعامل مع اللهب.

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

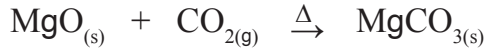
### خطوات العمل:

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

2. **أجرب:** أقرّب طرف المغناطيس من الخليط، أي المادتين تنجذب إليه؟

3. **الإحظ:** أضع المادتين مرة أخرى في الجفنة، وأخلطهما

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



ويمكن تمثيل تفاعلات الاتحاد بالصورة المبسطة الآتية:



### 3- تفاعل التحلل (التفكك) Decomposition Reaction

**تفاعل التحلل (التفكك) Decomposition Reaction** هو تحلل مركب واحد بالحرارة أو بالكهرباء أو بالضوء 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 بالعلوم الحياتية

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

## التجربة 2

### تفاعل التحلل

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

#### إرشادات السلامة:

• أحرز عند التعامل مع اللهب.

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

#### خطوات العمل:

1. أضع ملعقة من هيدروكسيد النحاس في الجفنة.

2. أسخن الجفنة على اللهب 5 min، ثم أترك الجفنة حتى تبرد.

3. **الاحظ** التغير الذي طرأ على هيدروكسيد النحاس، ثم أسجل ملاحظاتي.

#### التحليل والاستنتاج:

1- أصف التغير الذي حدث للمادة المتفاعلة قبل التسخين وبعده.

2- أكتب معادلة كيميائية موزونة للتفاعل.



الشكل (8): التحلل الحراري لمركب دايكرومات الأمونيوم.

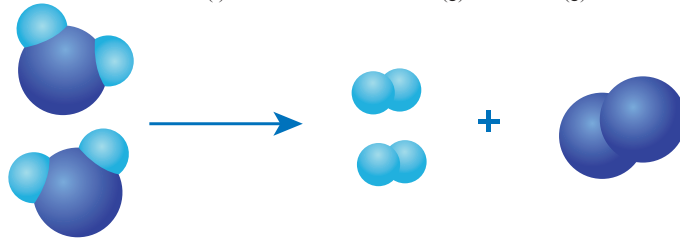
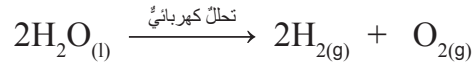
أكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعل.

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



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

وقد تعتمد بعض تفاعلات التحلل على استخدام التيار الكهربائي بدلاً من الحرارة، فمثلاً، يتحلل الماء تحللاً كهربائياً إلى عنصري الهيدروجين والأكسجين، كما يأتي:

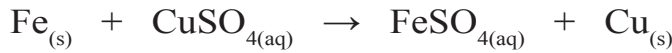


وعادةً يمكن تمثيل تفاعلات التحلل بالصورة المبسطة الآتية:

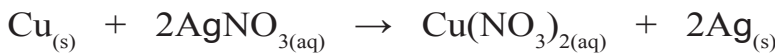


#### 4 - تفاعل الإحلال الأحادي Single Displacement Reaction

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



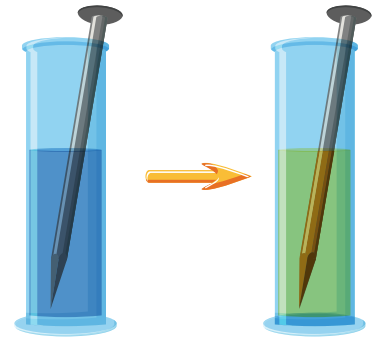
ومن الأمثلة أيضاً، تفاعل عنصر النحاس مع محلول نترات الفضة؛ فنتج نترات النحاس، وترسب ذرات الفضة؛ كما في معادلة التفاعل الآتية:



ويمكن عادةً تمثيل تفاعلات الإحلال بالصورة المبسطة الآتية:



✓ **أتحقّق:** بم يختلف تفاعل الاتحاد عن تفاعل التحلل؟



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 (II) NiSO<sub>4</sub>؟ أكتب معادلة التفاعل الحاصل.

### التجربة 3

#### تفاعل الإحلال الأحادي

2. أغمس صفيحة الخارصين في المحلول من (5-10) min.  
3. **الاحظ** التغيير الذي حدث لصفيحة الخارصين والمحلول، وأسجل ملاحظاتي.

#### التحليل والاستنتاج:

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

**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.

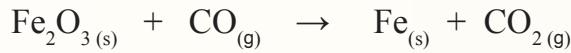
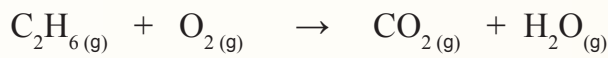
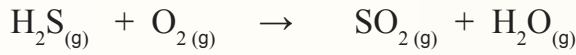
## مراجعة الدرس

1- الفكرة الرئيسية: أوضح أهمية المعادلة الكيميائية الموزونة.

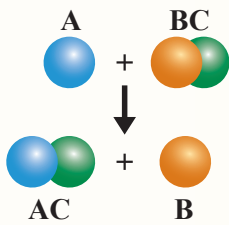
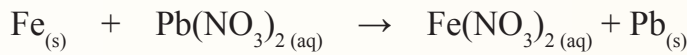
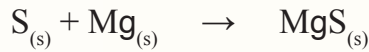
2- أوضح المقصود بكل من:

- تفاعل الاتحاد.
- تفاعل الاحتراق.
- تفاعل التحلل.
- تفاعل الإحلال الأحادي.
- قانون حفظ الكتلة.

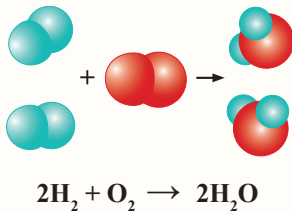
3- أوازن المعادلات الكيميائية الآتية:



4- أصنف التفاعلات الآتية إلى أنواعها، وهي: (الاتحاد، والتحلل، والاحتراق، والإحلال الأحادي):



5- أميز التفاعل الآتي الموضح في الشكل، وأفسره.



6- أفسر قانون حفظ الكتلة باستخدام التفاعل الآتي:

# المول والكتلة المولية

The Mole and Molar Mass

## 2

## الدرس

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

هل شاهدتُ والدتي وهي تصنعُ قالبًا من الحلوى؟ هل استخدمتُ أداة القياس ذاتها لتحضير جميع المكونات؟ هل عدتُ حبات الدقيق، أو حبات السكر التي استخدمتها؟ انظر الشكل (10).

لعلني لاحظتُ اختلاف وحدات القياس المستخدمة في إعداد قالب الحلوى بحسب المكونات وطبيعته؛ فالطحين مثلاً يُقاس بالكتلة، وتعدُّ حبات البيض بالحبّة، ويُستخدم مقياس الحجم للزيوت والحليب والماء، والملعقة للصغيرة من الملح ومن كربونات الصوديوم الهيدروجينية (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 تدلُّ 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.

#### الفكرة الرئيسية:

يرتبط مفهوم المول بالكتلة المولية وكتلة الصيغة، والكتلة الذرية.

#### نتائج التعلم:

- أوضح مفهوم المول.
- أربط بين المول وعدد أفوجادرو.
- أتعرف الكتلة الذرية النسبية، والكتلة الجزيئية، والكتلة المولية وكتلة الصيغة.
- أوظف 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

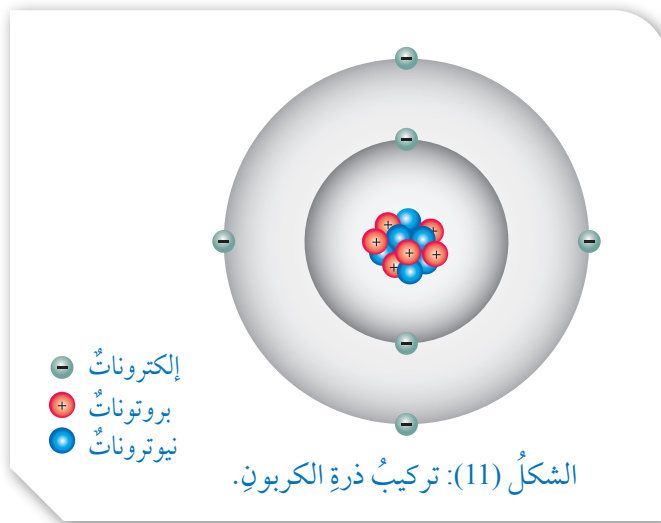
Molecular Mass ( $M_m$ )

كتلة الصيغة

Formula Mass ( $F_m$ )

الشكل (10): مكونات

قالب حلوى



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. ولأن كتلة الذرة صغيرة جداً؛ فقد وجد العلماء صعوبة في التعامل معها باستخدام أدوات القياس الشائعة، فلجئوا إلى طريقة لقياس كتلة الذرة بالنسبة إلى كتلة ذرة معيارية، وقد اعتمدوا ذرة الكربون  $^{12}C$

النظائر: ذرات العنصر نفسه لها العدد الذري نفسه وتختلف في العدد الكتلي.

الجدول (1): الكتل الذرية النسبية والتقربية 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

الكتلة الذرية للنظير  $Am_1$ : 1  
الكتلة الذرية للنظير  $Am_2$ : 2  
نسبة توافر النظير  $I_1$ : 1  
نسبة توافر النظير  $I_2$ : 2

التي تحتوي على 6 بروتونات و 6 نيوترونات كونها أساساً لقياس كتل الذرات الأخرى، أنظر الشكل (11). وكتلة هذه الذرة تساوي 12 وحدة سُميت كل منها (وحدة كتلة ذرية) (amu). وبذلك؛ فإن 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 رقماً صحيحاً، ولكن القيم المقاسة تحتوي عادةً على كسور؛ نظراً إلى وجود نظائر للعنصر لها كتل مختلفة؛ ولذلك فإن متوسط كتلتها ليس رقماً صحيحاً. وبهذا تم حساب الكتلة الذرية النسبية **Relative Atomic Mass ( $Am$ )** وهي متوسط الكتل الذرية لنظائر ذرة عنصر ما.

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

وتُقاس الكتلة الذرية النسبية بوحدة الكتل الذرية amu. أو (g).  
الكتلة الذرية النسبية  $Am = \frac{\text{الكتلة الذرية للنظير} \times 1}{100} \times \text{نسبة توافره في الطبيعة} + \frac{\text{الكتلة الذرية للنظير} \times 2}{100} \times \text{نسبة توافره في الطبيعة}.$

$$Am = (Am_1 \times \frac{I_1}{100}) + (Am_2 \times \frac{I_2}{100})$$

### المثال 3

إذا علمت أن من نظائر عنصر الليثيوم في الطبيعة النظير  ${}^6_3\text{Li}$ ، وأن كتلته الذرية = 6.02 بنسبة 7.5%، والنظير  ${}^7_3\text{Li}$  وأن كتلته الذرية 7.02 بنسبة 92.5%، فأحسب الكتلة الذرية النسبية لعنصر الليثيوم.

الحل:

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

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

### الكتلة الجزيئية (M<sub>m</sub>)

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<sub>m</sub>)** بأنها مجموع الكتل الذرية للذرات الموجودة في الجزيء الذي ترتبط ذراته بروابط تساهمية مقيسة بوحدة amu فمثلاً الكتلة الجزيئية لجزيء الماء H<sub>2</sub>O تُحسب كما يأتي:

الكتلة الجزيئية M<sub>m</sub> = (الكتلة الذرية للهيدروجين × عدد الذرات) + (الكتلة الذرية للأوكسجين × عدد الذرات)

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

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

ويوضح الشكل (12) الكتل الذرية النسبية للهيدروجين والأوكسجين.

عدد الجسيمات: N  
الكتلة الذرية النسبية: A<sub>m</sub>

✓ **أتحقق:** أحسب الكتلة

الجزيئية لجزيء الجلوكوز



Hydrogen 1 <b>H</b> 1.008	Oxygen 8 <b>O</b> 15.999
------------------------------------	-----------------------------------

الشكل (12): الكتل الذرية النسبية للهيدروجين والأوكسجين.

## المثال 4

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

الحل:

يلاحظ أن الجزيء  $\text{HNO}_3$  يتكوّن 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).

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

## كتلة الصيغة (Formula Mass (Fm))

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 الكيميائية بكتلة الصيغة (Formula Mass (Fm))، وتُقاس بوحدّة amu. تُحسب كتلة الصيغة بالطريقة نفسها المتبعة لحساب الكتلة الجزيئية.

✓ **أتحقّق:** أحسب كتلة الصيغة للمركب NaCl.

## المثال 5

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

الحل:

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

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

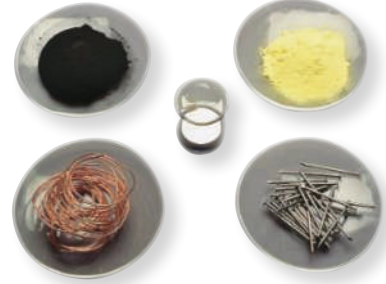
## The Mole المول

تُسمى 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. وتُسمى هذا العدد **عدد أفوجادرو** Avogadro's Number تكريمًا له، ويُرمز إليه بالرمز  $N_A$ .

يختلف المول الواحد لكل من الحديد وملح الطعام والماء في أنواع الجسيمات وكتلتها 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 تحوي عدد أفوجادرو من ذرات الهيليوم، وكتلة مول من الأكسجين 32 g تحوي عدد أفوجادرو من جزيئات الأكسجين، كما يبين الشكل (14).

اصطلح على استخدام مفهوم **الكتلة المولية** Molar Mass للدلالة على كتلة المول الواحد من المادة؛ ويُرمز إليها بالرمز  $(M_r)$  وتُقاس بوحدة g/mol، فمثلاً، كتلة المول الواحد من ذرات العنصر تُسمى الكتلة المولية للعنصر، وهي تساوي عددًا كتلته الذرية، فمثلاً، إن مولاً واحداً من ذرات عنصر المغنيسيوم يحوي عدد أفوجادرو من ذرات المغنيسيوم، وكتلته 24 g.



الشكل (13): مول واحد من عناصر مختلفة.



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

وكتلة المول الواحد من الجزيء تُسمى الكتلة المولية للجزيء،  
وتساوي عددياً كتلته الجزيئية، فمثلاً، مول واحد من جزيئات  $\text{CO}_2$   
يحتوي عدد أفوجادرو من جزيئات  $\text{CO}_2$  وكتلته 44 g.  
ويرتبط عدد المولات (n) بعلاقة رياضية مع عدد أفوجادرو  
( $N_A$ ) وعدد الجسيمات (N) من الذرات أو الجزيئات أو الأيونات أو  
وحدات الصيغة، كما يأتي:

**أفكر:** ما نوع الجسيمات في كلِّ  
مما يأتي:  
Na ،  $\text{N}_2$  ،  $\text{K}^+$  ، NaCl

عدد الجسيمات = عدد المولات × عدد أفوجادرو

$$N = N_A \times n$$

وكذلك يرتبط عدد مولات المادة (n)، بكتلة المادة (m) مقيسةً  
بوحدّة 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 الكربون في عينة منه تحتوي على  $3.01 \times 10^{23}$  ذرات.

**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 عدد الجزيئات الموجودة في 3 mol من غاز الميثان  $\text{CH}_4$ :

الحل:

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

## المثال 8

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

الحل:

كتلة مول من جزيئات الماء تمثل كتلته المولية وتُحسب بطريقة حساب الكتلة الجزيئية نفسها.

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

✓ أنصحق:

عينة من مركب ما كتلتها 4 g، والكتلة المولية  $M_r$  للمركب؛ 40 g/mol  
فما عدد المولات n؟

## مراجعةُ الدرس

- 1- الفكرةُ الرئيسةُ: أوضَحُ العلاقةَ بينَ الكتلةِ الجزيئيةِ والكتلةِ الموليةِ.
- 2- أوضَحُ المقصودَ بكُلِّ من:
  - الكتلةِ الذريةِ.
  - الكتلةِ الجزيئيةِ.
  - الكتلةِ الموليةِ.
  - كتلةِ الصيغةِ.
  - المولِ.
- 3- **أستخدمُ الأرقامَ:** أحسبُ الكتلةَ الموليةَ ( $M_r$ ) لكُلِّ من  $CH_4$  ,  $C_2H_5OH$  . علمًا بأن الكتل الذرية بوحدة amu ( $C = 12, H = 1, O = 16$ ).
- 4- **أستخدمُ الأرقامَ:** أحسبُ كتلةَ الصيغةِ ( $F_m$ ) للمركبين:  $Ca(OH)_2$  ،  $Mg(NO_3)_2$  . علمًا بأن الكتل الذرية بوحدة amu ( $Ca = 40, H = 1, O = 16, Mg = 24, N = 14$ ).
- 5- **أستخدمُ الأرقامَ:** أحسبُ عددَ المولاتِ ( $n$ ) الموجودةِ في 72 g من عنصرِ المغنيسيومِ.
- 6- **أستخدمُ الأرقامَ:** أحسبُ كتلةَ 0.1 mol من ذراتِ الألمنيومِ.
- 7- **أستخدمُ الأرقامَ:** أحسبُ عددَ جزيئاتِ  $NH_3$  الموجودةِ في 2 mol منها.
- 8- **أستخدمُ الأرقامَ:** أحسبُ عددَ ذراتِ عنصرِ البوتاسيومِ K الموجودةِ في  $1 \times 10^3$  mol منه؟
- 9- **أستخدمُ الأرقامَ:** أكملُ الجدولَ الآتيَ المتعلقَ بالتفاعلِ:
 
$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2HCl_{(g)}$$

$H_2$	$Cl_2$	HCl	
			عددُ المولاتِ $n$
			عددُ الجزيئاتِ $N$
			الكتلةُ الموليةُ $M_r$

### الحسابات المبنية على الكميات

#### Calculations Based on Quantities

تُعدُّ المعادلة الكيميائية الموزونة الركيزة الأساسية للحسابات الكيميائية، ويمكنُ عن طريقها تحديد عددِ مولاتِ المواد المتفاعلةِ والنتيجة؛ فيسهلُ في تحديد كتلتها بدقة، وكذلك في تحديد النسبة المئوية لكتلة عنصرٍ في مركب، وتحديد المردود المئوي لنتائج تفاعلٍ ما.

#### النسبة المئوية لكتلة العنصر Percent Composition

عند تفحصك بطاقة المعلومات المصققة على عبوات ماء الشرب مثلاً، ستلاحظ أنه مكتوب عليها أسماء المواد المكونة له، ونسبة وجودها في حجم معين في العبوة. ويشبه هذا الحال المركبات الكيميائية؛ حيث تتكون من عناصر محددة بنسب معينة. ويُجري بعض الكيميائيين الأبحاث المتنوعة لمعرفة المكونات الأساسية للمادة لتحديد العناصر الداخلة في تركيبها، والنسبة المئوية لكتل هذه العناصر؛ فيسهلُ في معرفة الصيغة الكيميائية للمركب وتطوير خصائصه وتحسينها. وتُعرف النسبة المئوية لكتلة العنصر Percent Composition بأنها نسبة كتلة العنصر في المركب إلى الكتلة الكلية للمركب. وتُحسب هذه النسبة لأيِّ عنصرٍ بقسمة كتلة العنصر على كتلة المركب مضروبةً في (100%)، ويمكن التعبير عن ذلك بالقانون الآتي:

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

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

#### الفكرة الرئيسة:

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

#### نتائج التعلم:

- أحسب النسبة المئوية لكتلة عنصرٍ في مركب.
- أحدد الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية للمركب.
- أحسب عدد مولات مركب وكتلته المتفاعلة أو الناتجة.
- أحسب المردود المئوي للتفاعل.

#### المفاهيم والمصطلحات:

النسبة المئوية بالكتلة

Percent Composition

Empirical Formula الصيغة الأولية

Molecular Formula الصيغة الجزيئية

Mole Ratio النسبة المولية

Percentage Yield المردود المئوي

Predict Yield المردود المتوقع

Yield Actual المردود الفعلي

## 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:

أحسب كتلة المركب كبريتيد الحديد FeS كما يأتي:

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

• أحسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر Fe كما يأتي:

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

• أحسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر S كما يأتي:

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

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

وبمعرفة صيغة المركب وكتلته المولية يمكن حساب نسبة العنصر في المثال الآتي:

## 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 علماً بأنّ الكتل الذرية بوحدة (amu) (C = 12 , O = 16 , H = 1).

الحل:

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

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

✓ أتحقّق:

1- أحسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر H في مركب كتلته 4.4 g ويحتوي على 0.8 g منه.

2- أحسب النسبة المئوية لعنصر الأكسجين في جزيء الجلوكوز الذي صيغته  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .

## الصيغة الكيميائية للمركب Chemical Formula

تعدُّ الصيغة الكيميائية للمركبِ طريقةً للتعبير عن عددِ ذراتِ العناصرِ المكونةِ له ونوعِها؛ حيثُ يظهرُ في الصيغةِ الرمزُ الكيميائيُّ للعنصرِ، وعددُ ذراته.

## الصيغة الأولية Empirical Formula

تُسمى الصيغة التي تدلُّ على أبسطِ نسبةٍ عدديةٍ صحيحةٍ بين ذراتِ العناصرِ المكونةِ للمركبِ **الصيغة الأولية Empirical Formula**، ويمكنُ حسابُها مثلما في المثالين الآتيين:

### المثال 1

ما الصيغة الأولية لمركبِ هيدروكربونيٍّ يحتوي على (60 g) كربونًا، و (20 g) هيدروجينًا؛ علمًا بأنَّ الكتلَ الذريةَ بوحدة (amu) (H = 1 , C = 12) ؟  
**الحلُّ:** أتبع الإجراءات المبسطة الآتية:

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

ولأنَّ النسبةَ بينَ ذراتِ H : C هي 1:4 على الترتيب؛ فإنَّ الصيغةَ الأوليةَ للمركبِ هي  $CH_4$ .

### المثال 2

ما الصيغة الأولية لمركبٍ يتكوَّن من 40% من الكالسيوم، و 12% من الكربون، و 48% من الأكسجين؛ علمًا بأنَّ الكتلَ الذريةَ بوحدة (amu) (Ca = 40 , O = 16 , C = 12) ؟

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

وبذلك تكون الصيغة الأولية للمركب  $CaCO_3$ .

## الصيغة الجزيئية Molecular Formula

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

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

## المثال 13

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

الحل:

العدد الفعلي للذرات:  $N$   
عدد الذرات في الصيغة الأولية:  $N. emp$   
كتلة الصيغة الأولية:  $m. emp$

	C	H
أكتب النسبة المئوية لكل عنصر.	85.7	14.3
أجد عدد المولات $n$ .	$\frac{85.7}{12} = 7.1$	$\frac{14.3}{1} = 14.3$
أجد أبسط نسبة عددية صحيحة.	$\frac{7.1}{7.1} = 1$	$\frac{14.3}{7.1} = 2$

أستنتج أنّ الصيغة الأولية للمركب هي  $\text{CH}_2$ ، وكتلة هذه الصيغة 14 g، ولأنّ الكتلة المولية للمركب 56 g/mol، فإنّ العدد الفعلي للذرات يُحسب على النحو الآتي:

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

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

$$N_H = 2 \times \frac{56}{14} = 8$$

$$N_C = 1 \times \frac{56}{14} = 4$$

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

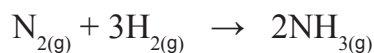
✓ **أتحقق:** ما الصيغة الجزيئية لمركب كتلته المولية 58 g/mol، وصيغته الأولية  $\text{C}_2\text{H}_5$  علماً بأنّ الكتل

الذرية بوحدة amu (C = 12, H = 1)؟

## الحسابات المبنية على المول - الكتلة

### Calculations based on Mole - Mass

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



يُلاحظُ 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 Ratio** 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:

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

أيضاً، 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 المعلومةِ 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 يمكنُ حسابُ عددِ مولاتِ النيتروجين المتفاعلة على النحو الآتي:

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

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

نحسبُ عددَ مولاتِ النيتروجين اللازمة للتفاعل، وذلك بضربِ نسبته المولية في عددِ مولاتِ الهيدروجين المعطاة في السؤال، كما يأتي:

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

## المثال 14

في المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:



أحسبُ عددَ مولاتِ  $H_2O$  الناتجة من تفاعل 4 mol من  $O_2$  مع كمية كافية من الهيدروجين.

الحل:

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

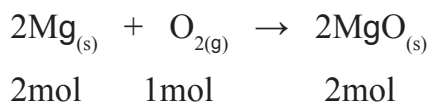
$$\frac{n H_2O}{n O_2} = \frac{2}{1}$$

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

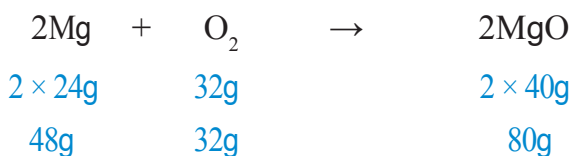
$$n H_2O = \frac{2}{1} \times 4 \text{ mol } O_2 = 8 \text{ mol } H_2O$$

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

يُلاحظُ مما سبق أنَّ المعادلةَ الكيميائيةَ الموزونةَ 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 مولاتِها، ففي المعادلةِ الموزونةِ الآتيةِ مثلاً:



يُلاحظُ أنَّه تفاعلَ 2 mol من Mg معَ 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.

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

$$M_{r(\text{O}_2)} = 32 \text{ g/mol}$$

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

## 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:

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

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

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

فإنَّه يمكنُ تحويلِ مولاتِ الهيدروجينِ إلى كتلةٍ كما يأتي:

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

## المثال 16

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



الحل:

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

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

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

### 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 كالتالي:

## المثال 17

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

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

الحل:

أحسب عدد مولات  $\text{NH}_3$ :

$$n \text{ NH}_3 = \frac{2}{1} \times 2 \text{ mol N}_2 = 4 \text{ mol NH}_3$$

ومن هنا أحسب كتلتها:

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

أحوّل كتلة النيتروجين المعلومة في السؤال إلى مولات:

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

أجد النسبة المولية  $\text{NH}_3$

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

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

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

2- أحسب كتلة MgO الناتجة من احتراق 6g من عنصر Mg احتراقًا تامًا، بوجود كمية كافية من الأكسجين.

## المردود المئوي Percentage Yield

تعلمت في الحسابات السابقة حساب كمية مادة ناتجة من التفاعل من معرفة كمية مادة أخرى في التفاعل، ومعادلة التفاعل الكيميائية الموزونة، وتسمى 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 فتسمى **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:

$$\text{المردود المئوي للتفاعل} = \frac{(\text{المردود الفعلي})}{(\text{المردود المتوقع})} \times 100\%$$
$$Y = \frac{A_y}{P_y} \times 100\%$$

## المثال ١٨

في تفاعل ما حصلنا على 2.64 g من كبريتات الأمونيوم. فإذا علمت أن المردود المتوقع 3.3 g، فأحسب المردود المئوي للتفاعل.  
**الحل:**

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

✓ **أتحقّق:**

ما الفرق بين المردود الفعلي، والمردود المتوقع للتفاعل؟

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

**أبحثُ**



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

## مراجعةُ الدرس

1- الفكرةُ الرئيسةُ: ما أهميةُ الحساباتِ الكيميائية؟

2- أوضح المقصودَ بكلِّ من:

• النسبة المئوية بالكتلة لعنصر.

• الصيغة الأولية.

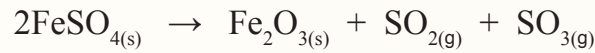
• الصيغة الجزيئية.

• المردود النظري للتفاعل.

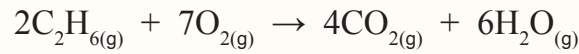
3- ما الصيغةُ الأوليةُ لمركبٍ يتكوّن من تفاعل 2.3 g من الصوديوم Na مع 8 g من البروم Br؟

4- ما الصيغةُ الجزيئيةُ لمركبٍ هيدروكربونيّ يتكوّن من 92.3% من الكربون، و 7.7% من الهيدروجين، علمًا بأن الكتلة المولية للمركب 26 g/mol؟

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



6- **أستخدمُ الأرقام:** أحسب عددَ مولاتِ غازِ ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  الناتجة عن احتراق 6 mol من غاز الإيثان  $C_2H_6$  احتراقًا تامًّا في كمية وافرة من غاز الأكسجين. وذلك حسب المعادلة الموزونة الآتية:

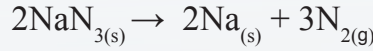


7- **أستخدمُ الأرقام:** أحسب المردود المئويّ لتفاعل ما لإنتاج أكسيد الكالسيوم، علمًا بأن المردود المتوقع 5.6 g والمردود الفعليّ 2.8 g

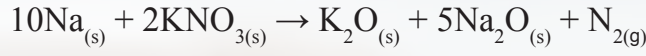
تُستخدمُ في السيارات الحديثة الصنع وسادة هوائية؛ لمنع ارتطام السائق بمقود السيارة لحظة اصطدام السيارة بسيارة أخرى أو بأي جسم آخر؛ حيثُ يتمددُ الهواء داخل الوسادة فتتفخ وتتضخم، وتعملُ على حماية السائق. وفي حالة احتواء الوسادة على كمية كبيرة من الهواء فإنها تصبح قاسيةً، وهو ما قد يسببُ جرحًا بسبب عدم تخفيف تأثير الصدمة. 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 مركباً أزيد الصوديوم  $\text{NaN}_3$ ، ونترات البوتاسيوم  $\text{KNO}_3$ ، وعند حدوث التصادم تحدث سلسلة من التفاعلات الكيميائية، منها تحلل مركب أزيد الصوديوم منتجاً الصوديوم وغاز النيتروجين كما يأتي:



حيثُ يتسببُ غاز النيتروجين بانتفاخ الوسادة الهوائية. في حين تتفاعل نترات البوتاسيوم مع الصوديوم وذلك لمنع تفاعله مع الماء، كما في المعادلة الآتية:



وفي المحصلة فإن، المواد الناتجة من 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 / زميلاتي في الصف.

## مراجعة الوحدة

1. ما المقصودُ بكلِّ من المصطلحاتِ الكيميائية الآتية:  
• المول. • الكتلة الجزيئية. • تفاعل التحلل. • المردودُ المئويُّ للتفاعل.

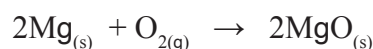
2. أكتبُ معادلةً كيميائيةً موزونةً تمثلُ:

- أ. تفاعل عنصر الحديد الصلب مع غاز الأوكسجين 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 البروميد؛ لتكوين راسب من بروميد الفضة.

3. **أستنتج** الصيغة الأولية للمركب الناتج من تفاعل 0.6 g من الكربون مع الأوكسجين لتكوين 2.2 g من أكسيد الكربون.

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

5. **أستخدم الأرقام.** يحترق عنصر المغنسيوم وفق المعادلة الآتية:



- أ. أحسب كتلة المغنسيوم اللازمة لإنتاج 8 g من أكسيد المغنسيوم.  
ب. أحسب كتلة الأوكسجين اللازمة لإنتاج 20 g من أكسيد المغنسيوم.

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

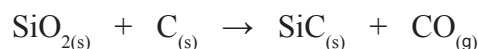
7. **أستخدم الأرقام.** تتحلل كربونات الكالسيوم بالحرارة وفق المعادلة الآتية:



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

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

8. **أستخدم الأرقام.** 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

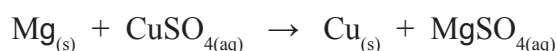
أ. أوازن معادلة التفاعل.

ب. أحسب عدد مولات CO الناتجة من تفاعل 0.5 mol من SiO<sub>2</sub>

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

د. أحسب النسبة المئوية لعنصر الكربون في المركب SiC.

9. **أصنف** المعادلات الآتية حسب أنواعها: (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 AgNO<sub>3</sub>؟

أ. 1      ب. 2      ج. 3      د. 4

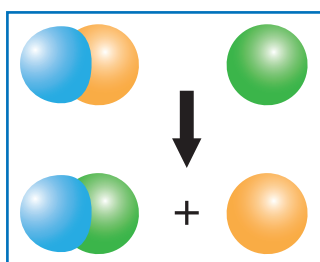
2. أي من الآتية يعد الكتلة المولية لمركب Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (بوحد g/mol)؟

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

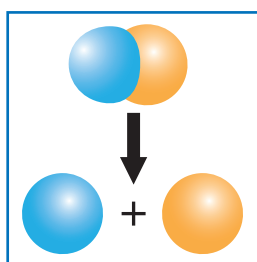
3. تُسمى كمية المادة الناتجة المحسوبة من التفاعل:

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

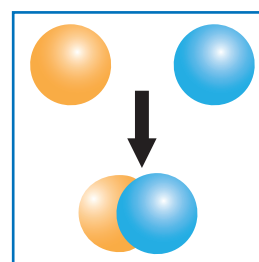
11. **أميز** التفاعلات الواردة في النماذج الآتية وأفسرها:



c



b



a

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

أ. **أستنتج:** النسبة المئوية بالكتلة لعنصري الكربون والهيدروجين في المركب.

ب. **أستنتج:** أي الصيغتين تمثل المركب C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> أم C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>؟

# الطاقة الكيميائية

Chemical Energetics

## الوحدة

### 5



### أتأمل الصورة

تُستخدمُ 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 الكيميائيةَّةَ والفيزيائيةُ التي تحدثُ للموادِّ امتصاصٌ للطاقةِ أو انبعاثٌ لها.

**الدرسُ الثاني:** الطاقةُ الممتصةُ والمنبعثةُ من 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 الكيميائيةَّةِ 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 ( $H_2SO_4$ ).



#### 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 الثاني. وأقيس درجة حرارته وأسجلها.
- 3 أضيف ببطء محلول حمض الكبريتيك المركز إلى الكأس الزجاجية المحتوية على الماء المقطر، وأحرك المحلول ببطء.
- 4 **أقيس:** أنتظر 1 min 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:

**أستنتج:** التغير الذي يحدث لدرجة حرارة الماء بعد إضافة محلول حمض الكبريتيك.

# تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية

Energy Changes in Chemical Reactions

1

الدرس

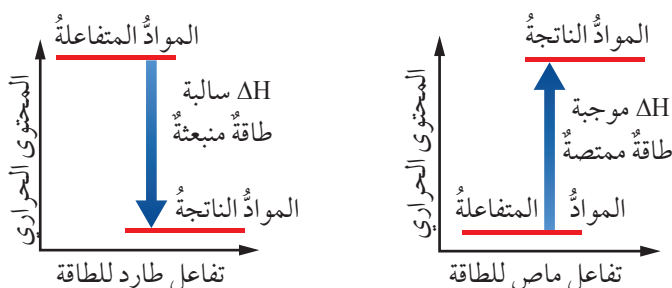
## الطاقة المرافقة للتفاعل الكيميائي

### Energy Accompaniment the Chemical Reactions

يرافق حدوث كثير من التفاعلات انبعاث كميات من الطاقة مثل الناتجة من 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

يحدث كثير من التفاعلات الكيميائية في المختبرات، وفي أجسام الكائنات الحية عند ضغط ثابت، ويرافق حدوثها انبعاث أو امتصاص للطاقة الحرارية، ما يشير إلى تغيرات تحدث للطاقة المخزونة في المواد المتفاعلة والناتجة التي تُسمى **المحتوى الحراري Enthalpy**، وهو كمية الطاقة المخزونة في مول من المادة، ويُرمز إليه بالرمز (H)، ويُطلق على كمية الطاقة الحرارية الممتصة أو المنبعثة خلال التفاعل **التغير في المحتوى الحراري Change in Enthalpy**، ويُرمز 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 الرئيسية:

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

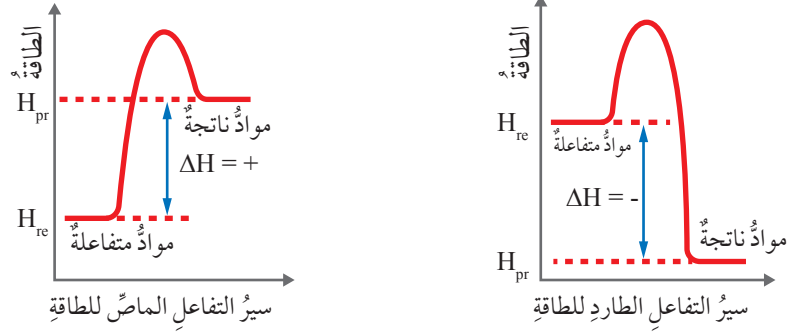
### نتائج التعلم:

- أبين أهمية الطاقة في التفاعلات الكيميائية، وأشكالها، وتطبيقاتها.
- أصنف التفاعلات الكيميائية وفق الطاقة المصاحبة لها إلى ماصة وطاردة.
- أوظف التكنولوجيا في البحث في الطاقة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية.

### المفاهيم والمصطلحات:

- المحتوى الحراري Enthalpy
- التغير في المحتوى الحراري Change in Enthalpy
- تفاعلات طاردة للحرارة Exothermic Reactions
- تفاعلات ماصة للحرارة Endothermic Reactions
- طاقة الانصهار المولية Molar Fusion Energy
- طاقة التبخر المولية Molar Evaporation Energy
- طاقة التجمد المولية Molar Freezing Energy
- طاقة التكاثف المولية Molar Condensing Energy

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



يعتمد التغيير في المحتوى الحراري ( $\Delta H$ ) على الحالة النهائية والحالة الابتدائية للتفاعل، ولا يعتمد على الطريقة التي يحدث بها التفاعل، كما يتضح من الشكل (2) الذي يبين مخطط سير تفاعل طارد للطاقة، وتفاعل آخر ماص لها.

يلاحظ أن التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل يمثل الفرق بين المحتوى الحراري للمواد الناتجة ( $H_{pr}$ )، والمحتوى الحراري للمواد المتفاعلة ( $H_{re}$ )، ويقاس بالكيلو جول (kJ)، ويمكن حسابه باستخدام العلاقة الآتية:

التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل =

المحتوى الحراري للمواد الناتجة - المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.

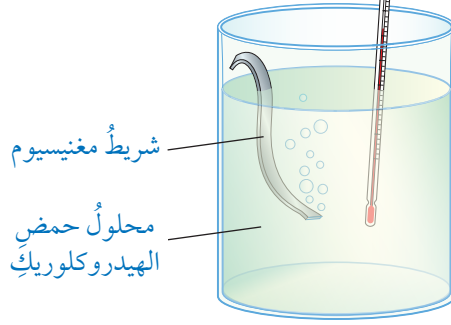
$$\Delta H = (H_{pr}) - (H_{re})$$

### تفاعلات طاردة للحرارة Exothermic Reactions

تنتقل الطاقة في كثير من التفاعلات من المواد المتفاعلة إلى الوسط المحيط مثل تفاعلات احتراق الوقود، وتفاعلات التعادل التي تحصل بين الحمض والقاعدة. فمثلاً، عند احتراق الوقود في المدفأة تنبعث منه طاقة حرارية؛ ما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الوسط المحيط، ويشعر المحيطون بالمدفأة بالدفء، وكذلك عند احتراق سكر الجلوكوز في الخلايا، فإنه يزودها بالطاقة اللازمة لأداء العمليات الحيوية المختلفة، يُطلق على التفاعلات التي من هذا النوع اسم **التفاعلات الطاردة للحرارة Exothermic Reactions**؛ حيث يكون المحتوى الحراري للمواد الناتجة ( $H_{pr}$ ) أقل من المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة ( $H_{re}$ )، وبناءً عليه؛ فإن التغيير في المحتوى الحراري ( $\Delta H$ ) للتفاعل يكون سالباً.

**أفكر:** كيف تنتقل الحرارة من المدفأة إلى الأشخاص المحيطين بها؟

ارتفاع درجة حرارة المحلول



الشكل (3): التفاعل الطارد للحرارة.

وكذلك؛ يتفاعل شريط المغنيسيوم (Mg) مع محلول حمض الهيدروكلوريك (HCl) أنظر الشكل (3)، وترتفع درجة حرارة المحلول، ما يعني أن التفاعل طارد للحرارة، حيث تنطلق طاقة حرارية من التفاعل تسبب رفع 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 للحرارة في مختلف مناحي الحياة كعمليات طهو الطعام، والتسخين، وتشغيل المركبات، والآلات الصناعية وغيرها.

### تفاعلات ماصة للحرارة Endothermic Reactions

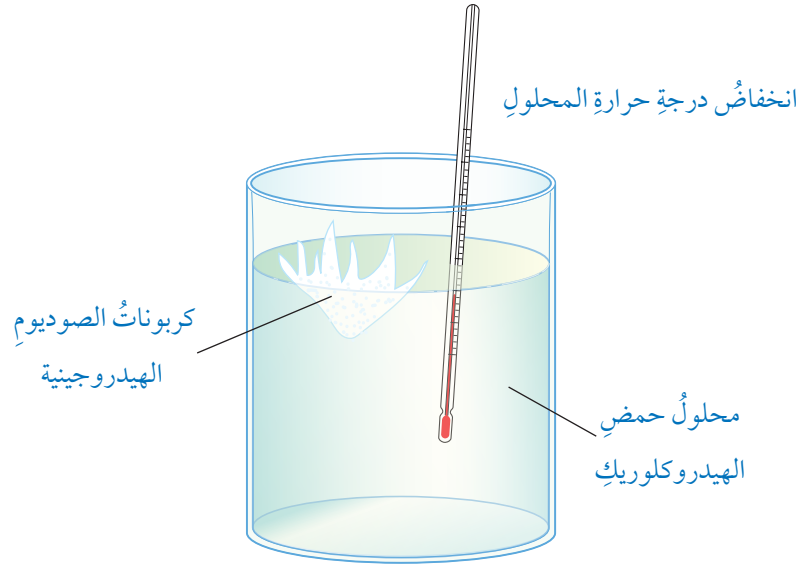
تحتاج بعض التفاعلات إلى كمية من الطاقة للتغلب على الروابط بين ذرات المواد المتفاعلة؛ فتمتص هذه المواد الطاقة من الوسط المحيط؛ ما يسبب انخفاضاً في درجة حرارته، مثل تفاعلات التحلل الحراري؛ إذ يتطلب تحلل كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) امتصاص كمية من الطاقة الحرارية لكسر الروابط بين الذرات، ويُطلق 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 ( $\Delta H$ ) يكون موجباً.

**أفكر:** يُستخدم تفاعل التيرمايت في لحام قضبان السكك الحديدية، ويتطلب ذلك تزويده بكمية كبيرة من الحرارة لبدء التفاعل، وعلى الرغم من ذلك يُعد تفاعل التيرمايت طارداً للحرارة. أفسر ذلك.

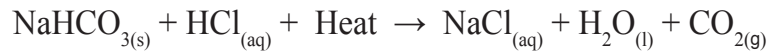


أعمل فيلماً قصيراً باستخدام برنامج صانع الأفلام (Movie Maker)، يبين التفاعلات الطاردة والماصة للطاقة، وعلاقتها بالمحتوى الحراري، وأحرص على أن يشتمل على رسوم تخطيطية لمنحنيات الطاقة، وصور لأمثلة توضيحية، ثم أشركه زملائي/زميلاتي في الصف.

الشكل (4): التفاعل الماص  
للطاقة.

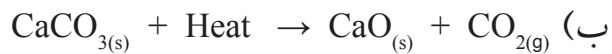


وكذلك؛ عند إضافة كربونات الصوديوم الهيدروجينية ( $\text{NaHCO}_3$ ) إلى محلول حمض الهيدروكلوريك ( $\text{HCl}$ ) تنخفض درجة حرارة المحلول، أنظر الشكل (4)؛ الأمر الذي يعني أن التفاعل امتصَّ الطاقة من المحلول وتسبب في خفض درجة حرارة المحلول، وهذه الطاقة تمثل التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ( $\Delta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



✓ **أتحقَّق:**

1- أيُّ التفاعلات الآتية يعدُّ ماصًّا للطاقة، وأيُّها يعدُّ طاردًا لها:



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

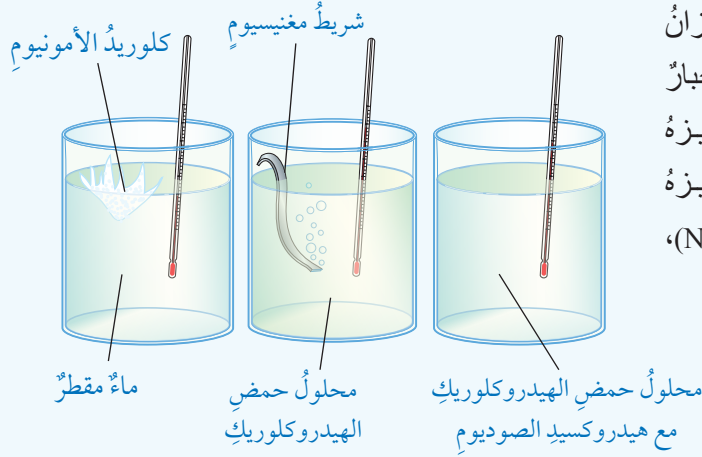
**أبحثُ**



يُستفاد من التفاعلات الطاردة للحرارة في عملِ الوجبات الساخنة من دون لهب. مستعينًا بالكلمات المفتاحية الآتية: (التسخين من دون لهب، الوجبات الساخنة لرواد الفضاء) أبحثُ كيفية تحضير هذه الوجبات، وأكتبُ تقريرًا بذلك، أو أصممُ عرضًا تقديميًا حول الموضوع، وأعرضه على زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

# التجربة 1

## التفاعل الطارد والتفاعل الماص للحرارة



**المواد والأدوات:** ثلاث كؤوس زجاجية، ميزان حرارة، ملعقة، ميزان حساس، قضيب زجاجي، مخبر مدرج، محلول حمض الهيدروكلوريك (HCl) تركيزه  $(0.5\text{mol/L})$ ، هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) تركيزه  $(0.5\text{mol/L})$ ، بلورات كلوريد الأمونيوم  $(\text{NH}_4\text{Cl})$ ، شريط من المغنيسيوم (2 cm)، 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 (20 mL) من محلول حمض الهيدروكلوريك باستخدام المخبر المدرج. وأقيس درجة حرارة المحلول في الكأس، وأسجلها.

2. **أقيس:** أضيف شريطاً من المغنيسيوم طوله (2 cm)، وأحرك المحلول ببطء، وأقيس درجة حرارته، وأسجلها.

3. **ألاحظ:** درجة حرارة المحلول بعد إضافة شريط المغنيسيوم؛ هل ارتفعت أم انخفضت؟

4. **أقيس:** أضع في الكأس الثانية (20 mL) من الماء باستخدام المخبر المدرج. وأقيس درجة حرارته، وأسجلها.

5. **أزن:** باستخدام الميزان الحساس أزن (5 g) 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 (20 mL) من محلول حمض الهيدروكلوريك باستخدام المخبر المدرج. وأقيس درجة حرارته وأسجلها.

8. **أقيس:** أضيف إلى الكأس (20 mL) 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:

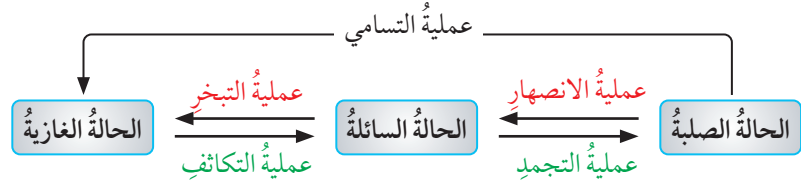
1- أصف التغير الذي يحدث لدرجة حرارة محلول حمض الهيدروكلوريك بعد تفاعله مع شريط المغنيسيوم. ماذا أستنتج؟

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 لدرجة الحرارة في كل حالة.

أحدّد: أيّ هذه التحوّلات يسبّب انبعاثاً للطاقة الحرارية؟ وأيها يتطلب امتصاصاً لها؟



الشكل (5): تحولات الحالة الفيزيائية للمادة.

## الطاقة والحالة الفيزيائية للمادة

### Energy and Physical State of Matter

توجدُ المادةُ في حالاتٍ فيزيائيةٍ ثلاثٍ، هي: الصلبةُ والسائلةُ والغازيةُ، ولكلٌّ من هذه الحالاتِ خصائصٌ معينةٌ تعتمدُ على طبيعةِ المادةِ والروابطِ بينَ جسيماتها، ويمكنُ أن تتحوّلَ المادةُ من حالةٍ فيزيائيةٍ إلى أخرى، فيمكنُ تحوّلُ الغازاتِ إلى سوائلٍ بالضغطِ والتبريدِ، كذلكَ يمكنُ تحويلُ المادةِ الصلبةِ إلى السائلةِ بالتسخينِ، وهذا يشيرُ إلى أنّهُ يرافِقُ تحوّلَ المادةِ من حالةٍ فيزيائيةٍ إلى أخرى تغيراتٌ في الطاقة؛ فقد يكونُ هذا التحوّلُ ماصّاً للطاقةِ أو طارداً لها. ويبينُ الشكلُ (5) تغيراتِ الطاقةِ المصاحبةَ للتحوّلاتِ الفيزيائيةِ للمادةِ.

### الانصهارُ Fusion

عمليةُ تحويلِ المادةِ من الحالةِ الصلبةِ إلى الحالةِ السائلةِ، وهذا يتطلبُ تزويدَ المادةِ بكميةٍ كافيةٍ من الطاقةِ الحرارية؛ للتغلبِ على الترابطِ بينَ جزيئاتِ المادةِ أو ذراتها، وهذا يعني أنّ الانصهارَ عمليةٌ ماصةٌ للطاقةِ، فمثلاً يمتصُّ الجليدُ طاقةً حراريةً من الوسطِ المحيطِ ليتحوّلَ إلى الماءِ السائلِ، وهو ما يفسرُ الشعورَ ببرودةِ الجوِّ نتيجةَ انخفاضِ درجةِ حرارته؛ بسببِ انصهارِ الثلجِ في أيامِ الشتاءِ، وتُسمّى كميةُ الطاقةِ اللازمةُ لتحويلِ مولٍ من المادةِ الصلبةِ عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتةٍ إلى الحالةِ السائلةِ **طاقة الانصهارِ المولية Molar Fusion Energy**، ولكلِّ مادةٍ طاقةُ انصهارٍ خاصةٌ بها، فطاقةُ الانصهارِ الموليةُ للجليدِ مثلاً تساوي (6.01 kJ)، ويمكنُ التعبيرُ عنها بالمعادلةِ الكيميائية الآتية:



## التبخُّر Evaporation

عمليةُ تحوُّلِ المادةِ منَ الحالةِ السائلةِ إلى الحالةِ الغازيةِ، حيثُ تصبحُ جزيئاتُ المادةِ أو ذراتُها أكثرَ قدرةً على الحركة؛ ما يتطلبُ تزويدها بكميةٍ منَ الطاقةِ الحراريةِ تعملُ على تحريرِ الجزيئاتِ أو الذراتِ منَ قوى الترابِطِ بينها في الحالةِ السائلةِ، وبذلكَ، فهيَ 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 السائلةِ عندَ درجةِ حرارةٍ معينةٍ **طاقة التبخُّر المولية Molar Evaporation Energy**، ولكلِّ مادةٍ طاقةٌ تبخِّرُ خاصةً بها؛ فطاقةُ التبخُّرِ الموليةُ للماءِ مثلاً تساوي: (40.7 kJ)، ويمكنُ التعبيرُ عنها بالمعادلةِ الكيميائية الآتية:

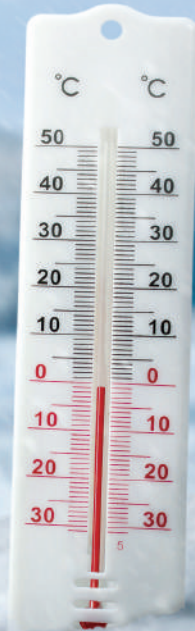


## التجمدُ Freezing

عمليةُ تحوُّلِ المادةِ السائلةِ إلى صلبةٍ عنَ طريقِ تبريدها بخفضِ درجةِ حرارتها؛ فيقلُّ منَ حريةِ حركةِ الجزيئاتِ أو الذراتِ، ويزيدُ منَ تجاذبها وتماسكها، وهذا يتطلبُ فقدانها كميةً منَ الطاقةِ، ويُطلَقُ على هذهِ العمليةِ: التجمدُ Freezing، وكميةُ الطاقةِ الناتجةُ منَ 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 سلسيوس وفي الوقتِ نفسه ينصهرُ الجليدُ ويتحوُّلُ إلى الماءِ السائلِ عندَ درجةِ الحرارةِ نفسها، فإذا جُمِّدَ مولٌ منَ الماءِ وتحوُّلَ إلى جليدٍ، تنطلقُ نتيجةً لذلكَ كميةٌ منَ الطاقةِ تساوي (6.01 kJ)، وتُسمَّى

**طاقة التجمد المولية Molar Freezing Energy**.

**أفكر:** تسهمُ عمليةُ التبخرِ في الحفاظِ على درجةِ حرارةِ سطحِ الأرضِ وتوزيعِ الحرارةِ عليه، أوضحُ ذلكَ.

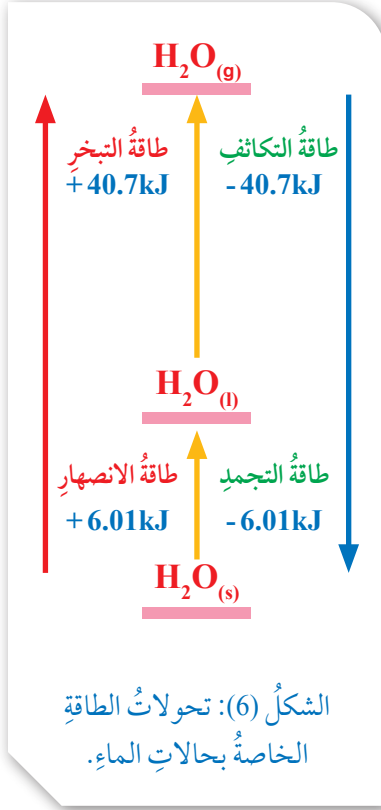


## التكاثف Condensation

يتكاثف الغازُ ويتحولُ إلى سائلٍ عندَ زيادةِ الضغطِ المؤثرِ فيه وخفضِ درجةِ حرارته؛ فتقترُبُ نتيجةً ذلكَ جزيئاتُ الغازِ من بعضها بالقدرِ 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 المولية 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 من دونِ 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 مول من الجليدِ مثلاً، يتطلبُ تزويدهُ بمقدارٍ من الطاقةِ يساوي (46.71 kJ)، وكميةُ الطاقةِ هذه تساوي مجموعَ كميةِ الطاقةِ اللازمةِ عندَ تحويله إلى الحالةِ السائلةِ ثمَّ إلى الحالةِ الغازيةِ، ويبيِّنُ الشكلُ (6) تغيراتِ الطاقةِ المصاحبةَ لتحولاتِ الماءِ في الحالاتِ الثلاثِ.



الشكل (6): تحولات الطاقة الخاصة بحالات الماء.



أصممُ باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضاً يوضح دورة الماء في الطبيعة وتحولات الطاقة المرافقة لحدوثها، ثمَّ أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

✓ **أتحقَّقُ:**

- أيُّ التحولاتِ الفيزيائية الآتية يرافقه انبعاثٌ للحرارة؟ وأيُّها يرافقه امتصاصٌ لها:
- جفافُ الملابسِ بعدَ غسلها ونشرها وتعريضها لأشعة الشمسِ.
  - انصهارُ الكتلِ الجليديةِ أيامَ الربيعِ في المناطقِ الشمالية من الكرة الأرضيةِ.
  - تكوُّنُ الصقيعِ (الجليدِ) في ليالي الشتاءِ الباردةِ.

## الربط بالحياة: الكمادات الباردة والساخنة

يتعرض الرياضيون للإصابات والكدمات في أثناء المباريات الرياضية أو في أثناء التدريبات، وقد استُفيد من التفاعلات الماصة والتفاعلات الطاردة للحرارة في صناعة ما يُسمى بالكمادات الفورية التي تُستخدم للتخفيف من الآلام الناتجة من هذه الإصابات، وهي تتكون من كيس بلاستيكي يحتوي على مادة كيميائية بالإضافة إلى كيس صغير من الماء، وعند ضغط الكمادة ينفجر كيس الماء داخلها ويختلط بالمادة الكيميائية ويعمل على إذابتها، ويرافق ذلك انبعاث طاقة حرارية ترفع درجة حرارة المحلول، وتتكون الكمادة الساخنة، وعادةً يُستخدم كلوريد الكالسيوم أو كبريتات المغنيسيوم في هذه الكمادات. وقد تُستخدم في الكمادة مادة نترات الأمونيوم التي تؤدي إذابتها في الماء إلى امتصاص طاقة حرارية من الوسط المحيط، 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 في أثناء المباريات.



## أبحثُ



لعلّي لاحظتُ أنّ التحولات الفيزيائية في حالة المادة يرافقها امتصاص أو انبعاث للطاقة الحرارية، فهل جميع التحولات الفيزيائية والكيميائية للمواد ترافقها طاقة حرارية دائماً؟  
مستعيناً بالكلمات المفتاحية الآتية: (الطاقة المرافقة للتفاعلات، أشكال الطاقة الكيميائية، الطاقة والتنفس)  
أبحثُ عن أشكالٍ أخرى للطاقة ترافق التغيرات الكيميائية والفيزيائية للمادة، وأكتبُ تقريراً بذلك، أو أصممُ عرضاً تقديمياً حول الموضوع، وأعرضه على زملائي / زميلاتي في الصفّ.

## مراجعةُ الدرس

- 1- الفكرة الرئيسية: أفسر: تغيرات الطاقة المصاحبة للتحويلات الفيزيائية.
- 2- ما المقصودُ بكلِّ ممَّا يأتي:
  - المحتوى الحراريُّ.
  - التفاعل الماصُّ للحرارة.
  - التفاعل الطاردُ.
  - طاقةُ التبخرِ الموليةُ.
  - طاقةُ التكاثفِ الموليةُ.
- 3- **أستخدمُ الأرقامَ:** إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ لتفاعلٍ ما (120kJ)، وللموادِّ المتفاعلةِ (80kJ)، فأحسبُ التغيرُ في المحتوى الحراريُّ للتفاعلِ؟ وما إشارتهُ؟
- 4- **أفسرُ:** التغيرُ في المحتوى الحراريُّ لبعضِ التفاعلاتِ يكونُ سالبًا ( $\Delta H$ ).
- 5- **أصنّفُ** التفاعلاتِ الماصةً للحرارة والتفاعلاتِ الطاردةَ لها:
 
$$\text{CaO}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_{2(s)} + 65.2\text{kJ}$$

$$2\text{NaHCO}_{3(s)} + 85\text{kJ} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_{3(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{CO}_{2(g)}$$
- 6- **أفسرُ:**
  - أ) الانخفاضُ النسبيُّ لدرجة حرارة الهواءِ الملامسِ لسطحِ الأرضِ في أثناءِ انصهارِ الثلجِ في أيامِ الشتاءِ.
  - ب) تُستخدمُ الكمادةُ الباردةُ للمساعدةِ على خفضِ درجة حرارة الأطفالِ الذين يعانونَ الحمى.
- 7- **أستخدمُ الأرقامَ:** إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ من تفاعلٍ ما (140 kJ)، والتغيرُ في المحتوى الحراريُّ للتفاعلِ (-60 kJ)، فأحسبُ المحتوى الحراريُّ للموادِّ المتفاعلةِ؟

# الطاقة الممتصة والطاقة المنبعثة من المادة

Absorbed and Emitted Energy of Matter

2

الدرس

## تبادل الطاقة بين المادة والمحيط

### Energy Exchange between Matter and the Surrounding

تبادل المواد المختلفة الحرارة مع الوسط المحيط بها، حيث تنتقل الحرارة عادةً من المادة ذات درجة الحرارة العليا إلى المادة ذات درجة الحرارة الدنيا، ولعلك تلاحظ أنه عند تسخين كأس يحوي كمية من الماء، فإن الماء سوف ترتفع درجة حرارته، وعند وضع الكأس في الهواء مدةً وجيزةً سوف تنخفض درجة حرارة الماء داخله، ويرجع السبب في ذلك إلى أنه فقد كميةً من طاقته الحرارية وانتقلت إلى الوسط المحيط به (الهواء)؛ فتنخفض نتيجة ذلك درجة حرارة الماء، ويبين الشكل (7) عملية تبادل الحرارة بين المواد والوسط المحيط بها.



الشكل (7): تبادل الحرارة 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 من الاحتراق سوف تنتقل إلى الماء مسببةً رفع درجة حرارته، كما في الشكل (8). ومن الجدير بالذكر أن ارتفاع درجة حرارة الماء خلال مدة زمنية معينة من التسخين يعدُّ مؤشراً على كمية الحرارة الناتجة من الاحتراق، مع مراعاة أن جزءاً قليلاً من الحرارة الناتجة من الاحتراق سوف ينتقل إلى الهواء المحيط، وتختلف كمية الحرارة الناتجة من 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.

### الفكرة الرئيسية:

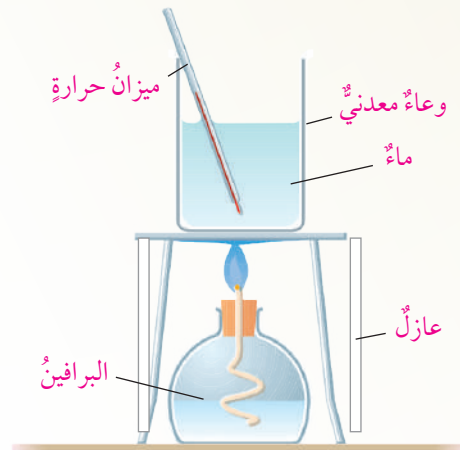
تبادل المواد الطاقة في ما بينها وبين الوسط المحيط؛ تبعاً لطبيعتها واختلاف درجة حرارتها.

### نتائج التعلم:

- أحسب كمية الطاقة التي تمتصها أو تصدرها المادة.
- أجري تجارب عملية حول الطاقة الممتصة والمنبعثة من المادة.

### المفاهيم والمصطلحات:

Heat Capacity	السعة الحرارية
Specific Heat	الحرارة النوعية
Calorimetr	المُسعر



الشكل (8): قياس الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود.

## السعة الحرارية Heat Capacity

عند تعريض المادة للحرارة، فإنها تمتص كمية من الحرارة وترتفع درجة حرارتها، وتسمى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة درجة سلسيوس واحدة: **السعة الحرارية Heat Capacity**، يُرمز إليها بالحرف (C)، وهي تعتمد على كتلة المادة ومقدار التغير في درجة حرارتها، وتُقاس بوحدة جول/ درجة سلسيوس ( $J/^\circ C$ )، 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 ( $J/^\circ C$ )

$\Delta t$ : التغير في درجة الحرارة (درجة الحرارة النهائية  $t_2$  - درجة

الحرارة الابتدائية  $t_1$ ) ( $\Delta t = t_2 - t_1$ )

## الحرارة النوعية Specific Heat

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

### الربط بالعلوم الحياتية

الحرارة النوعية للماء والعلوم الحياتية: تُقدّر الحرارة النوعية للماء بحوالي ( $4.18 J/g \cdot ^\circ C$ ) وبهذا يُعد 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 إلى مياه البحار والمحيطات التي تتعرض لأشعة الشمس بشكل كبير فإن درجة حرارتها لا تتأثر كثيراً، ولا ترتفع درجة حرارتها بشكل كبير؛ فيجعلها بيئة مناسبة لحياة كثير من الكائنات البحرية التي تعيش في هذه المياه سواء الأسماك بأنواعها أم النباتات.

وعلى سبيل المثال: عند تسخين وعاءٍ من الحديد أو الألمنيوم -يحتوي على كميةٍ من الماء- مدةً وجيزةً يلاحظُ أنّ درجة حرارة طرف الوعاء البعيد عن الماء ترتفعُ بدرجةٍ أعلى بكثيرٍ من درجة حرارة الماء داخله. والسببُ في ذلك هو أنّ الحرارة النوعية للفلزات بصفةٍ عامةٍ أقلُّ بكثيرٍ من الحرارة النوعية للماء؛ فتكتسبُ بذلك حرارةً أكبر بكثيرٍ مما يكتسبه الماء. ويبيّن الجدول (1) قيم الحرارة النوعية لكثيرٍ من المواد عند درجة حرارة (25°C).

### قياس الحرارة النوعية للمادة

### Measuring the Specific Heat of A Substance

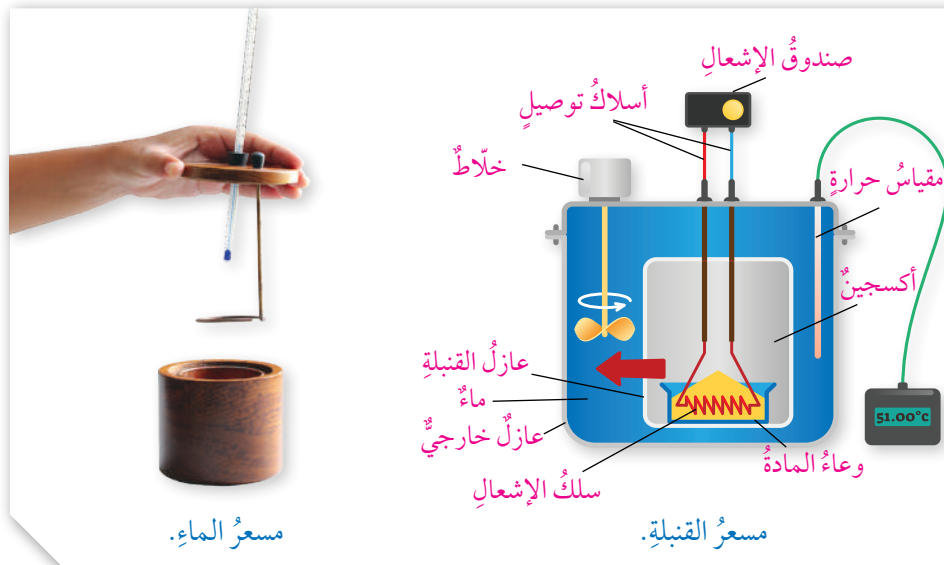
يُستخدمُ لقياس الحرارة النوعية للمادة جهازٌ يُسمى **المُسعِر** Calorimetr، وهو وعاءٌ معزولٌ حراريًا، يُستخدمُ لقياس كمية الطاقة الممتصة أو المنبعثة من تفاعلٍ كيميائيٍّ أو تحوّلٍ فيزيائيٍّ، حيثُ توضعُ فيه كميةٌ معلومةٌ من الماء تعملُ على امتصاص الحرارة الناتجة من التفاعل أو تزويد التفاعل بالحرارة اللازمة، ويمكنُ قياسُ التغير في درجة حرارة الماء؛ لأنها تمثلُ التغير في درجة حرارة التفاعل، وبذلك يمكنُ قياسُ الحرارة الممتصة أو المنبعثة وقياسُ الحرارة النوعية. وللمُسعِر أنواعٌ وأشكالٌ متعددة، مثلُ: مُسعِر القنبلة، ومُسعِر الماء، ومُسعِر الثلج، ومُسعِر التكثيف وغيرها. ويبيّن الشكل (9) مُسعِر القنبلة ومُسعِر الماء.

الجدول (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
المغنيسيوم	1.02
الألمنيوم	0.89
الكالسيوم	0.65
الحديد	0.45
النحاس	0.38
الفضة	0.24
الذهب	0.13

أيُّهما أكبر: الحرارة النوعية للماء أم للفلزات؟

**أفكر:** لماذا تبقى درجة حرارة جسم الإنسان السطحية ثابتة تقريبًا (37°C) على الرغم من تعرضه لتقلبات الحرارة اليومية؟



الشكل (9): مُسعِر قنبلة ومُسعِر الماء.

## الربط بعلوم الأرض: نسيم البرّ ونسيم البحر

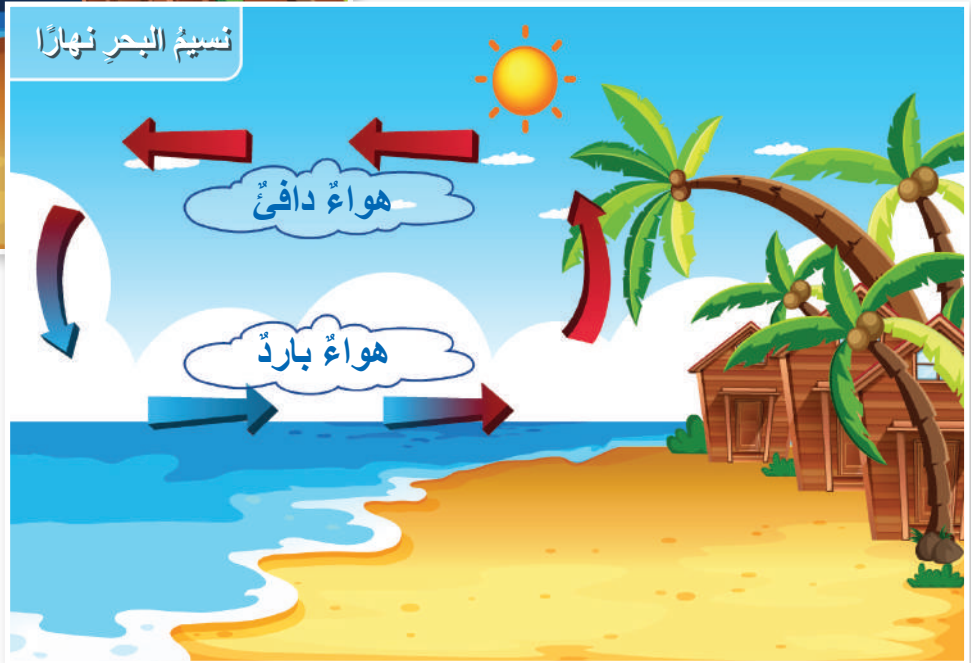
يحدثُ نسيمُ البحرِ بسببِ اختلافِ تسخينِ أشعةِ الشمسِ لكلِّ من ماءِ البحرِ، واليابسةِ المجاورة، وحيثُ إنّ الحرارةَ النوعيةَ لليابسةِ أقلُّ من الحرارةِ النوعيةِ للماءِ؛ فإنَّ اليابسةَ تمتصُّ كميةً من الحرارةِ أكثرَ من التي يمتصُّها الماءُ، وتسخُنُ بسرعةٍ أكبرَ من الماءِ، ويسخُنُ الهواءُ فوقَ اليابسةِ بسرعةٍ أكبرَ من ذلكَ الموجودِ فوقَ الماءِ، ويرتفعُ إلى الأعلى، ويسببُ انخفاضًا في الضغطِ الجويِّ فوقَ اليابسةِ معَ بقاءِ الهواءِ الذي فوقَ الماءِ أقلَّ حرارةً، وأكثرَ كثافةً، وأكثرَ ضغطًا؛ فيندفعُ نحوَ اليابسةِ تياراتٌ هوائيةٌ تُسمّى نسيمَ البحرِ، ويحدثُ ذلكَ عادةً في أثناءِ النهارِ أيامَ الصيفِ والربيعِ.

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

### نسيمُ البرِّ ليلاً



### نسيمُ البحرِ نهاراً



## حساب كمية الحرارة الممتصة أو المنبعثة

### Calculate Quantity of Heat Absorbed or Emitted

عرفتُ في ما سبق أنَّ الحرارة النوعية للفلزات أقلُّ منها للماء، وهذا يشيرُ إلى أنَّ قدرة الفلزات على امتصاص الحرارة وتوصيلها أكبرُ بكثيرٍ من قدرة الماء، فمثلاً، عند تعريض كتلة من الماء وقطعة من الحديد أو الألمنيوم لهما الكتلة نفسها لأشعة الشمس مدةً محددةً، نجدُ أنَّ قطعة الحديد أو الألمنيوم ترتفعُ درجة حرارتها أضعافَ ما ترتفعُ إليه كتلة الماء، وهذا يعني أنَّها تمتصُ كميةً من الحرارة أكبرَ من تلك التي تمتصها كتلة الماء، أي أنَّ كمية الحرارة الممتصة تعتمدُ على الحرارة النوعية للمادة، والتغيرُ في درجة الحرارة، وكتلة المادة. ويمكنُ حسابُ كمية الحرارة التي تمتصها المادة نتيجة تعرضها للحرارة من العلاقة الآتية:

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

حيثُ:

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

## المثال 1

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

تحليلُ السؤالِ (المعطياتُ):

الحلُّ:

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

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

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

المطلوبُ: حسابُ كمية الحرارة الممتصة q

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

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

## المثال 2

سُخِّنتُ قطعةً من الحديدِ كتلتها (50 g) 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

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

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

ألاحظ 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 ستخذ إشارة سالبة، وهذا يعني أن الحرارة منبعثة من المادة.

## المثال 3

وُضِعَتْ قطعة من النحاس كتلتها (5 g) 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

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

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

✓ أتتحقق:

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

## التجربة 2

### قياس الحرارة النوعية للنحاس

#### المواد والأدوات:

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

#### إرشادات السلامة:

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

#### 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. **أقيس:** 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:** أسجل البيانات والقياسات، وأنظمها في جدول.

#### التحليل والاستنتاج:

- 1- **أحسب:** التغير في درجة حرارة الماء في كأس البوليسترين بعد إضافة الكرة النحاسية إليه. ماذا أستنتج؟
- 2- **أحسب:** 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- **أقارن:** أطابق النتيجة التي حصلت عليها مع القيمة المسجلة في الجدول، ثم أفسر سبب الاختلاف إن وُجد.



## أبحثُ

يهتمُّ اختصاصيو التغذية بحسابِ السعراتِ الحرارية اللازمة للجسم؛ من أجلِ بناءِ نظامٍ غذائيٍّ متوازنٍ، فكيف تُحسبُ كميةُ الحرارةِ والسعراتُ الحراريةُ للموادِّ الغذائيةِ المختلفةِ؟ مستعيناً بالكلماتِ المفتاحيةِ الآتية: (السعراتُ الحراريةُ، النظامُ الغذائيُّ، السعراتُ الحراريةُ في الموادِّ الغذائيةِ، إنقاصُ الوزنِ، زيادةُ الوزنِ) أبحثُ عن طرائقِ حسابِ السعراتِ الحراريةِ للأطعمةِ المختلفةِ، وأكتبُ تقريراً بذلك، أو أصممُ عرضاً تقديمياً حولَ الموضوعِ، وأعرضه على زملائي / زميلاتي في الصفِّ.

## مراجعةُ الدرسِ

- 1- الفكرةُ الرئيسةُ: أوضح أثر تبادل المواد للطاقة مع الوسط المحيط.
- 2- ما المقصودُ بكلِّ من:
  - السعة الحرارية؟
  - الحرارة النوعية؟
- 3- **أفسر:** عندَ تعرضِ الفلزاتِ لأشعةِ الشمسِ في أيامِ الصيفِ الحارَّةِ ترتفعُ درجاتُ حرارتها ارتفاعاً متفاوتاً.
- 4- **أستخدمُ الأرقامَ:**
  - أ) أحسبُ كميةَ الحرارةِ الناتجةِ من تبريدِ (100 g) ماءٍ من (85°C) إلى (40°C).
  - ب) أحسبُ كميةَ الحرارةِ اللازمةِ لرفعِ درجةِ حرارةِ (100 g) إيثانول من (15°C) إلى (350°C).
- 5- **أستخدمُ الأرقامَ:** أحسبُ الحرارةَ النوعيةَ لمادةِ الغرانيت؛ إذا امتصتُ قطعةً منه كتلتها (200 g) كميةً من الحرارةِ مقدارها (3212 J)؛ عندَ رفعِ درجةِ حرارتها بمقدارِ (20°C).
- 6- **أفسر:** وُضِعَت ثلاثُ صفائحٍ متماثلةٍ في الكتلةِ من النحاسِ، والألمنيومِ، والحديدِ تحتَ أشعةِ الشمسِ في أحدِ أيامِ الصيفِ الحارَّةِ؛ بحيثُ تكتسبُ جميعها كميةَ الطاقةِ الحراريةِ نفسها، ونُقِلَت هذه الصفائحُ إلى ثلاثةِ مسعراتٍ تحوي كميةً متماثلةً من الماءِ عندَ درجةِ حرارةِ الغرفةِ، فأَيُّ هذه المسعراتِ تصبحُ درجةُ حرارةِ الماءِ فيه أكبرَ ما يمكنُ؟ أدعمُ إجابتي بالمبرراتِ.

# حسابات الطاقة في التفاعلات الكيميائية

Energy Calculations in Chemical Reactions

3

الدرس

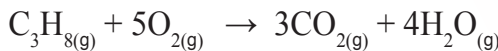
## حساب التغير في المحتوى الحراري

### Calculate Enthalpy Change

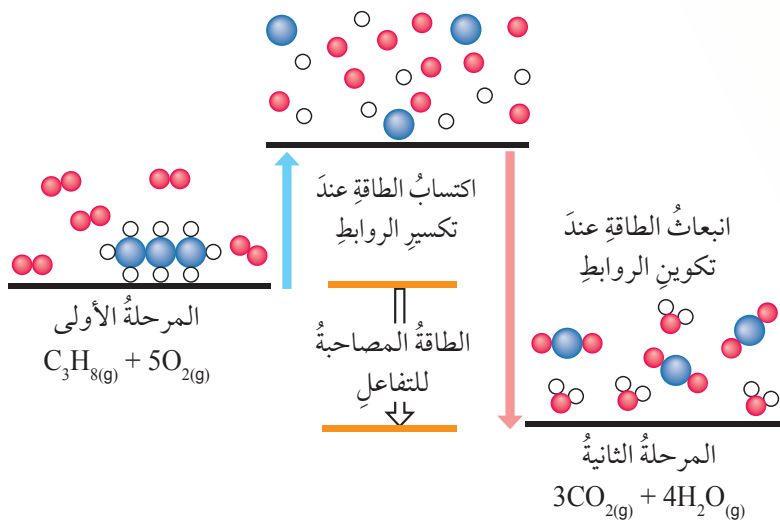
تختلف التفاعلات في آليات حدوثها وسرعتها؛ فبعضها يحدث في ظروف صعبة لا يمكن توافرها في المختبر، وبعضها قد يستغرق حدوثه زمناً طويلاً، فيصعب قياس حرارة التفاعل بالمسعر والطرائق التقليدية؛ لذلك يلجأ الكيميائيون إلى استخدام طرائق نظرية لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل. وسوف أتعرّف بعض هذه الطرائق.

### 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؛ فيتطلب 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 يمرُّ بمرحلتين أساسيتين، كما في الشكل (10).



### الفكرة الرئيسة:

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

### نتائج التعلم:

- أوضح مفهوم طاقة الرابطة.
- أحسب الحرارة المرافقة للتفاعل باستخدام قيم طاقة الرابطة.
- أطبق قانون هيس لحساب المحتوى الحراري للتفاعل.
- أحسب كمية الحرارة المرافقة لتفاعل كتلة معينة من المادة باستخدام المعادلة الموزونة.

### المفاهيم والمصطلحات:

القيمة الحرارية للوقود

Thermal Fuel Value

Bond Energy طاقة الرابطة

Hess's Law قانون هيس

حرارة التكوين القياسية

Standard Enthalpy of Formation

المعادلة الكيميائية الحرارية

The Thermochemical Equation

الشكل (10): مراحل

احتراق البروبان.



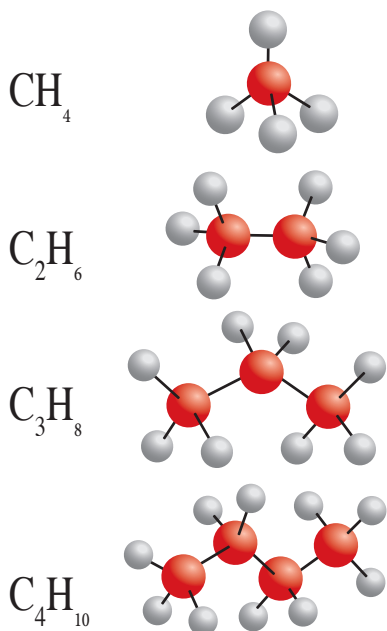
أصمّم باستخدام  
برنامج السكراتش (Scratch)  
عرضاً يوضّح مراحل تفاعل  
احتراق البروبان، ثمّ أشاركه  
زملائي/زميلات في الصفّ.

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

أمّا في المرحلة الثانية فتكون 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؛ ذلك أنّ 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

ألاحظ أنه بزيادة عدد ذرات الكربون في الألكان تزداد كتلته المولية، وبذلك تزداد كمية الطاقة الناتجة من احتراقها. وتسمى كمية الحرارة الناتجة من حرق غرام واحد من الوقود حرقاً تاماً بوجود الأكسجين **القيمة الحرارية للوقود Thermal Fuel Value**.

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

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

الجدول (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	391	393	163						
O	463	358	201	146					
S	339	259	-----	--	266				
F	567	485	272	190	327	159			
Cl	431	328	200	203	253	253	242		
Br	366	276	243	-----	218	237	218	193	
I	299	240	--	234	--	---	208	175	151
روابط متعددة									
C=C	614	C=N	615	N=N	418				
C≡C	839	C≡N	891	C=O	804	(in CO <sub>2</sub> )			
C=O	1076	N=O	607	S=O	323				
NEN	945	O=O	498	S=S	418				

وتجددُ الإشارةُ هنا إلى أنَّ كميةَ الطاقةِ اللازمةِ لكسرِ الرابطةِ (طاقةِ الرابطةِ) تساوي كميةَ الطاقةِ الناتجةِ عندَ تكوينِها، وكذلك تجددُ الإشارةُ إلى أنَّ طاقةَ الروابطِ في الموادِّ الناتجةِ تكونُ سالبةً بسببِ انبعاثِ الطاقةِ عندَ تكوينِ الرابطةِ، وتبينُ العلاقةُ الآتيةُ كيفيةَ احتسابِ الحرارةِ المرافقةِ للتفاعلِ ( $\Delta H$ ):

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

ويمكنُ إعادةُ ترتيبِ هذهِ العلاقةِ لتصبحَ:

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

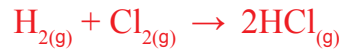
$\sum BE_{re}$ : مجموعُ طاقةِ الروابطِ التي يتمُّ تكسيروها في الموادِّ المتفاعلةِ.

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

والأمثلةُ الآتيةُ توضحُ كيفيةَ احتسابِ حرارةِ التفاعلِ باستخدامِ طاقةِ الرابطةِ:

## المثالُ 4

يتكوَّنُ غازُ كلوريدِ الهيدروجينِ وفقاً للمعادلةِ الآتيةِ:



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

تحليلُ السؤالِ: (المعطياتُ)

ألاحظُ أنَّ هناكَ رابطةً أحاديةً بينَ ذرتي الكلورِ (Cl - Cl) وأنَّ رابطةً أحاديةً كذلكَ بينَ ذرتي الهيدروجينِ (H - H) في الموادِّ المتفاعلةِ، وأنَّ هناكَ جزيئينِ من (HCl)، كلُّ جزيءٍ منها يحتوي على رابطةٍ أحاديةٍ (H - Cl).

أيُّ أنَّ عددَ الروابطِ (H - Cl) = 2 × 1 = 2

الحلُّ:

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

الإشارةُ السالبةُ لحرارةِ التفاعلِ تشيرُ إلى أنَّ التفاعلَ طاردٌ للحرارةِ.

## المثال 5

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

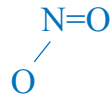


باستخدام الجدول (3) الذي يمثل طاقات الروابط؛ أحسب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل.

تحليل السؤال:

ألاحظ أنه في المواد المتفاعلة يوجد جزيء  $(\text{N}_2)$  الذي يحتوي على رابطة ثلاثية بين ذرتي النيتروجين  $(\text{N}\equiv\text{N})$  بالإضافة إلى جزيئين من الأكسجين، يحوي كل منهما رابطة ثنائية بين ذرتي الأكسجين  $(\text{O}=\text{O})$

أما في المواد الناتجة، فهناك جزيئان من  $(\text{NO}_2)$  يحتوي كل منهما على رابطة ثنائية مع إحدى ذرات الأكسجين  $(\text{N}=\text{O})$ ، وعلى رابطة أحادية مع الذرة الأخرى  $(\text{N}-\text{O})$



فيكون هناك رابطتان  $(\text{N}=\text{O})$  ورابطتان  $(\text{N}-\text{O})$  في النواتج

الحل:

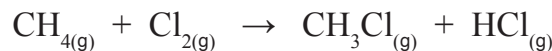
$$\begin{aligned} \Delta H &= \sum \text{BE}_{\text{re}} - \sum \text{BE}_{\text{pr}} \\ &= 1 \times (\text{N}\equiv\text{N}) + 2 \times (\text{O}=\text{O}) - (2 \times (\text{N}=\text{O}) + 2 \times (\text{N}-\text{O})) \\ &= 1 \times 945 + 2 \times 498 - (2 \times 607) + (2 \times 201) \\ &= 1941 - 1616 = + 325 \text{ kJ} \end{aligned}$$

ألاحظ أن الإشارة الموجبة لحرارة التفاعل تشير إلى أن التفاعل ماص للحرارة.

✓ أتتحقق:

بالاعتماد على جدول طاقات الروابط (3): أحسب تغير المحتوى الحراري للتفاعلين الآتيين، وأصنفها إلى ماصة، وأخرى طاردة للحرارة:

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



(2) تحلل الماء وفق المعادلة الآتية:



## قانون هيس Hess's Law



جيرمان هنري هيس

يحدث كثيرٌ 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 أن التغيير في المحتوى الحراري يساوي مجموع التغيرات الحرارية لخطوات حدوث التفاعل سواءً أحدث 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 الغرافيت (C) مع الأكسجين لتكوين أول أكسيد الكربون كما في المعادلة الآتية:



عند إجراء التفاعل، 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:



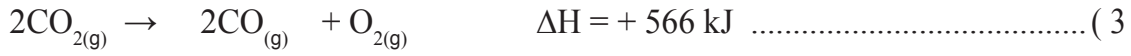
باستخدام المعادلتين (2،1) أحسب حرارة التفاعل.

تحليل السؤال:

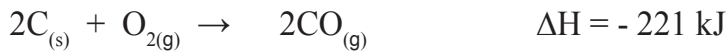
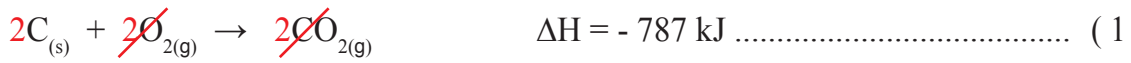
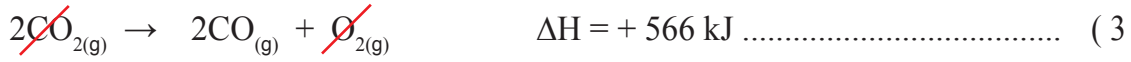
لحساب حرارة التفاعل يجب إعادة تنظيم التفاعلين لنحصل عند جمعهما على المعادلة النهائية للتفاعل، وحيث إن الناتج النهائي للتفاعل يتضمن أول أكسيد الكربون (CO)، ولا بد أن يظهر في النواتج عند جمع المعادلتين، ولذلك نعكس المعادلة (2) ونعكس إشارة (ΔH) ونضرب المعادلة في (2) للتخلص من الكسر في المعادلة؛ لتصبح على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



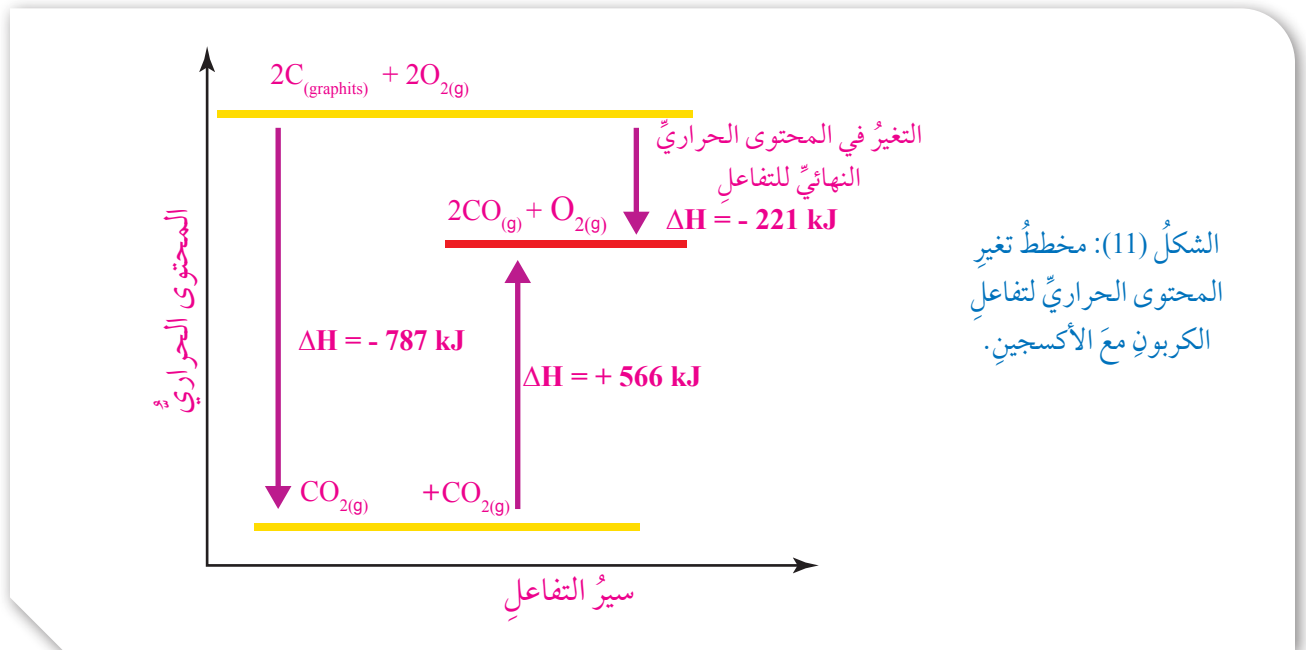
يصبح لدينا المعادلتان على النحو الآتي:



ألاحظ أن المركب (CO<sub>2</sub>) لا يظهر في معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في المحتوى الحراري له، لذلك يجب التخلص منه عند جمع المعادلتين، وعليه، يجب أن تكون أعداد مولاته متساوية في المعادلتين لأتمكّن من اختصاره، فأضرب المعادلة (1) في (2)، وأجمع المعادلتين (1) و (3) مع مراعاة اختصار الصيغ المتماثلة على جانبي المعادلتين، وأحصل 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، ويبيّن الشكل (11) مخطط التغير في المحتوى الحراري لتفاعل الغرافيت مع الأكسجين.



## المثال 7

يتفاعل الأكسجين مع غاز كلوريد الهيدروجين؛ وفق المعادلة الآتية:



أستخدم المعادلتين الآتيتين لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل:



تحليل السؤال: (المعطيات):

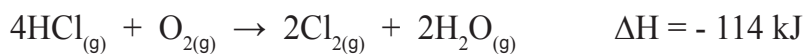
ألاحظ أن المعادلة المطلوبة لا تتضمن المركب HCl في المواد الناتجة، وإنما يوجد في المواد المتفاعلة؛ لذلك أعكس المعادلة (1)، وأعكس إشارة ( $\Delta H$ )؛ لتصبح المعادلة كما يأتي:



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



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



يتضح من المثالين السابقين أنه يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل باستخدام قانون هيس، بحساب مجموع التغيرات في المحتوى الحراري للتفاعلات التي تمثل خطوات حدوث التفاعل، أي أن:

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

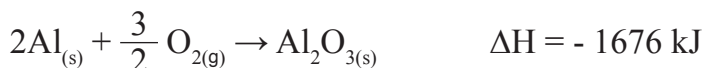
وكذلك حرارة التفاعل الكلية تساوي مقداراً ثابتاً، بغض النظر عن خطوات حدوث التفاعل.

✓ **أتحقق:**

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



أستخدم المعادلتين الآتيتين لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل:



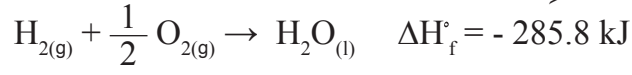
### حرارة التكوين القياسية ( $\Delta H_f^\circ$ )

#### Standard Enthalpy of Formation

يقصد **بحرارة التكوين القياسية** Standard Enthalpy of Formation:

التغير في المحتوى الحراري الناتج من تكوين مول واحد من المركب من عناصره الأساسية. وتشير الحالة القياسية إلى قياس التغير في المحتوى الحراري في الظروف القياسية؛ حيث يكون التركيز (1mol/L) ودرجة الحرارة  $25^\circ C$  وعند ضغط (1atm)، تُستخدم حرارة التكوين القياسية في حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل. 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 kJ/mol)، وهذه الطاقة تمثل حرارة التكوين القياسية للماء، ويُرمز إليها بالرمز ( $\Delta H_f^\circ$ ).

ويمكن التعبير عن التفاعل بالمعادلة الآتية:



وبين 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 بالرمز  $(\Delta H^\circ)$ ، الذي يساوي مجموع حرارة التكوين القياسية لجميع المركبات في التفاعل، يُلاحظ أن حرارة التكوين القياسية لمعظم المركبات 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:

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

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، مقبسةً 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	$\text{HNO}_{3(\text{aq})}$	-207.4
$\text{C}_2\text{H}_{6(\text{g})}$	-84.7	$\text{H}_2\text{O}_{2(\text{l})}$	-187.6	$\text{CCl}_{4(\text{l})}$	-139

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

## المثالُ 8

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



تحليلُ السؤالِ (المعطياتُ):

بالرجوعِ إلى الجدولِ أجدُ 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 أضربُ حرارةَ تكوينِ المركبِ بعددِ مولاته في المعادلةِ الآتية:

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

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

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

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

✓ **أتحقَّقُ:**

باستخدامِ جدولِ حرارةِ التكوينِ القياسية، 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 (890kJ) كما يأتي:



بالتدقيق في المعادلة الكيميائية الحرارية، أجد أن احتراق مول من الميثان ( $\text{CH}_4$ ) حيث كتلته المولية (16 g) احتراقاً تاماً بوجود (2) مول من الأكسجين ينتج ما مقداره (890kJ) من الحرارة، ويعني ذلك أنه ينتج من احتراق مولين من الميثان كتلتهم (32 g) ما مقداره (890 × 2 = 1780kJ)، وعليه، 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 (128 g) من الميثان بوجود كمية كافية من الأكسجين، فأحسب كمية الحرارة المرافقة للتفاعل؛ علماً بأن الكتلة المولية للميثان تساوي (16 g/mol).

### تحليل السؤال: المعطيات

بالرجوع إلى المعادلة الموزونة أجد أن احتراق مول من الميثان ( $\text{CH}_4$ ) ينتج (890 kJ)، ولأن المطلوب حساب كمية الحرارة الناتجة من احتراق (128 g) من الميثان، فإنني أحول هذه الكتلة إلى مولات كما يأتي:

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

ثمَّ علَيَّ حسابُ النسبة المولية للمادة (CH<sub>4</sub>) بقسمة عددِ مولاتها في التفاعلِ (n<sub>r</sub>) على عددِ مولاتها في المعادلةِ (n<sub>e</sub>).

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

ثمَّ أحسبُ كميةَ الحرارة الناتجة (q) منها بضربِ النسبة المولية في كمية الحرارة المرافقة للتفاعل (ΔH).

$$q = 8 \times \Delta H = 8 \times 890 = 7120 \text{ kJ}$$

## المثال 10

يُحضَّرُ أكسيدُ الكالسيومِ CaO من تحللِ كربوناتِ الكالسيومِ CaCO<sub>3</sub> بالحرارة؛ وفق المعادلة الحرارية الآتية:



أحسبُ كميةَ الحرارة اللازمة لتحليلِ (150 g) من كربوناتِ الكالسيومِ بشكلٍ كاملٍ؛ علمًا بأنَّ الكتلة المولية لكربوناتِ الكالسيومِ تساوي (100 g/mol).

تحليلُ السؤالِ: المعطياتُ

بالرجوع إلى المعادلة الموزونة أجدُ أنَّ تحللَ مولِ كربوناتِ الكالسيومِ CaCO<sub>3</sub> يُنتجُ (178 kJ) وحيثُ إنَّ المطلوبَ حسابُ كمية الحرارة اللازمة لتحليلِ (150 g) من كربوناتِ الكالسيومِ CaCO<sub>3</sub> فإنَّني أحوِّلُ هذه الكتلة إلى مولاتٍ كما يأتي:

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

ثمَّ أحسبُ النسبة المولية للمادة (CaCO<sub>3</sub>) بقسمة عددِ مولاتِ المادةِ (n<sub>r</sub>) على عددِ مولاتها في المعادلةِ (n<sub>e</sub>).

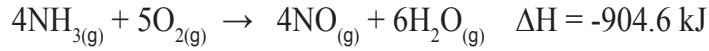
$$\frac{n_r}{n_e} = \frac{1.5}{1} = 1.5$$

ثمَّ أحسبُ كميةَ الحرارة الناتجة (q) منها بضربِ النسبة المولية في كمية الحرارة المرافقة للتفاعل (ΔH).

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

✓ **أتحقق:**

1) يُحضَّر أكسيد النيتروجين (NO) باحتراق الأمونيا بوجود الأوكسجين؛  
وفق المعادلة الحرارية الآتية:



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

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



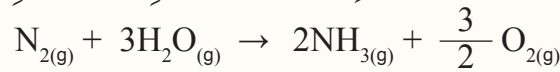
إذا احترق (30 g) من الإيثانول بوجود كمية كافية من الأوكسجين فأحسب كمية الحرارة المرافقة للتفاعل. علماً بأن الكتلة المولية للإيثانول تساوي (46g/mol).

## مراجعة الدرس

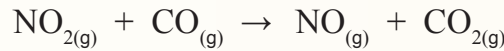
1- الفكرة الرئيسة: أوضح طرائق حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل.

2- ما المقصود بكل من: طاقة الرابطة، وحرارة التكوين القياسية؟

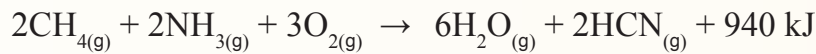
3- **أستخدم الأرقام:** أحسب حرارة التفاعل الآتي باستخدام جدول قيم الرابطة:



4- **أستخدم الأرقام:** أحسب حرارة التفاعل الآتي، باستخدام جدول قيم التكوين القياسية:



5- **أستخدم الأرقام:** أحسب: يُحضَّر سيانيد الهيدروجين (HCN) وفق المعادلة الآتية:

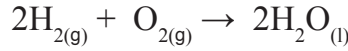


إذا أنتج 20 g من سيانيد الهيدروجين، فأحسب الطاقة المرافقة للتفاعل؛ علماً

أن الكتلة المولية لـ (HCN) = 27g/mol

## الهيدروجين وقودًا Hydrogen as Fuel

يعدُّ تفاعل احتراق الهيدروجين بوجود الأكسجين من التفاعلات الأكثر إنتاجًا للطاقة بين المواد فهو من التفاعلات الطاردة للطاقة؛ حيث يحترق الهيدروجين وفقًا للمعادلة الآتية:



فعند احتراق (2g) من الهيدروجين يُنتج الهيدروجين طاقةً حراريةً مقدارها (286 kJ)، وهذه الكمية من الطاقة كبيرة مقارنةً بما تُنتجه الكمية نفسها من أنواع الوقود الأخرى؛ لذلك يُستخدم الهيدروجين وقودًا في الصواريخ الفضائية والغواصات، وحيث إنَّ احتراق الهيدروجين لا يرافقه إنتاج أيِّ من أنواع الغازات السامة؛ فهو يُعدُّ من الوقود النظيف. ويبين الجدول (5) كمية الطاقة الناتجة من احتراق غرام واحدٍ لعددٍ من أنواع الوقود المختلفة.

الجدول (5): كمية الطاقة الناتجة من احتراق غرام واحد من بعض أنواع الوقود

الوقود	كمية الطاقة الناتجة (kJ/g)
الهيدروجين	143
الميثان	55
الأوكتان (المكون الرئيس للنفط)	44
الغلوكوز	16



ويبين الجدول (6) مزايا استخدام الهيدروجين كونه وقود احتراق، وعيوبه في السيارات:

الجدول (6): مزايا استخدام الهيدروجين وقود احتراق في السيارات، وعيوب ذلك الاستخدام

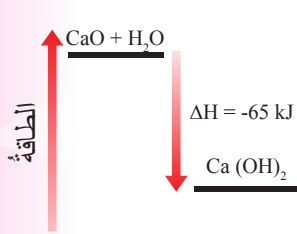
مزايا استخدام الهيدروجين	عيوب استخدام الهيدروجين
إنتاج كمية كبيرة من الطاقة لكل غرام مقارنةً بأنواع الوقود الأخرى.	كثافة الهيدروجين السائل تعادل عُشر كثافة البنزين؛ لذلك تحتاج المركبات التي تستخدم الهيدروجين إلى خزانات وقود أكبر بكثير من تلك التي تستخدم البنزين أو الديزل.
لا يرافقه احتراقه انبعاث للغازات 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 وقودًا.

**ابحث** مستعينًا بالكلمات المفتاحية الآتية: (خلية الهيدروجين، الهيدروجين وقودًا، كيفية عمل خلية الهيدروجين) عن كيفية عمل خلية الهيدروجين في إنتاج الطاقة، وأكتب تقريرًا بذلك، وأناقشه مع زملائي/ زميلاتي، أو أصمم عرضًا تقديميًا، وأعرضه عليهم.

## مراجعة الوحدة

1. أوضِّح المقصودَ بالمصطلحاتِ والمفاهيم الآتية:

- تغييرُ المحتوى الحراريِّ.
- التفاعلُ الماصُّ للحرارة.
- طاقةُ التجمدِ المولية.
- طاقةُ التسامي المولية.
- الحرارة النوعية.
- حرارةُ التكوينِ القياسية.
- القيمةُ الحراريةُ للوقود.



2. المخططُ المجاورُ يمثلُ تفاعلَ أكسيد الكالسيوم مع الماءِ لإنتاج هيدروكسيد

الكالسيوم، أدرُس المخططَ وأجيبُ عن الأسئلة الآتية:

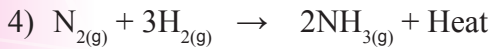
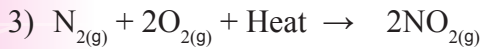
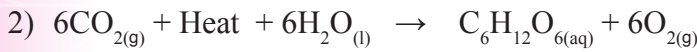
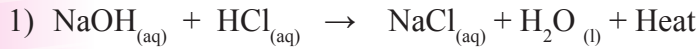
أ. هل التفاعلُ ماصٌّ أم طاردٌ للحرارة؟

ب. أيُّهما أكثرُ الطاقةَ اللازمةً لكسرِ الروابطِ في الموادِّ المتفاعلةِ أم الطاقةُ المنبعثةُ

عندَ تكوينِ النواتجِ؟

ج. أكتبُ معادلةً كيميائيةً حراريةً تمثلُ التفاعلَ.

3. أدرُس التفاعلاتِ الآتية، وأجيبُ عن الأسئلة التي تليها:



أ. أحددُ التفاعلَ الطاردَ للطاقة، والتفاعلَ الماصِّ لها.

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

ج. **أستنتج** أيُّها يكونُ فيه المحتوى الحراريُّ للموادِّ المتفاعلةِ أكبرَ منَ المحتوى الحراريِّ للموادِّ الناتجةِ.

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

4. **أفسرُ** ما يأتي:

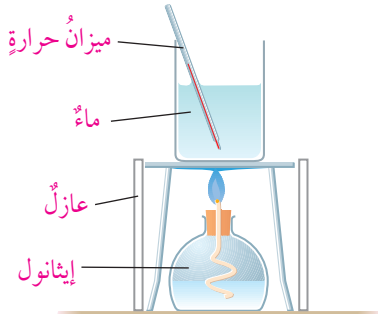
أ. تعدُّ عمليةُ التبخرِ تحولاً فيزيائياً ماصّاً للطاقة، وعمليةُ التجمدِ تحولاً فيزيائياً طارداً للطاقة.

ب. طاقةُ التسامي الموليةُ أكبرُ منَ طاقةِ التبخرِ الموليةِ.

5. **أستخدمُ الأرقامَ**. إذا كانَ المحتوى الحراريُّ للموادِّ الناتجةِ لتفاعلٍ ما (90 kJ)، وللموادِّ المتفاعلةِ (10 kJ)، فكَمْ

يكونُ التغيُّرُ في المحتوى الحراريِّ للتفاعلِ؟ وما إشارتهُ؟

## مراجعة الوحدة



قياس الحرارة الناتجة من احتراق الوقود.

6. نفذ مجموعة من الطلبة تجربة لقياس الطاقة المنبعثة من حرق أنواع مختلفة من الوقود السائل في المشعل، بتسخين 200 mL 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 1 g من الوقود المحترق
الإيثانول	1.1	32	
البارافين	0.9	30	
بنزان	1.5	38	
أوكتان	0.5	20	

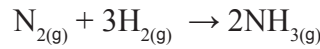
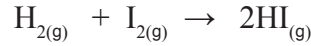
- من وجهة نظري، كيف توصل الطلبة إلى حساب مقدار الوقود الذي حرق في كل تجربة؟
- أكمل العمود الأخير من الجدول بحساب الارتفاع في درجة حرارة الماء الناتج من حرق 1 g من الوقود.
- ما الوقود الذي أنتج أعلى ارتفاع في درجة الحرارة لكل 1 g تم حرقه؟
- أصف: إذا تكررت تجربة الأوكتان باستخدام 400 mL من الماء في العلبة المعدنية؛ فما الارتفاع المتوقع في درجة الحرارة تقريباً؟ أصف كيف توصلت إلى إجابتي.
- أفسر: استخدمت مجموعة أخرى من الطلبة دورقاً زجاجياً بدلاً من العلبة المعدنية في تجاربهم. أية مجموعة من الطلبة ستحصل على نتائج أكثر دقة؟
- أفسر: قياس تغيرات الطاقة عند حرق الوقود في المصباح الكحولي (Spirit Lamp) لا يعطي نتائج دقيقة للغاية.

7. يحترق مول من الميثان ( $CH_4$ ) بوجود كمية وافرة من الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) والماء ( $H_2O$ )، وينتج من ذلك كمية من الحرارة مقدارها (890 kJ).

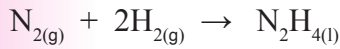
- أكتب معادلة كيميائية حرارية تعبر عن التفاعل.
  - أرسم مخططاً يبين تغير المحتوى الحراري للتفاعل.
8. **أستخدم الأرقام.** وعاء يحتوي على (40 g) من الماء درجة حرارته (حرارة الماء) ( $25^\circ C$ )، أحسب درجة حرارة الماء النهائية؛ إذا وضعت فيه قطعة من الألمنيوم كتلتها (25 g) ودرجة حرارتها ( $60^\circ C$ ).

## مراجعة الوحدة

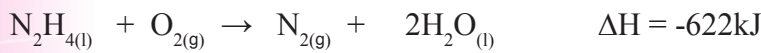
9. **أستخدم الأرقام.** أحسب الحرارة النوعية لمعدن مجهول، إذا وُضِعَتْ قطعةٌ منه كتلتها (20 g)، ودرجة حرارتها (70°C)، في (40 g) من الماء عند درجة حرارة (25°C)، فارتفعت درجة حرارة الماء بمقدار (3.5°C).
10. **أستخدم الأرقام.** أحسب كمية الحرارة اللازمة لتسخين قطعةٍ من النحاس كتلتها (15 g) من (22°C) إلى (60°C).
11. **أستخدم الأرقام.** أحسب حرارة التفاعل ( $\Delta H$ ) باستخدام طاقة الروابط للتفاعلين الآتيين:



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



علمًا بأن:

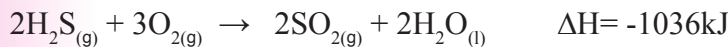


13. **أستخدم الأرقام.** يتكوّن رابع كلوريد الكربون ( $\text{CCl}_4$ ) بتفاعل غاز الميثان ( $\text{CH}_4$ ) مع غاز الكلور ( $\text{Cl}_2$ )، وفق المعادلة الآتية:



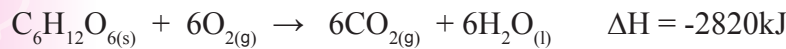
باستخدام حرارة التكوين القياسية للمركبات في التفاعل، أحسب حرارة التفاعل ( $\Delta H^\circ$ ).

14. **أستخدم الأرقام.** يحترق غاز كبريتيد الهيدروجين ( $\text{H}_2\text{S}$ ) بوجود كمية كافية من الأكسجين، وفق المعادلة الآتية:



أحسب كمية الحرارة الناتجة من احتراق (29.5 g) منه، علمًا أنّ الكتلة المولية لكبريتيد الهيدروجين = 34 g/mol.

15. **أستخدم الأرقام.** يحترق الغلوكوز في الجسم لإنتاج الطاقة اللازمة لقيام الخلايا بالوظائف المختلفة؛ وفق المعادلة الآتية:



فإذا كانت الطاقة التي يحتاج إليها لاعب كرة سلة خلال الساعة التدريبية الواحدة تساوي (2100 kJ)، فأحسب أقل كتلة من السكر يتم حرقها؛ إذا تدرّب اللاعب ساعتين، علمًا بأن الكتلة المولية للغلوكوز = (180 g/mol).

## مراجعة الوحدة

16. أختارُ رمزَ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ من الفقراتِ الآتية:

- 1 . يكونُ التغيرُ في المحتوى الحراريّ سالبًا عندما يكونُ:
  - أ . المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة مساويًا للمحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة.
  - ب. المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة أكبرَ من المحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة.
  - ج. المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة أقلَّ من المحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة.
  - د . المحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة أقلَّ من المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة.
- 2 . يكونُ التفاعلُ ماصًا للحرارة عندما:
  - أ . تفقدُ المادةُ الحرارةَ إلى الوسطِ المحيطِ.
  - ب. تكسبُ المادةُ الحرارةَ من الوسطِ المحيطِ.
  - ج. عندما تتعادلُ طاقةُ التفاعلِ مع الوسطِ المحيطِ.
  - د . عندما يكونُ التغيرُ في المحتوى الحراريّ سالبًا.
- 3 . زيادةُ درجة حرارة 1 g من المادةِ درجةً واحدةً سلسيوس تشيرُ إلى:
  - أ . التغيرِ في المحتوى الحراريّ.
  - ب. المحتوى الحراريّ للمادة.
  - ج. السعة الحرارية.
  - د . الحرارة النوعية.
- 4 . تشيرُ حرارة التفاعلِ الناتجِ من تكوينِ مولٍ واحدٍ من المركبِ من عناصره الأساسية إلى:
  - أ . طاقة الرابطة .
  - ب. حرارة التكوين القياسية.
  - ج. قانون هيس.
  - د . التغيرِ في المحتوى الحراريّ للتفاعل.
- 5 . يشيرُ قانونُ هيس إلى أن:
  - أ . حرارة التفاعلِ تعتمدُ على المسارِ الذي يسلكهُ التفاعلُ .
  - ب. حرارة التفاعلِ تعتمدُ على الخطوة الرئيسية لتكوين النواتج.
  - ج. حرارة التفاعلِ تمثلُ مجموع التغيراتِ الحرارية لخطواتِ حدوثِ التفاعلِ.
  - د . حرارة التفاعلِ تمثلُ الفرقَ بين مجموع طاقاتِ الروابطِ للموادّ المتفاعلةِ والموادّ الناتجة.

## مسرّد المصطلحات

- التغير في المحتوى الحراريّ (الإنتالبي) **Change in Enthalpy**: كمية الطاقة الحرارية 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**: تفاعل مادة ما (عنصر أو مركب) مع غاز الأكسجين ويصاحب التفاعل عمومًا 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 مركباته أو محاليله.
- تفاعل التحلل الحراريّ **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 of Formation**: التغير في المحتوى الحراريّ الناتج من تكوين مول واحد من المركب من عناصره الأساسية.
- الحرارة النوعية **Specific Heat**: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من المادة درجة واحدة سلسيوس عند ضغط ثابت.
- السعة الحرارية **Heat Capacity**: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة درجة واحدة سلسيوس.
- 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 المادة الصلبة عند درجة حرارة ثابتة إلى الحالة السائلة.
- طاقة التبخر المولية **Molar Evaporation Energy**: كمية الطاقة اللازمة لتحويل مول من المادة السائلة إلى غاز عند درجة حرارة معينة.
- طاقة التجمد المولية **Molar Freezing Energy**: كمية الطاقة الناتجة من تجمد مول من المادة السائلة عند درجة حرارة معينة.
- طاقة التكاثف المولية **Molar Condensing Energy**: كمية الطاقة المنبعثة عند تكاثف مول من الغاز عند درجة الغليان.

- طاقة الرابطة **Bond Energy**: كمية الطاقة اللازمة لكسر مول من الروابط بين ذرتين في الحالة الغازية.
- قانون حفظ الكتلة **Law of Conservation of Mass**: المادة لا تفنى ولا تُستحدث من العدم؛ لكنها تتحول من شكل إلى آخر. أي أن مجموع كتل المواد المتفاعلة يساوي مجموع كتل المواد الناتجة.
- قانون هيس **Hess's Law**: التغير في المحتوى الحراري للتفاعل يعتمد على طبيعة المواد المتفاعلة والناتجة، وليس على مسار حدوث التفاعل.
- القيمة الحرارية للوقود **Thermal Fuel Value**: كمية الحرارة الناتجة من حرق جرام واحد من الوقود حرقاً تاماً بوجود الأكسجين.
- الكتلة الجزيئية **Molecular Mass (Mm)**: مجموع الكتل الذرية النسبية للذرات الموجودة في الجزيء الذي ترتبط ذراته بروابط تساهمية مقيسة بوحدة  $\text{amu}$ .
- الكتلة الذرية النسبية **Relative Atomic Mass (Am)**: متوسط الكتل الذرية لنظائر ذرة عنصر ما.
- كتلة الصيغة **Formula Mass (Fm)**: مجموع الكتل الذرية للعناصر في وحدة الصيغة للمركب الأيوني.
- الكتلة المولية **Molar Mass**: كتلة المول الواحد من جسيمات المادة.
- المحتوى الحراري **Enthalpy**: كمية الطاقة المخزونة في مول 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.
- المُسعِر **Calorimetry**: وعاء معزول حرارياً، 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 المولية **Mole Ratio**: النسبة بين عدد مولات مادة إلى عدد مولات مادة أخرى.

## قائمة المراجع

### أولاً- المراجع العربية:

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

### ثانياً- المراجع الأجنبية:

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

