11

الجُزءُ الأوَّل

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

# الكيمياء

## العلمي والزراعي


فريق التأليف:

أ. فراس ياسين (منسقًا)
د. رائد معالي
أ. صالح الشلالفة
أ. جمال مسالمة
أ. ناصر عودة الله
أ. محمود المصري
أ. بهاء الدين ضاهر

**قررت وزارة التربية والتعليم في دولة فلسطين**

**تدريس هذا الكتاب في مدارسها بدءاً من العام الدراسي 2017/ 2018 م**

## الإشراف العام

| | |
|---|---|
| رئيس لجنة المناهج | **د. صبري صيدم** |
| نائب رئيس لجنة المناهج | **د. بصري صالح** |
| رئيس مركز المناهج | **أ. ثروت زيد** |
| مدير عام المناهج الإنسانية | **أ. علي مناصرة** |

الدائرة الفنية

| | |
|---|---|
| الإشراف الإداري | **أ. حازم عجاج** |
| التصميم الفني | **م. مهدي أبو علبة** |

| | |
|---|---|
| التحكيم العلمي | **أ.د. حكمت هلال** |
| التحرير اللغوي | **أ. رائد شريدة** |
| الرسومات | **أ. سالم نعيم** |
| المتابعة للمحافظات الجنوبية | **د. سمية نخّالة** |

**الطبعة الثانية**

2019 م/ 1440 هـ

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

**دولة فلسطين**

وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج

حي الماصيون، شارع المعاهد

ص. ب 719 – رام الله – فلسطين

pcdc.edu.ps | pcdc.mohe@gmail.com

mohe.ps | mohe.pna.ps | moehe.gov.ps

.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym

هاتف +970-2-2983280 | فاكس +970-2-2983250

# تـقـديـم

يتصف الإصلاح التربوي بأنه المدخل العقلاني العلمي النابع من ضرورات الحالة، المستند إلى واقعية النشأة، الأمر الذي انعكس على الرؤية الوطنية المطورة للنظام التعليمي الفلسطيني في محاكاة الخصوصية الفلسطينية والاحتياجات الاجتماعية، والعمل على إرساء قيم تعزز مفهوم المواطنة والمشاركة في بناء دولة القانون، من خلال عقد اجتماعي قائم على الحقوق والواجبات، يتفاعل المواطن معها، ويعي تراكيبها وأدواتها، ويسهم في صياغة برنامج إصلاح يحقق الآمال، ويلامس الأماني، ويرنو لتحقيق الغايات والأهداف.

ولما كانت المناهج أداة التربية في تطوير المشهد التربوي، بوصفها علمًا له قواعده ومفاهيمه، فقد جاءت ضمن خطة متكاملة عالجت أركان العملية التعليمية التعلمية بجميع جوانبها، بما يسهم في تجاوز تحديات النوعية بكل اقتدار، والإعداد لجيل قادر على مواجهة متطلبات عصر المعرفة، دون التورط بإشكالية التشتت بين العولمة والبحث عن الأصالة والانتماء، والانتقال إلى المشاركة الفاعلة في عالم يكون العيش فيه أكثر إنسانية وعدالة، وينعم بالرفاهية في وطن نحمله ونعظمه.

ومن منطلق الحرص على تجاوز نمطية تلقّي المعرفة، وصولًا لما يجب أن يكون من إنتاجها، وباستحضار واعٍ لعديد المنطلقات التي تحكم رؤيتنا للطالب الذي نريد، وللبنية المعرفية والفكريّة المتوخّاة، جاء تطوير المناهج الفلسطينية وفق رؤية محكومة بإطار قوامه الوصول إلى مجتمع فلسطيني ممتلك للقيم، والعلم، والثقافة، والتكنولوجيا، وتلبية المتطلبات الكفيلة بجعل تحقيق هذه الرؤية حقيقة واقعة، وهو ما كان له ليكون لولا التناغم بين الأهداف والغايات والمنطلقات والمرجعيات، فقد تآلفت وتكاملت؛ ليكون النتاج تعبيرًا عن توليفة تحقق المطلوب معرفيًا وتربويًا وفكريًا.

ثمّة مرجعيات تؤطّر لهذا التطوير، بما يعزّز أخذ جزئية الكتب المقررّة من المنهاج دورها المأمول في التأسيس لتوازن إبداعي خلّاق بين المطلوب معرفيًّا، وفكريًّا، ووطنيًّا، وفي هذا الإطار جاءت المرجعيات التي تم الاستناد إليها، وفي طليعتها وثيقة الاستقلال والقانون الأساسي الفلسطيني، بالإضافة إلى وثيقة المنهاج الوطني الأول؛ لتوجّه الجهد، وتعكس ذاتها على مجمل المخرجات.

ومع إنجاز هذه المرحلة من الجهد، يغدو إزجاء الشكر للطواقم العاملة جميعها؛ من فرق التأليف والمراجعة، والتدقيق، والإشراف، والتصميم، وللجنة العليا أقل ما يمكن تقديمه، فقد تجاوزنا مرحلة الحديث عن التطوير، ونحن واثقون من تواصل هذه الحالة من العمل.

**وزارة التربية والتعليم**

مركز المناهج الفلسطينية

آب / 2017

# مقدمة

تحرص وزارة التربية والتعليم الفلسطينية على مواكبة التطورات العلمية، والمعرفية، والتكنولوجية المتسارعة في مختلف المجالات، ومن أجل النهوض بالعملية التعليمية التعلّمية، عملت على تطوير المناهج التعليمية وتحديثها، ولقد حرصنا في إعداد كتاب الكيمياء للصف الحادي عشر على اعتماد الأنشطة التفاعلية، والعملية، والاستدلالية؛ لإتاحة الفرصة للطلبة للتفاعل مع المادة، وممارسة عمليات التعلم المختلفة، كالملاحظة، والتصنيف، والقياس، والتجريب، والاستنتاج، وتفسير الظواهر، والمشاهدات المختلفة.

ولقد راعينا عرض موضوعات الكتاب بطريقة متسلسلة ومترابطة أفقيًّا وعموديًّا، وبما ينسجم والخطوط العريضة للمنهاج، وقسّمت موضوعاته إلى جزئين، حيث اشتمل الجزء الأول على أربع وحدات، هي:

**الوحدة الأولى:** (الروابط الكيميائية) التي تشتمل على الروابط الأولية بين الذرّات (الأيونية، والتساهمية، والفلزية)، وأشكال الجزيئات، والروابط الثانوية (قوى التجاذب بين الجزيئات)، وتكمن أهمية هذه الوحدة في تفسير الخواص المختلفة للمواد، والتنبؤ بها.

**الوحدة الثانية:** (الحسابات الكيميائية): حرصنا في هذه الوحدة على تبيان أهمية الحسابات الكيميائية في تحديد الصيغة الجزيئية للمركبات الكيميائية، ونسب العناصر المكونة لها، وحساب كمّيات المواد الداخلة في التفاعل، والناتجة عنه، وأيضًا حساب المردود المئوي لنواتج بعض التفاعلات عمليًّا.

**الوحدة الثالثة:** (المحاليل): جاءت هذه الوحدة في فصلين، يتناول الفصل الأول أنواع المحاليل، وعملية الإذابة، بينما يتناول الفصل الثاني تركيز المحاليل، وبعض خواصها الجامعة، وتكمن أهمية هذه الوحدة في إكساب الطلبة المهارات العملية في تحضير المحاليل بتراكيز مختلفة، وتفسير بعض الظواهر المرتبطة بها.

**الوحدة الرابعة:** (الكيمياء الحرارية): تناولت المفاهيم الأساسية في الكيمياء الحرارية، والتعرف إلى القانون الأول في الديناميكا الحرارية، وحساب الحرارة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية بطرق عدة.

ولقد ختمنا كل وحدة دراسية بمواضيع علمية ثقافية، تبيّن الجزء اليسير من الأهمية الحياتية لعلم الكيمياء تحت عنوان (الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع)، وانطلاقًا من رغبتنا الأكيدة في أن يكون هذا الكتاب على الصورة الفُضلى، فإننا نأمل من المشرفين التربويين والمعلمين والمجتمع المحلي، تزويدنا بملاحظاتهم القيّمة؛ حتى يتسنى لنا تطوير هذا الكتاب وتحسينه.

وفي الختام، نرجو من الله أن نكون قد وُفِّقنا في وضع محتويات هذا الكتاب؛ لما فيه خدمة طلبتنا ومعلمينا الأعزاء.

**والله ولي التوفيق**

**فريق التأليف**

# المحتويات

الوحدة الأولى (العلمي والزراعي)


**الروابط الكيميائية ..... 2**
1.1 الروابط الكيميائية وأنواعها ..... 4
2.1 الروابط الأولية ..... 5
3.1 الكهروسالبية وقطبية الرابطة ..... 13
4.1 أشكال الجزيئات ..... 15
5.1 قطبية الجزيء ..... 19
6.1 الروابط الثانوية ( قوى التجاذب بين الجزيئات) ..... 21
الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع ..... 26
أسئلة الوحدة ..... 27


الوحدة الثانية (العلمي والزراعي)


**الحسابات الكيميائية ..... 30**
1.2 المعادلة الكيميائية ومفهوم المول ..... 32
2.2 الصّيغة الأولية والصّيغة الجزيئية للمركبات الكيميائية ..... 34
3.2 الحسابات الكيميائية المبنية على المعادلة الكيميائية الموزونة ..... 40
4.2 المادة المحددة للتفاعل ..... 45
5.2 المردود المئوي للتّفاعلات الكيميائية ..... 48
الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع ..... 51
أسئلة الوحدة ..... 52

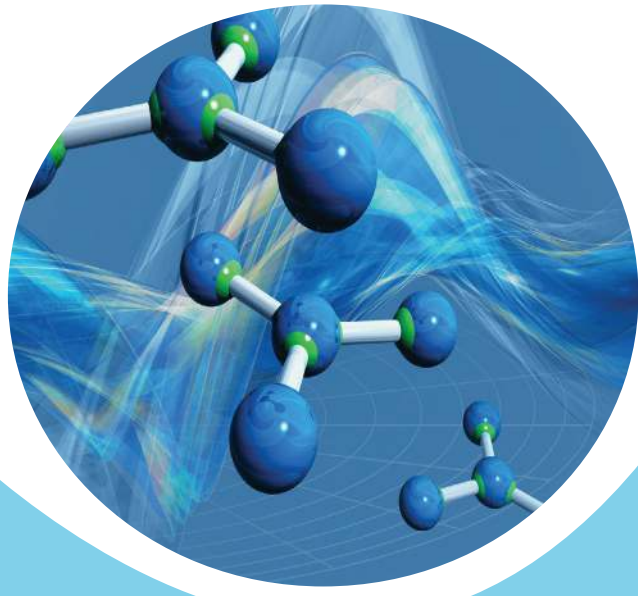

الوحدة الثالثة (العلمي والزراعي)


**المحاليل ..... 55**
**الفصل الأول:** أنواع المحاليل وعمليّة الإذابة ..... 57
1.1.3 أنواع المحاليل ..... 58
2.1.3 عمليّة الإذابة وحرارة المحلول ..... 60
3.1.3 الذائبية ..... 64
4.1.3 قواعد الذائبيّة ..... 68
أسئلة الفصل ..... 71
**الفصل الثاني:** تركيز المحاليل وخواصها الجامعة ..... 73
1.2.3 طرق التعبير عن تركيز المحاليل ..... 74
2.2.3 التخفيف ..... 80
3.2.3 الخواص الجامعة للمحاليل غير الأيونية ..... 82
الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع ..... 90
أسئلة الفصل ..... 92
أسئلة الوحدة ..... 93


الوحدة الرابعة (العلمي)


**الكيمياء الحراريّة ..... 95**
1.4 مفاهيم أساسيّة في الكيمياء الحراريّة ..... 97
2.4 أنواع الأنظمة الحراريّة ..... 101
3.4 حرارة التفاعل الكيميائي ..... 103
4.4 قياس حرارة التفاعل ..... 107
5.4 طرق التعبير عن حرارة التفاعل ..... 109
6.4 قانون هس ..... 115
الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع ..... 120
أسئلة الوحدة ..... 122

المراجع ..... 127



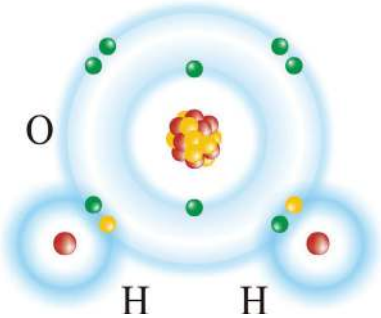
# الوحدة الأولى

# الروابط الكيميائية
# (Chemical Bonds)

**تتفاوت المواد في خصائصها الفيزيائية والكيميائية،**
**فما الذي يَجعل المواد من حولنا تَمتاز بخصائصها المُتنوعة؟**

**يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة، والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تفسير خصائص المركّبات والمواد، اعتمادًا على مفهوم الروابط الكيميائية، من خلال تحقيق الآتي:**

- تمثيل الروابط الأيونية والتساهمية، باستخدام تركيب لويس.
- استنتاج بعض خصائص المركّبات الأيونية عملياً.
- توظيف أشكال لويس، ونظرية تنافر أزواج إلكترونات التكافؤ؛ لتحديد أشكال الجزيئات الفراغية.
- تصميم أشكال فراغية لبعض الجزيئات، باستخدام نماذج الذرّات، ومواد من البيئة.
- توظيف الرسم للتوصل إلى قُطبية الجزيء، اعتمادًا على قطبية الرابطة، وشكل الجزيء.
- التمييز بين قوى التجاذب الرئيسة بين الجزيئات بالرسم.
- الربط بين قوى التجاذب والخصائص الفيزيائية للمادة بمخططات.
- تَوظيف قوى التجاذب بين الجزيئات في تمثيل آلية عمل المنظّفات الصابونية بالرسم.



## (1.1): الروابط الكيميائية وأنواعها (Types of Chemical Bonds):

تتواجد الغازات النبيلة على شكل ذرّات مستقلة؛ لأنّ تركيبها الإلكتروني مستقر، بينما ترتبط ذرّات العناصر الأخرى بعضها مع بعض أو مع غيرها؛ بهدف الوصول إلى حالة أكثر استقرارًا من تواجدها بشكل منفرد. فما علاقة التوزيع الإلكتروني باستقرار الذرّة؟ وكيف تتكوّن الروابط؟ وما أنواعها؟ لتتمكن من الإجابة عن هذه التساؤلات، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (1): التوزيع الإلكتروني، واستقرار الذرّة:

لديك رموز العناصر الآتية: $_{10}Ne$ ، $_{8}O$ ، $_{11}Na$ .

**إلكترونات التكافؤ:**
هي إلكترونات المستوى الأخير.

1- اكتب التوزيع الإلكتروني لذرّة كل عنصر.
2- ارسم إلكترونات التكافؤ على شكل نقاط حول رمز كل عنصر.
3- أيّ من ذرّات العناصر تركيبها الإلكتروني مستقر، وأيّها غير مستقر؟
4- كيف يمكن أن تصل ذرّات العناصر غير المستقرة إلى توزيع إلكتروني مستقر؟

**قاعدة الثمانية (Octet Rule):**
تسعى الذرّة لملء مستواها الأخير بثمانية إلكترونات؛ من أجل الوصول إلى حالة الاستقرار.

لعلك لاحظت أنّ لإلكترونات التكافؤ دورًا مهمًّا في تحديد مدى استقرار الذرّات، وأنّ الذرّات تسعى للوصول إلى تركيب إلكتروني يشبه تركيب الغاز النبيل بتكوين روابط، عن طريق فقد الإلكترونات أو كسبها، أو المشاركة بها.

وتسمّى الروابط الكيميائية التي تنشأ بين الذرّات أو الأيونات **الروابط الأولية**، بينما تسمّى الروابط التي تتكوّن بين ذرّات الغازات النبيلة أو بين الجزيئات **الروابط الثانوية**، وهي قوى ربط ضعيفة، مقارنة بالروابط الأولية.

### رمز لويس:

تسمّى الطريقة التي مُثِّلت بها إلكترونات التكافؤ حول رموز العناصر في النشاط السابق رمز لويس لذرّات العناصر، حيث يمثّل رمز العنصر النواة والإلكترونات الداخلية للذرّة، بينما تمثّل النقاط حول رمز العنصر إلكترونات التكافؤ، والجدول (1) يوضح رمز لويس لذرّات بعض العناصر وأيوناتها.

الجدول (1): رمز لويس لذرّات بعض العناصر وأيوناتها

| العنصر | رمز لويس للعنصر | أيون العنصر | رمز لويس لأيون العنصر |
|---|---|---|---|
| $_{3}Li$ | $Li\cdot$ | $Li^{+}$ | $Li^{+}$ |
| $_{7}N$ | $\cdot\ddot{N}\cdot$ | $N^{3-}$ | $[:\ddot{N}:]^{3-}$ |
| $_{12}Mg$ | $\cdot Mg\cdot$ | $Mg^{2+}$ | $Mg^{2+}$ |
| $_{9}F$ | $:\ddot{F}\cdot$ | $F^{-}$ | $[:\ddot{F}:]^{1-}$ |

**سؤال** ارسم رمز لويس لكل من الآتية: $_{15}P$ ، $_{19}K$ ، $_{13}Al^{3+}$ ، $_{16}S^{2-}$

## (2.1): الروابط الأولية (Primary Bonds):

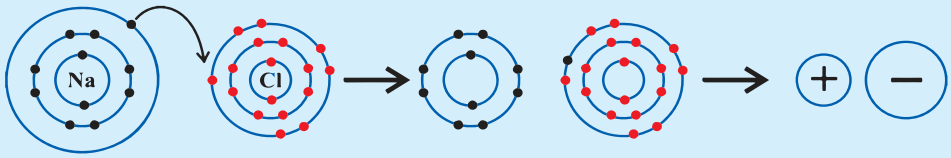
يعتمد نوع الرابطة الأولية على التوزيع الإلكتروني للذّرات المرتبطة، حيث تُصنَّف الروابط الأولية إلى ثلاثة أنّواع، هي: الأيونية، والتساهمية، والفلزية.

### أولًا: الرابطة الأيونية (The Ionic Bond):

تُعَدّ عملية انتقال الإلكترونات بين الذرّات المكوّنة للرابطة المبدأ الأساسي في فهم الرابطة الأيونية، فكيف تَتكوّن الرابطة الأيونية؟ وكيف تُمثّل بطريقة لويس؟ لمعرفة ذلك، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (2): تكوين كلوريد الصوديوم:

تَأمل الشكل الآتي، ثمّ أجب عن الأسئلة التي تليه:



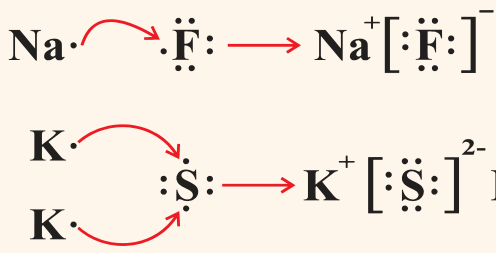

1- أيّ من الذرتين تفقد إلكترونات؟ وما الأيون المتكوّن؟
2- أيّ من الذرتين تكسب إلكترونات؟ وما الأيون المتكوّن؟
3- كيف يرتبط أيون الصوديوم مع أيون الكلور؟

تفقد بعضُ ذرّات العناصر الفلزية، كالصوديوم أثناء تفاعلاتها إلكترونات تَكافئها، مكوّنة أيونات موجبة (Cations)، شحنتها مساوية لعدد الإلكترونات التي تفقدها، في حين تميل بعض ذرّات العناصر اللافلزية، كالكلور إلى كسب الإلكترونات، مكوّنةً أيونات سالبة (Anions)، شحنتها مساوية لعدد الإلكترونات التي تكسبها، وبما أنّ الشحنات المختلفة تَتجاذب، فإنّ أيون الصوديوم الموجب ( $Na^+$) يَتجاذب كهربائيًّا مع أيون الكلور السالب ( $Cl^-$)، فيتكون المركّب الأيوني كلوريد الصوديوم NaCl. وتُعرَّف **الرابطة الأيونية**: بأنّها رابطة كيميائية تَنتُج عن التجاذب الكهروستاتيكي بين أيونات موجبة وأيونات سالبة.

تعلمت كيفية رسم رمز لويس للعناصر وأيوناتها. ولمعرفة شكل لويس للمركّبات الأيونية، ادرسِ المثال الآتي:

**مثال (1):** مثّل ارتباط ذرّات العناصر في كل من: NaF، $K_2S$، باستخدام شكل لويس.

**الحل:**




**سؤال** مَثّل الرابطة الأيونية، باستخدام شَكل لويس لكل من: $Al_2O_3$ ، $CaCl_2$ .

## صيغ المركّبات الأيونية:

يُعَبَّر عن المركّبات الأيونية بصيغ رمزية، تُبين أنواع الأيونات المكّونة لها، وأعدادها بأبسط نسبة عددية، ويُراعى عند كتابة الصيغة الكيميائية للمركّب الأيوني أن يكون متعادلًا كهربائيًّا.

وتتكون الأيونات من ذرّة واحدة فقط (أيونات العناصر)، كما في الجدول (2)، أو من ذرّات متعددة تُسمّى مجموعات أيونية، كما في الجدول (3).

الجدول (2): رموز أيونات بعض العناصر وأسماؤها

| الأيون | الشحنة | الاسم |
|---|---|---|
| $Li^{+}$ | 1+ | ليثيوم |
| $Na^{+}$ | 1+ | صوديوم |
| $K^{+}$ | 1+ | بوتاسيوم |
| $Mg^{2+}$ | 2+ | مغنيسيوم |
| $Ca^{2+}$ | 2+ | كالسيوم |
| $Ba^{2+}$ | 2+ | باريوم |
| $Al^{3+}$ | 3+ | ألمنيوم |
| $F^{-}$ | 1- | فلوريد |
| $Cl^{-}$ | 1- | كلوريد |
| $Br^{-}$ | 1- | بروميد |
| $I^{-}$ | 1- | أيوديد |
| $H^{-}$ | 1- | هيدريد |
| $O^{2-}$ | 2- | أكسيد |
| $S^{2-}$ | 2- | كبريتيد |
| $P^{3-}$ | 3- | فوسفيد |
| $N^{3-}$ | 3- | نيتريد |

الجدول (3): رموز بعض المجموعات الأيونية وأسماؤها

| المجموعة | الشحنة | الاسم |
|---|---|---|
| $NH_4^{+}$ | 1+ | أمونيوم |
| $MnO_4^{-}$ | 1- | بيرمنغنات |
| $CN^{-}$ | 1- | سيانيد |
| $NO_3^{-}$ | 1- | نترات |
| $NO_2^{-}$ | 1- | نتريت |
| $HCO_3^{-}$ | 1- | كربونات هيدروجينية |
| $CH_3COO^{-}$ | 1- | إيثانوات (أسيتات) |
| $OH^{-}$ | 1- | هيدروكسيد |
| $ClO_3^{-}$ | 1- | كلورات |
| $SO_3^{2-}$ | 2- | كبريتيت |
| $SO_4^{2-}$ | 2- | كبريتات |
| $CrO_4^{2-}$ | 2- | كرومات |
| $Cr_2O_7^{2-}$ | 2- | دايكرومات |
| $C_2O_4^{2-}$ | 2- | أوكسالات |
| $CO_3^{2-}$ | 2- | كربونات |
| $PO_4^{3-}$ | 3- | فوسفات |

**مثال(2)**: اكتب الصيغة الكيميائية للمركّبين الأيونيين: أكسيد الكالسيوم، وهيدروكسيد الباريوم.

**الحل:**

- أكسيد الكالسيوم يتكون من: أيون الأكسجين $O^{2-}$، وأيون الكالسيوم $Ca^{2+}$.

ولكتابة صيغة المركّب الأيوني لأكسيد الكالسيوم بأبسط نسبة عددية، بحيث يكون متعادلًا كهربائيًّا، نستخدم طريقة الضرب التبادلي للقيم العددية التي تمثل الشحنات بأبسط نسبة عددية.

$$Ca^{2+}\ O^{2-} \longrightarrow Ca_{\cancel{2}}\ O_{\cancel{2}}$$

(2 ، 2)

وبالتالي، تكون صيغة أكسيد الكالسيوم هي: $CaO$

- الصيغة الكيميائية لهيدروكسيد الباريوم:

$$Ba^{2+}\ OH^{1-} \longrightarrow Ba(OH)_2$$

(2 ، 1)

**سؤال** اكتب الصيغة الكيميائية للمركّبات الأيونية الآتية:

1- كبريتيد الصوديوم.

2- نترات الكروم (III).

3- بيرمنغنات البوتاسيوم.

4- كرومات الأمونيوم.

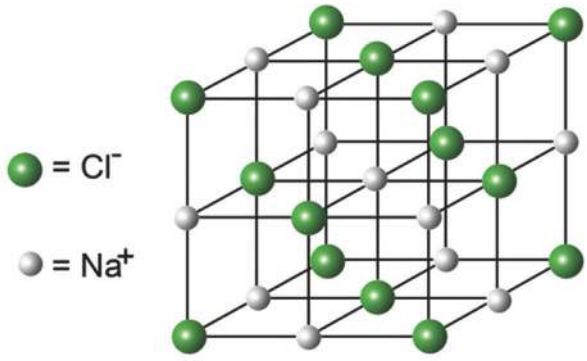
| الأرقام الرومانية | |
|---|---|
| 1 | = I |
| 2 | = II |
| 3 | = III |
| 4 | = IV |
| 5 | = V |
| 6 | = VI |
| 7 | = VII |
| 8 | = VIII |
| 9 | = IX |
| 10 | = X |

العناصر التي لها أكثر من شحنة (رقم تأكسد)، كما في الحديد، والكروم... يشار إلى رقم تأكسدها برقم روماني بعد اسم العنصر، فمثلاً أكسيد النحاس (I) صيغته $Cu_2O$.

## خصائص المركّبات الأيونية:

توجد المركّبات الأيونية عادة على شكل بناء بلوري يضمّ عددًا كبيرًا من الأيونات الموجبة والسالبة في نظام هندسي دقيق، والشكل (1) يوضّح البناء البلوري لكلوريد الصوديوم NaCl.

وتُستخدم المركّبات الأيونية في تطبيقات عدة، منها: تحضير بعض العناصر، والطلاء الكهربائي؛ لامتلاكها مجموعة من الخصائص، وللتعرّف إلى بعض هذه الخصائص، نَفِّذِ النّشاط الآتي:




الشكل (1): البناء البلوري لكلوريد الصوديوم

## نشاط (3): بعض خصائص المركّبات الأيونية:

### المواد والأدوات:

ملح كلوريد الصوديوم NaCl، وماء مقطّر، وزيت، وأنابيب اختبار، ومصدر كهربائي، وأسلاك توصيل، وأقطاب جرافيت، وكأس زجاجي، وماسك، وجهاز فولتميتر.

### خطوات العمل:

1- ضَع قليلًا من الملح في أنبوب اختبار يحتوي على الماء المقطّر، ثم حرّك الأنبوب بلطف، ماذا تُلاحظ؟
2- ضَع قليلًا من الملح في أنبوب اختبار يحتوي على الزيت، ثم حرّك الأنبوب بلطف، ماذا تُلاحظ؟
3- ضع قطبين من الجرافيت في ملح كلوريد الصوديوم، وَصِلْ كلًّا منهما بمصدر كهربائي وجهاز فولتميتر، ماذا تلاحظ؟
4- ضَع في الكأس كمية من الماء المقطّر، ثم أَذِب فيه كمية من الملح، وضَع أقطاب الجرافيت في محلول الملح، وَصِلْهُما بمصدر كهربائي وجهاز الفولتميتر، ماذا تُلاحظ؟

? اكتب خصائص المركّبات الأيونية التي توصلت إليها من خلال النشاط.

**قضية للبحث:** توجد المركّبات الأيونية على شكل بلورات ذات أشكال هندسية متعددة، تعاون مع زملائك في إعداد تقرير؛ لتتعرف إلى بعض أشكال هذه البلورات، بالرجوع إلى المصادر المتوافرة.

## ثانيًا: الرابطة التساهمية (التشاركية) (The Covalent Bond):

عرفت أنّ الرابطة الأيونية تنشأ من تجاذب أيونات الفلزات الموجبة بأيونات اللافلزات السالبة الناتجة عن فقد الإلكترونات أو كسبها، فكيف ترتبط ذرّات العناصر اللافلزية بعضها مع بعض؟ للإجابة عن هذا التساؤل، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

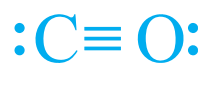
### نشاط (4): الرابطة التساهمية:

1- اكتب رمز لويس لكل من ذرّات العناصرالآتية: $_{9}F$ ، $_{8}O$ ، $_{7}N$ .
2- إذا علمت أنّ العناصر السابقة تتواجد على شكل جزيئات ثنائية الذرّة، بيّن كيف تصل كل ذرّة في الجزيء لوضع الاستقرار؟
3- باستخدام النماذج الذرية، مَثِّلِ الرابطة في كل جزيء.
4- ما عدد أزواج الإلكترونات المشتركة بين الذرتين في كل جزيء؟
5- صنّف الرابطة بين كل ذرتين في الجزيء الواحد، وفقًا لعدد أزواج الإلكترونات المشتركة بينهما.

لعلك لاحظت أنّ الرابطة المتكونة بين الذرتين في الجزيء الواحد تتم عن طريق مشاركة كل ذرّة بعدد متساوٍ من الإلكترونات، وبناءً على عدد أزواج الإلكترونات المكوِّنة للرابطة، تم تصنيف الرابطة التساهمية إلى أحادية، وثنائية، وثلاثية، ويمثّل عدد أزواج الإلكترونات المشتركة بين الذرتين رتبة الرابطة. فالرابطة التساهمية في جزيء $H_2$ رابطة أحادية، رتبتها = 1؛ لأنّها تتكون من زوج من الإلكترونات الرابطة التي يمكن تمثيلها بنقطتين (:)، أو بخط قصير ( – )، كما هو مبيّن أدناه.

$$H\cdot + \cdot H \longrightarrow H:H \quad \text{أو} \quad H-H$$

**سؤال** أكمل الجدول الآتي:

| الجزيء | عدد الإلكترونات المشتركة في تكوين الرابطة التساهمية | عدد أزواج الإلكترونات المكوِّنة للرابطة التساهمية | رتبة الرابطة التساهمية |
|---|---|---|---|
| | | | |
|  | | | |

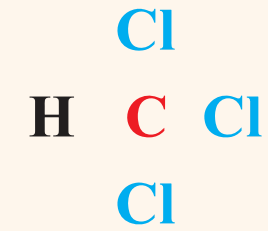
## شكل لويس لبناء الجزيئات:

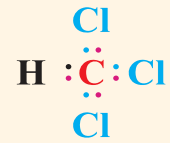
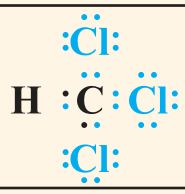
تَعلمت طريقة لويس في تَمثيل رموز ذرّات العناصر والمركبات الأيونية، فكيف يمكن تمثيل المركّبات الجزيئية بطريقة لويس؟

للإجابة عن هذا التساؤل، تمعّنِ المثال الآتي:

**مثال (3):** ارسم شكل لويس للجزيء $CHCl_3$.

**الحل:**

| | |
|---|---|
| 1- نحسب مجموع إلكترونات التكافؤ لجميع ذرّات العناصر المكوِّنة للجزيء. | H $1 \times 1 = 1$<br>C $1 \times 4 = 4$<br>Cl $3 \times 7 = 21$<br>المجموع 26 |
| 2- نحدد الذرّة المركزية في الجزيء، وهي ذرّة الكربون في هذه الحالة، ونُوزِّع الذرّات الأخرى (الطرفية) حولها.<br>**الذرّة المركزية:** هي الذرّة التي تشكل أكبر عدد من الروابط التساهمية مع الذرّات الطرفية. |  |

| | |
|---|---|
| 3- نربط الذرّة المركزية بكل ذرّة طرفية، بزوج من الإلكترونات، وبذلك نحتاج إلى 4 × 2 = 8 إلكترونات. |  |
| 4- نحسب عدد الإلكترونات المُتبقية، بطرح عدد الإلكترونات التي استُخدمت في الروابط من المجموع الكلي لإلكترونات التكافؤ = 26 – 8 = 18 إلكترونًا. | |
| 5- نُوزّع الإلكترونات المتبقية على الذرّات الطرفية، بحيث يصل عدد الإلكترونات حول كل ذرّة إلى ثمانية إلكترونات، ويُستثنى من ذلك ذرّة الهيدروجين التي تكتفي بإلكترونين فقط. |  |
| 6- نحسب ما تبقى من مجموع إلكترونات التكافؤ، ونضعها على الذرّة المركزية على شكل أزواج من الإلكترونات غير الرابطة، وفي المركّب الحالي لم يتبقَّ أية إلكترونات. | |
| 7- نتأكد أنّ كل ذرّة في الجزيء مُحاطة بثمانية إلكترونات، تَبعًا لقاعدة الثمانية، كما هو الحال في هذا الجزيء، وبذلك يكون الشكل المبيَّن أعلاه هو المطلوب. | |
| 8- إذا بقيت الذرّة المركزية تَحوي أقل من ثمانية إلكترونات، نُكوّن روابط إضافية بينها وبين ذرّة أو أكثر من الذرّات الطرفية القادرة على تكوين أكثر من رابطة أحادية؛ للوصول إلى قاعدة الثمانية ما أمكن. وقد تشذّ الذرّة المركزية عن قاعدة الثمانية، كما في الجزيئات: $BeCl_2$، $PCl_5$. | |

**أزواج الإلكترونات غير الرابطة:**

هي أزواج إلكترونات التكافؤ التي لم تستخدمها الذرّة في تكوين الروابط.

**سؤال** لديك الجزيئات الآتية: HCN ، $CO_2$، $NF_3$، $BH_3$.

1- ارسم شكل لويس لكل منها.

2- ما رتبة الرابطة التساهمية بين الذرّات في كل من HCN و $CO_2$؟

3- ما عدد أزواج الإلكترونات غير الرابطة حول الذرّة المركزية في كل من: $NF_3$ و $BH_3$؟

## (3.1): الكهروسالبية، وقطبية الرابطة (Electronegativity and Polarity of Bond):

دَرست سابقًا أنّ الرابطة التساهمية تَتكون بين ذرّتين، تُساهم كل منهما بالعدد نفسه من الإلكترونات. فهل إلكترونات الرابطة التساهمية تَنجذب نحو نُواتَي الذرّتين المكونتين لها في آن واحد بالمقدار نفسه، أم أنّ إحدى الذرّتين لها مقدرة أكبر على جذب إلكترونات الرابطة من الذرّة الأخرى؟

لقد وُجِدَ عمليًّا أنّ السحابة الإلكترونية للرابطة التساهمية قد تنزاح نحو ذرّة أكثر من الأخرى، وتُعرّف القدرة النسبية لذرّة ما في جُزيء على جَذب الإلكترونات المُشاركة في الرابطة نحوها **بالكهروسالبية**، حيث أُعطي لعنصر الفلور (F) أعلى رقم للكهروسالبية وهو (4)، وباقي العناصر أُعطيت أرقامًا؛ نسبة إلى عنصر الفلور، والشكل (2) يبين قيم الكهروسالبية لبعض العناصر في الجدول الدوري.

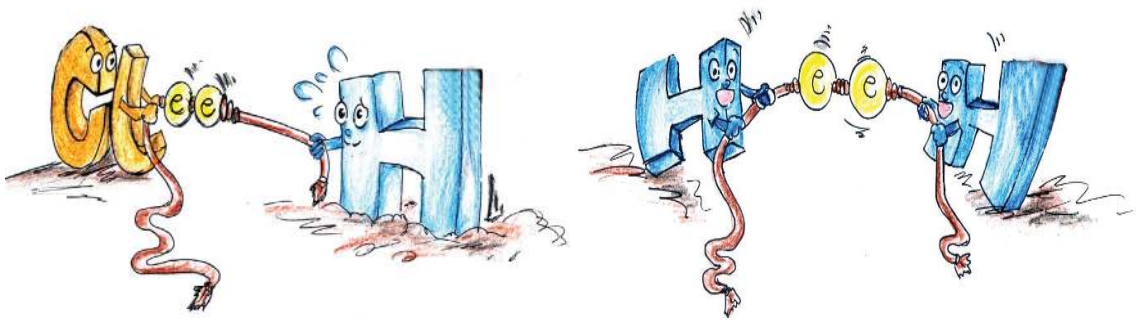
| IA | IIA | IIIB | IVB | VB | VIB | VIIB | VIIIB | | | IB | IIB | IIIA | IVA | VA | VIA | VIIA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H 2.1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Li 1.0 | Be 1.6 | | | | | | | | | | | B 2.0 | C 2.5 | N 3.0 | O 3.5 | F 4.0 |
| Na 0.9 | Mg 1.2 | | | | | | | | | | | Al 1.5 | Si 1.8 | P 2.1 | S 2.5 | Cl 3.0 |
| K 0.8 | Ca 1.0 | Sc 1.3 | Ti 1.5 | V 1.6 | Cr 1.6 | Mn 1.5 | Fe 1.8 | Co 1.9 | Ni 1.9 | Cu 1.9 | Zn 1.6 | Ga 1.6 | Ge 1.8 | As 2.0 | Se 2.4 | Br 2.8 |
| Rb 0.8 | Sr 1.0 | Y 1.2 | Zr 1.4 | Nb 1.6 | Mo 1.8 | Tc 1.9 | Ru 2.2 | Rh 2.2 | Pd 2.2 | Ag 1.9 | Cd 1.7 | In 1.7 | Sn 1.8 | Sb 1.9 | Te 2.1 | I 2.5 |
| Cs 0.7 | Ba 0.9 | La 1.0 | Hf 1.3 | Ta 1.5 | W 1.7 | Re 1.9 | Os 2.2 | Ir 2.2 | Pt 2.2 | Au 2.4 | Hg 1.9 | Tl 1.8 | Pb 1.9 | Bi 1.9 | Po 2.0 | At 2.1 |

الشكل (2): القيم النسبية لكهروسالبية بعض العناصر

وللتعرّف إلى أثر كهروسالبية الذرّات المكوِّنة للرابطة التساهمية على توزيع إلكترونات الرابطة فيما بينها، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

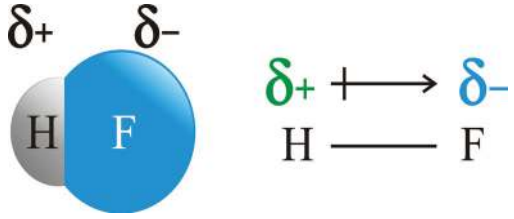
## نشاط (5): قطبية الرابطة:

تأمل الشكل الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



1- ما عدد الإلكترونات التي شاركت بها كل ذرّة عند تكوين الرابطة؟
2- هل الإلكترونات مُوزعة بانتظام بين الذرّتين في كلا الجزيئين؟
3- بالرجوع إلى جدول قيم الكهروسالبية، جِدِ الفرق في الكهروسالبية بين الذرّتين المرتبطتين. ماذا تُلاحظ؟

لعلك تَوصلت - من خلال النشاط السابق - إلى أنّ إلكترونَي الرابطة في جزيء الهيدروجين منجذبان نحو نواتَي الذرّتين بالتساوي، وبالتالي تكون شحنة كل ذرّة تساوي صفرًا، وتُوصف الرابطة في هذه الحالة بأنّها رابطة غير قطبية، وعند اختلاف قيم الكهروسالبية للذرّتين، كما في جزيء كلوريد الهيدروجين HCl، فإن إلكترونَي الرابطة ينجذبان أكثر نحو الذرّة الأعلى كهروسالبية، فيظهر عليها شحنة جزئية سالبة ($\delta-$)، في حين يظهر على الذرّة الأقل كهروسالبية شحنة جزئية موجبة ($\delta+$)، وتوصَفُ الرابطة بأنّها رابطة تساهمية قطبية، ويَنشأ حول الرابطة القطبية عزم يُسمّى عزم الازدواج القطبي، وتمثّل القطبية بسهم فوق الرابطة يتجه رأسه نحو الذرّة الأعلى كهروسالبية، ويدلّ على اتجاه عزم الازدواج القطبي، وتزداد قطبية الرابطة بزيادة الفرق في الكهروسالبية بين الذرّتين المرتبطتين، والشكل (3) يوضّح تمثيل الرابطة القطبية لجزيء HF.




الشكل (3): تمثيل الرابطة القطبية في جزيء H-F

**سؤال** لديك الروابط الآتية: (Br-Br، B-F، C-O، S-H)، بالرجوع إلى جدول قيم الكهروسالبية، أجب عن الأسئلة الآتية:

1- أيّ الروابط السابقة قطبية، وأيّها غير قطبية؟
2- عَبِّرْ عن قطبية الروابط بسهم.
3- أيّ الروابط أعلى قطبية؟

## (4.1): أشكال الجزيئات (Molecular Geometry):

تَعلّمتَ كيفية رسم شكل لويس لبعض الجزيئات، والذي يُبين عدد الروابط التساهمية، وعدد أزواج الإلكترونات غير الرابطة حول الذرّات في الجزيء، إلا أنّه لم يُقدم طَريقة لرسم الشكل الفراغي المُتوقَّع للجزيء. فما الذي يحدد الشكل الفراغي للجزيء؟ وكيف يمكن توقُّعه؟

للإجابة عن هذه التساؤلات، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (6): الشكل الفراغي للجزيء:

باستخدام نماذج الذرّات، توقَّعِ الشكل الفراغي للجزيئات الآتية:

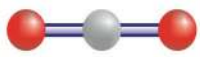
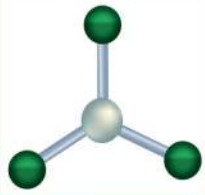
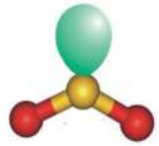
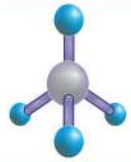
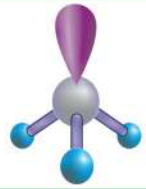
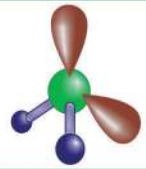
| الجزيء | شكل لويس | الشكل الفراغي المتوقَّع |
|---|---|---|
| $BeH_2$ | | |
| $BH_3$ | | |
| $CH_4$ | | |

من المعلوم لديك أنّ الشحنات المتشابهة تتنافر بعضها مع بعض، وبما أنّ الإلكترونات سالبة الشحنة، فإن أزواج الإلكترونات الرابطة وغير الرابطة حول الذرّة المركزية في الجزيء تَتنافر، بحيث تكون المسافة بينها أبعد ما يمكن، والتنافر أقل ما يمكن، لينتج عن ذلك الشكل الأكثر ثباتًا للجزيء، وهذا ما نصّت عليه **نظرية تنافر أزواج إلكترونات التكافؤ**، والجدول (4) يوضّح أشكال الجزيئات حسب النظرية.

## نظرية تنافر أزواج إلكترونات التكافؤ
## (Valence-Shell Electron-Pair Repulsion (VSEPR) theory)

تتوزع أزواج الإلكترونات (الرابطة وغير الرابطة) في الفراغ حول الذرّة المركزية للجزيء، بحيث يكون التنافر بينها أقل ما يمكن؛ لينتج الشكل الأكثر ثباتًا للجزيء.

الجدول (4): أشكال الجُزيئات حسب نظرية (تَنافر أزواج إلكترونات التكافؤ)

| عدد المجموعات الإلكترونية حول الذرة المركزية | الصيغة العامة | تمثيل الشكل بناء على التنافر بين أزواج الإلكترونات | شكل أزواج الإلكترونات | شكل الجزيء | الزاوية المتوقعة | أمثلة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | $MX_2$ |  | خطي | خطي | 180° | $CO_2$ , $BeF_2$ |
| 3 | $MX_3$ |  | مثلث مستوٍ | مثلث مستوٍ | 120° | $SO_3$ , $BF_3$ |
| 3 | $MX_2E$ |  | مثلث مستوٍ | منحنٍ | 120° | $O_3$ , $SO_2$ |
| 4 | $MX_4$ |  | رباعي الأوجه | رباعي الاوجه | 109.5° | $CCl_4$ , $CH_4$ |
| 4 | $MX_3E$ |  | رباعي الأوجه | هرم ثلاثي القاعدة | 109.5° | $NF_3$ , $NH_3$ |
| 4 | $MX_2E_2$ |  | رباعي الأوجه | منحنٍ | 109.5° | $F_2O$ , $H_2O$ |

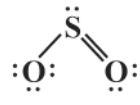
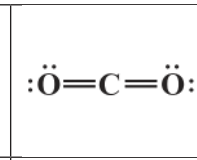
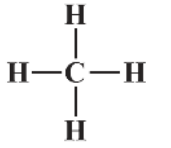
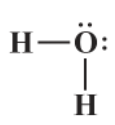
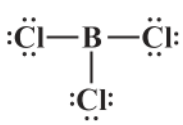
في الجدول أعلاه، تُمثل (M) الذرّة المركزية، وتُمثل (X) الذرّة الطرفية، وتُمثل (E) زوج الإلكترونات غير الرابطة.

**نشاط تعزيزي:**

بإمكانك استخدام برنامج (PHET) التفاعلي المسار: Real Molecules ⟵ Molecule Shapes للتعرُّف إلى الشكل الفراغي لجزيئات متنوعة، بناءً على نظرية تنافر أزواج إلكترونات التكافؤ.

يَشمل شكل أزواج الإلكترونات حول الذرّة المركزية على جميع المجموعات الإلكترونية الرابطة وغير الرابطة، أما شكل الجزيء فيشمل فقط ترتيب الذرّات حول الذرّة المركزية، وتُعامل إلكترونات الرابطة الواحدة، سواء كانت أحادية أو ثنائية أو ثلاثية على أنّها مجموعة واحدة من الإلكترونات، كما هو موضّح في الجدول (5).

الجدول (5): عدد المجموعات الإلكترونية حول الذرّة المركزية لبعض الجُزيئات

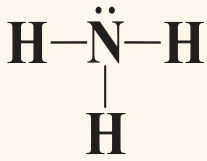
| شكل لويس لبعض الجزيئات |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| عدد المجموعات الإلكترونية حول الذرّة المركزية | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 |

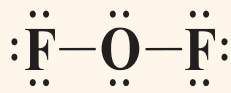
**مثال (4):** لديك الجزيئان الآتيان: $OF_2$، $NH_3$.

1- ارسُمْ شكل لويس لكل منهما.
2- ما شكل أزواج الإلكترونات حول الذرّة المركزية؟
3- ارسُمْ الشكل الفراغي للجزيء، وسَمِّه.
4- ما مقدار الزاوية المتوقَّعة بين الروابط؟
5- إذا علمت أن الزاوية الحقيقية بين الروابط في جزيء $OF_2$ $103.2^\circ$، وفي جزيء $NH_3$ $107.5^\circ$، فسِّر سبب اختلاف قيمة الزاوية الحقيقية عن المتوقعه في كل منهما؟

**الحل:**

1- شكل لويس لكل منهما هو:

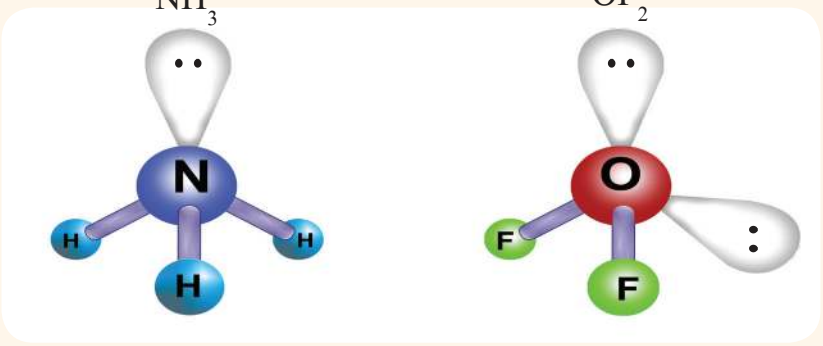




2- يَتضح من شكل لويس وجود أربع مجموعات إلكترونية حول الذرّة المركزية في كلا الجزيئين، حيث يوجد في جزيء $OF_2$ مجموعتان من الإلكترونات الرابطة، ومجموعتان من الإلكترونات غير الرابطة، بينما يوجد في جزيء $NH_3$ ثلاث مجموعات إلكترونية رابطة، ومجموعة إلكترونية واحدة غير رابطة، وحسب نظرية تنافر أزواج إلكترونات التكافؤ، فإنّ شكل الأزواج الإلكترونية في كل منهما رباعي الأوجه.

3- الشكل الفراغي لكل جزيء، واسمه.

$NH_3$ $OF_2$




هرم ثلاثي القاعدة منحنٍ

4- الزاوية المتوقعة بين الروابط في كلا الجزيئين $109.5^\circ$.

5- يَرجع السبب في نقصان الزاوية الحقيقية عن القيمة المتوقعة إلى وجود أزواج إلكترونية غير رابطة حول الذرّة المركزية التي تَضغط على الأزواج الرابطة، فتقلل من الزاوية بينها؛ لأنّ مقدار التنافر بين أزواج الإلكترونات حول الذرّة المركزية في الجزيء تَأخذ الترتيب الآتي:

**زوج غير رابط مع زوج غير رابط > زوج غير رابط مع زوج رابط > زوج رابط مع زوج رابط.**

**سؤال** لديك كل من الجزيئات الآتية: $O_3$ ، HCN ، $PH_3$.

1- ارسم شكل لويس لكل جزيء.

2- ما عدد أزواج الإلكترونات الرابطة وغير الرابطة حول الذرّة المركزية؟

3- ما عدد المجموعات الإلكترونية حول الذرّة المركزية؟

4- ما اسم شكل أزواج الإلكترونات الناتج؟

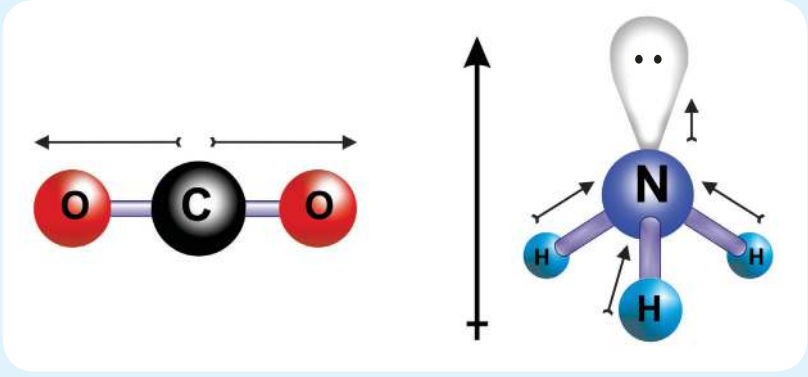
5- ارسم شكل الجزيء في كل حالة، وسَمِّهِ.

## (5.1): قطبية الجزيء (Molecule Polarity):

تَعلمت سابقًا أنّ الرابطة التساهمية القُطبية يَنشأ حولها عزم يُسمى عزم الازدواج القطبي، وهو كميّة متجهة، فهل وجود روابط قطبية في الجزيء يعني بالضرورة أن يكون الجزيء قطبيًا؟ للإجابة عن هذا التساؤل، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (7): قطبية الجزيء:

لديك الجزيئان الآتيان: $NH_3$، $CO_2$.




جزيء $CO_2$ جزيء $NH_3$

1- ما الذرّة الأكثر كهروسالبية في كل جزيء؟
2- أيّ من الجزيئين تكون محصلة عزوم الازدواج القطبي عنده تساوي صفرًا؟

لعلك تَوصلت - من النشاط السابق - أنَّ مُحصلة عزم الازدواج القُطبي في بعض الجزيئات تُساوي صفرًا، وفي هذه الحالة، تَكون الجزيئات غير قطبية، بينما يكون الجزيء قطبيًّا إذا تحقق فيه الشرطان الآتيان:

1- أن يَحويَ الجزيء رابطة قطبية واحدة على الأقل، أو يَحوي زوجًا غير رابط من الإلكترونات على الذرّة المركزية.
2- ألّا تَكون مُحصلة عزوم الازدواج القُطبي للجزيء تُساوي صفرًا.

**سؤال** وضّح، أيًّا من الجزيئات الآتية قطبي: $NF_3$ ، $BeCl_2$ ، $BH_3$ ، $CH_4$؟

**نشاط تعزيزي:**

بإمكانك استخدام برنامج (PHET) التفاعلي المسار:

Molecule Polarity ⟵ Real Molecule

للتعرُّف إلى قطبية بعض الجزيئات.

وللتمييز عمليًّا بين الجزيئات القطبية وغير القطبية، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (8): التمييز بين الجزيئات القطبية وغير القطبية عمليًّا:

### المواد والأدوات:

سائل الهكسان، والماء المقطّر، وقطعة من الصوف، وسحاحة، وقضيب بلاستيك، وقُمع زجاجي، ودورق زجاجي.

### خطوات العمل:

1- املأ السحاحة بالماء المقطّر، باستخدام قُمع زجاجي.
2- افتح السحاحة، بحيث يَنزل الماء المقطّر على شَكل خيط رفيع إلى الدورق.
3- ادلك قضيب البلاستيك بقطعة الصوف، وقرّبه من الماء. ماذا تُلاحظ؟
4- كَرِّرِ الخطوات (1،2،3)، مستخدمًا الهكسان بدل الماء المقطّر. ماذا تُلاحظ؟

اقترح تفسيرًا مناسبًا لمشاهداتك.

## (6.1): الروابط الثانوية (قوى التجاذب بين الجزيئات) (Intermolecular Forces):

تَتشابه كثير من جزيئات المادة في أشكالها البنائية، لكنها تختلف في سلوكها الكيميائي، وصفاتها الفيزيائية، فمثلًا: يتشابه كلٌّ من ($H_2O$ و $H_2S$) في الشكل الفراغي، وعدد الروابط التساهمية الأحادية، إلّا أنّ هُناك اختلافًا كبيرًا في صفات كل منهما، فالماء في الظروف الطبيعية يكون في الحالة السائلة، في حين يكون كبريتيد الهيدروجين في الحالة الغازية، فما القُوى التي تَربط بين جزيئات كل منهما؟

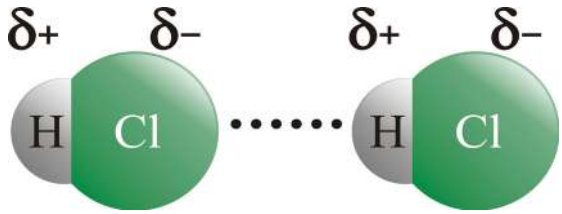
**أنواع قوى التجاذب بين الجزيئات**

1- قوى التجاذب بين جزيئات ثنائيات القطب.
2- الترابط الهيدروجيني.
3- قوى لندن.

### أولًا: قوى التجاذب بين الجزيئات ثنائيات القطب (Dipole-Dipole Forces):

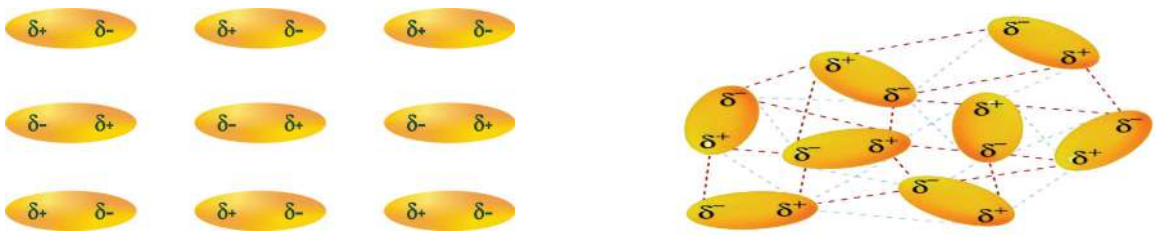
تَعلمت أنّ الجُزيء القطبي يَمتلك قُطبين كهربائيين دائمين مُختلفين في الشُّحنة، فكيف تعمل هذه الأقطاب المختلفة على ربط الجزيئات القُطبية بعضها مع بعض؟

تَترتب الجزيئات القطبية، بحيث يَكون التجاذب بين الأقطاب المختلفة أكبر ما يُمكن؛ ما يقلل طاقتها، ويجعلها أكثر استقرارًا، كما هو موضّح في الشكل (4).




الشكل (4): تمثيل قوى التجاذب بين الجزيئات القطبية لجزيئات HCl

وتَزداد قُوى التجاذب بين الجزيئات القطبية بزيادة قطبية الجزيئات ونقص المسافة بينها، وتكون المادة القطبية أكثر ثباتًا في الحالة الصُّلبة عنها في الحالتين السائلة والغازية؛ لأنّ جزيئاتها تَتخذ ترتيبًا منتظمًا، انظُرِ الشكل (5).



شكل (5:أ): ترتيب الجزيئات القطبية لمركّب في الحالة السائلة الشكل(5:ب): ترتيب الجزيئات القطبية لمركّب في الحالة الصُّلبة

## ثانيًا: الترابط الهيدروجيني (Hydrogen Bond):

لمعرفة هذا النوع من قوى التجاذب، وتمييزه عن قوى التجاذب ثنائي القطب، تأمل الجدول (6) الذي يُبيّن درجات غليان بعض المركّبات، ثمّ أجب عن الأسئلة التي تليه:

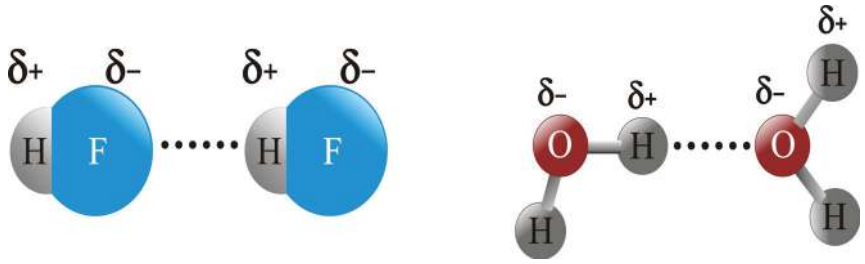
الجدول (6): درجات غليان هيدريدات عناصر المجموعة السادسة (VIA) والسابعة (VIIA)

| مركّبات مجموعة VIIA | | | مركّبات مجموعة VIA | | |
|---|---|---|---|---|---|
| المركّب | درجة الغليان (°س) | الكتلة المولية (غم/مول) | المركّب | درجة الغليان (°س) | الكتلة المولية (غم/مول) |
| HF | 19.5 | 20 | $H_2O$ | 100 | 18 |
| HCl | 85 - | 36.5 | $H_2S$ | 61- | 34 |
| HBr | 66.7 - | 81 | $H_2Se$ | 41- | 81 |
| HI | 35.6 - | 128 | $H_2Te$ | 2- | 129.6 |

1- مثّل بيانيًا درجة غليان هيدريدات المجموعة السادسة (VIA)، والمجموعة السابعة (VIIA) مقابل كتلها المولية. ماذا تستنتج؟

2- برأيك، لماذا درجة غليان كل من HF و $H_2O$ أعلى بكثير من مثيلاتها في المجموعة نفسها، على الرغم من أنّ لهما أقل كتلة مولية؟

لعلّك تَوصلت من خلال الإجابة عن التساؤلات السابقة أنّ قُوى التجاذب بين جُزيئات كلٍّ من: $H_2O$ و HF أعلى من مثيلاتها ثنائيات القطب ضمن المجموعة نفسها؛ ويعود ذلك إلى قُوى التجاذب الكهروستاتيكي العالية بين الشحنة الجزئية الموجبة الموجودة على ذرّة الهيدروجين المرتبطة أصلًا بذرّة عالية الكهروسالبية مثل (N، O، F) في جزيء معيّن، وبين الشحنة الجزئية السالبة الموجودة على ذرّة صغيرة الحجم وعالية الكهروسالبية، مثل (N، O، F) في الجزيء المُقابل، ويُسمى هذا النوع من الترابط **الترابط الهيدروجيني**، كما في الشكل (6).




الشكل (6): تمثيل الترابط الهيدروجيني بين جزيئات $H_2O$، والترابط الهيدروجيني بين جزيئات HF

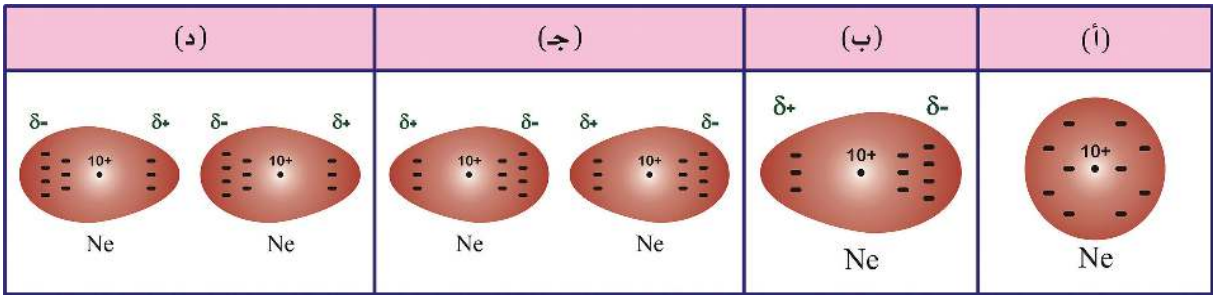
وغالبًا ما يحدث الترابط الهيدروجيني بين الجزيئات، إلا أنّه يمكن أنّ يَحدث داخل الجزيء الواحد، مثل جزيء الـ (DNA).

**فَكِّرْ:**
ما أسباب ارتفاع درجة غليان $H_2O$ مقارنةً مع HF؟

**سؤال** وضّح بالرسم كيفية ارتباط جزيئات HF بجزيئات $H_2O$.

## ثالثًا: قوى لندن (London Forces):

وهي قُوى ضَعيفة تتواجد بين الجزيئات كافة، سواء أكانت قطبية أم غير قطبية، وبين ذرّات الغاز النبيل، وهي قوى لحظية ناتجة عن استقطاب لحظي في الجزيء بسبب الحركة العشوائية للإلكترونات حول أنوية الذرّات، وهذا بدوره يُحدِث قطبية لحظية في جزيء آخر؛ نتيجة تقارُبهما من بعضهما بعضًا، فيُؤدي ذلك إلى قوى تجاذب لحظية فيما بينها، كما تُلاحظ في الشكل (7) الآتي:




الشكل (7): تمثيل قوى لندن بين ذرّتَي نيون

ومع أنّ قوى لندن موجودة في جميع الجزيئات قُطبية كانت أم غير قُطبية، إلا أنّ أهميتها في الجزيئات غير القُطبية أكبر؛ كونها القوى الوحيدة التي تَعمل على تَجاذب الجزيئات بينها. وللتعرّف إلى العوامل المؤثرة في قوى لندن، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (9): العوامل المؤثرة في قوى لندن:

تأمل الجدول الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

| الصيغة الجزيئية | الصيغة البنائية | الكتلة المولية (غم/مول) | درجة الغليان (°س) | قوى التجاذب الرئيسة بين الجزيئات |
|---|---|---|---|---|
| $C_3H_8$ البروبان | $CH_3CH_2CH_3$ | | 42- | |
| $C_5H_{12}$ البنتان العادي | $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$ | | 36 | |
| $C_5H_{12}$ النيوبنتان | $H_3C-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-CH_3$ | | 9.5 | |

1- أكمل الجدول السابق.

2- رتب الجزيئات الموجودة في الجدول حسب درجة غليانها، موضّحًا السبب.

3- برأيك، ما العوامل التي تعتمد عليها قوى لندن؟

**سؤال** ما نوع قوى التجاذب الرئيسة بين جزيئات كل من المواد الآتية:

$CH_3OH$ ، $SiH_4$ ، $CHCl_3$ ، $NH_3$؟

**سؤال** بعد دراستك لقوى التجاذب بين الجزيئات، فسّر الظاهرة التي تشاهدها في الصورة المجاورة.

خليط الزيت والماء

## المشاريع العلمية:

بعد دراستك هذه الوحدة يمكن تنفيذ أحد المشاريع الآتية:

- توظيف مصادر المعلومات المختلفة لكتابة تقرير حول واحدٍ مما يأتي:

أ- أربعة أملاح يتم استخلاصها من مياه البحار، من حيث صيغها الكيميائية، وبناؤها البلوري، وأهميتها في الصناعات المختلفة.

ب- آلية عمل المنظّفات الصابونية في التنظيف، وآلية الحصول على المواد الغذائية المستخلصة من الحليب.

- تصميم نماذج فراغية لبعض المركّبات، مستخدمًا خامات البيئة.

## التنظيف الجافّ (Dry Clean)

تعتمد عملية التنظيف أساسًا على مبدأ التجاذب بين جزيئات المواد المستخدمة في التنظيف والمواد التي تسبِّبُ اتساخ الأقمشة المختلفة. ولقد اعتمد الإنسان على استخدام الماء والحركة الميكانيكية بمساعدة الصابون؛ لغسل ملابسه، سواء أكان ذلك يدويًا أم عبر ضغط عدة أزرار على آلة غسيل أوتوماتيكية.

وحاليًّا تكثر الملابس والمنسوجات التي عليها علامة تجارية تحمل عبارة «تنظيف جاف فقط»، هذه المنسوجات يفضّل عدم غسلها بالماء والمواد الصابونية، خوفًا من انكماشها، أو تغيّر لونها، أو اختلاف بعض خصائصها؛ لذا يُستخدَم التنظيف الجاف لتلك المنسوجات. والذي تم اكتشافه بمحض الصدفة عام 1855م، حين لاحظ صاحب المصبغة الفرنسي (جان بابيتيس جولي)، أنّ غطاء طاولته القماشي أصبح أنظف بعدما أسقطت عليه الخادمة مصباح الكيروسين (الكاز)، وانتشر الكيروسين على بقع الزيت الموجودة على القماش، فأزالها، وفي الوقت نفسه تبخّر سريعًا، ومن خلال مصبغته، عرض جولي خدمة جديدة أسماها التنظيف الجاف؛ لأنّ عملية التنظيف تتم دون الحاجة للماء، على الرغم من استخدام سوائل ومواد مذيبة بدلًا من الماء والصابون تُغمَرُ فيها الملابس والأقمشة.

وفي بدايات التنظيف الجاف، كانت تستخدم المذيبات المشتقة من البترول، كالجازولين، والكيروسين. وبما أنّ مثل هذه المذيبات قابلة للاشتعال، ومع انتشار فكرة التنظيف الجاف عالميًّا، استُبدلت بمذيبات صناعية سريعة التطاير، وأكثر أمانًا وتنظيفًا، مثل رباعي كلوريد الكربون $CCl_4$، ورباعي كلورو إيثيلين $C_2Cl_4$ الذي يسمى (بيرك)، وهو منتج غير قابل للاشتعال، ويتميز بقدرته الفائقة على التنظيف دون الإضرار بالملابس. وتستخدم أحيانًا مساحيق خاصة للتنظيف الجاف، مثل مساحيق النشا والملح.

وتتكون ماكينات التنظيف الجاف بمختلف أنواعها من أربعة أجزاء أساسية، هي: خزان لخليط المذيبات، ومضخة؛ لضخ الخليط خلال ماكينة التنظيف، وحجرة ترشيح لفصل المواد والشوائب التي تعلق بخليط المذيبات، وحجرة الغسيل الأُسطوانية التي يتم وضع الغسيل من خلالها، كما في الغسالات المنزلية الحديثة.

# أسئلة الوحدة

**السُّؤال الأول:** اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1 ما نوع الرابطة الناتجة عن اتحاد ذرتَي عنصر، عدده الذري 17؟

أ) تساهمية. ب) قوى لندن. ج) أيونية. د) فلزية.

2 ما شكل الجزيء الفراغي الناتج من وجود أربع مجموعات إلكترونية حول الذرّة المركزية، إحداها زوج إلكترونات غير رابط؟

أ) هرم ثلاثي القاعدة. ب) مثلث مستوٍ. ج) منحنٍ. د) رباعي الأوجه.

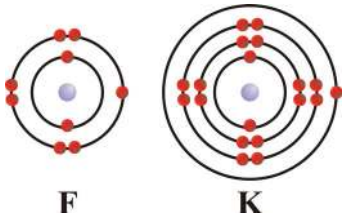
3 ما رتبة الرابطة بين ذرّة الكربون وإحدى ذرّتي الأكسجين في جزيء $CO_2$؟

أ) 1 ب) 2 ج) 3 د) 4

4 ما الرابطة الأكثر قطبية فيما يأتي؟

أ) O-F ب) N-F ج) C-F د) F-F

5 ما نوع الرابطة المُتوقّع تكوينها بين الذرتين في الشكل المجاور؟




أ) تساهمية. ب) أيونية .
ج) تناسقية. د ) فلزية.

6 ما الصيغة الكيميائية لمركّب فوسفات الكالسيوم؟

أ) $Ca_2(PO_4)_3$ ب) $Ca_3(PO_4)_2$ ج) $Ca_3P_2$ د) $Ca_3PO_4$

**السُّؤال الثاني:** وضّح المقصود بالمفاهيم الآتية:

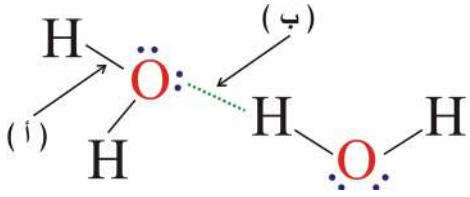
الرابطة الأولية، والكهروسالبية، والجزيء القطبي.

**السُّؤال الثالث:** ارسم رمز لويس أو شكله لكل من الآتية: B ، $H^-$ ، NOCl ، $F_2$.

**السُّؤال الرابع:** أكمل الجدول الآتي الذي يحوي بعض المعلومات عن أربعة مركّبات افتراضية، علمًا أنّ (H) تُمثل ذرّة الهيدروجين، وعلى اعتبار أنّ الذرّات في الجزيئات مختلفة في الكهروسالبية:

| المركّب الافتراضي | عدد أزواج الإلكترونات غير الرابطة | شكل أزواج الإلكترونات | شكل الجزيء | قطبية الجزيء | الزاوية المتوقّعة |
|---|---|---|---|---|---|
| $XH_2$ | لا يوجد | | | | |
| $YH_2$ | زوجان | | | | |
| $MH_3$ | | مثلث مستوٍ | | | |
| $ZH_3$ | | | هرم ثلاثي القاعدة | | |

**السُّؤال الخامس:** تأمل الشكل المجاور، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:




1. ما نوع الرابطة (أ)، والرابطة (ب)؟
2. أيهما أقوى الرابطة (أ) أم الرابطة (ب)؟
3. ما تأثير وجود الرابطة (ب) على درجة غليان $H_2O$؟

**السُّؤال السادس:** عند وضع كميتين متساويتين من الماء $H_2O$ والبنتان $C_5H_{12}$ في وعاءين متماثلين، وتعريضهما للهواء الجوي تحت الظروف نفسها، أيهما يتبخر بشكل أسرع؟ لماذا؟

**السُّؤال السابع:** علِّل ما يأتي:

1. قطبية الجزيء $NH_3$ أعلى من قطبية الجزيء $NF_3$.
2. الزاوية بين الروابط في جزيء $H_2S$ أقل من الزاوية في $PF_3$، على الرغم من تساوي عدد المجموعات الإلكترونية حول الذرّة المركزية في كل منها.
3. المحلول المائي لِـ KI يوصل التيار الكهربائي، في حين المحلول المائي للسكر لا يوصل التيار الكهربائي.
4. درجة غليان $SiCl_4$ أعلى من درجة غليان $CH_4$، على الرغم من أنّ كليهما غير قطبي.

**السُّؤال الثامن:** أي من جزيئات المواد الآتية قطبي؟ وما نوع قوى التجاذب الرئيسة بين جزيئات كل منها؟

$$BeH_2 \ ، \ I_2 \ ، \ NH_3 \ ، \ CCl_4 \ ، \ HF \ ، \ O_3$$

**السُّؤال التاسع:** رتّب الآتية حسب المطلوب، مستخدمًا إشارة أكبر من (>):

1 $Cl_2$، $Br_2$، $F_2$ (حسب تزايد قوى لندن).

2 $C_2H_6$ ، $CH_4$ ، $CH_3CH_2OH$ (حسب درجة الغليان).

3 H-Cl ، H-F ، H-Br (حسب قطبية الرابطة).

**السُّؤال العاشر:** لديك العنصران الإفتراضيان ($_8Y$، $_{20}X$):

1 ارسم رمز لويس لكل عنصر.

2 ما الصيغة الكيميائية للمركّب الناتج من اتحاد X معY؟

3 مثّل شكل لويس للمركّب الناتج من اتحاد X مع Y.

**السُّؤال الحادي عشر:** أقيّم ذاتي:

أقرأ كل عبارة من العبارات الآتية، ثم أضع إشارة ( ✓ ) في المكان المناسب:

| الرقم | العبارة | دائماً | أحياناً | نادراً |
|---|---|---|---|---|
| .1 | أستطيع تمثيل الروابط التساهمية والأيونية باستخدام تركيب لويس. | | | |
| .2 | أرسم الشكل الفراغي للجزيئات بشكل صحيح. | | | |
| .3 | أستطيع تمييز قوى التجاذب بين الجزيئات المختلفة. | | | |

# الوحدة الثانية

# الحسابات الكيميائية
# (Stoichiometery)

تشتهر مدينة نابلس بصناعة الصّابون، ويُعد تفاعل هيدروكسيد الصّوديوم مع زيت الزّيتون أساسًا في صناعته.

كيف تؤثر زيادة كميّة هيدروكسيد الصّوديوم المستخدمة أو نقصانها على جودة الصّابون؟

**يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة، والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على توظيف الحسابات الكيميائية في مجالات حياتية مختلفة، من خلال تحقيق الآتي:**

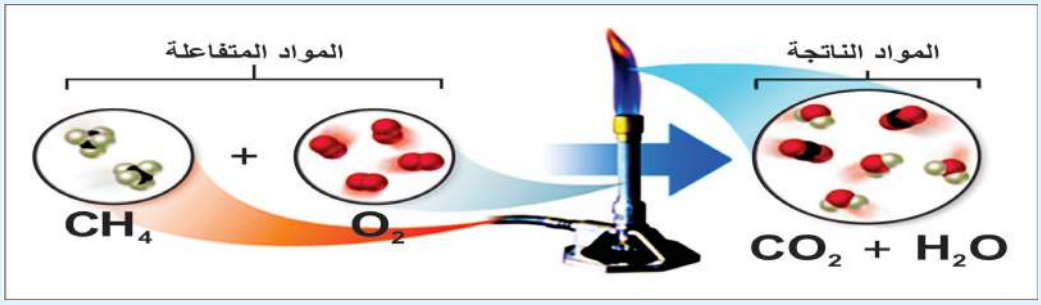
- تحديد الصيغة الأولية، والصيغة الجزيئية للمركّبات الكيميائية حسابياً وعملياً.
- إجراء حسابات كيميائية تتعلق بالتّفاعلات الأيونيّة في المحاليل المائيّة.
- تُوظّيف المعادلة الكيميائية الموزونة في حساب المادة المحددة، والمادة الفائضة، والمردود المئوي للنّواتج.
- تحديد المادة المحددة خلال تفاعل كيميائي، والمردود المئوي لأحد النّواتج عملياً.
- تصميم مشروع عملي، يتم من خلاله قياس تركيز المادة، والتّأكد من مطابقتها لمواصفات معينة.

## (1.2): المعادلة الكيميائية ومفهوم المول (Chemical Equation & The Mole Concept):

تعلمت في صفوف سابقة كيفيّة كتابة معادلة كيميائية موزونة، والاستفادة منها في إجراء بعض الحسابات الكيميائية الكميّة. فما المعادلة الكيميائية؟ وما النسب التي تتفاعل بها المواد المتفاعلة؟ للإجابة عن هذه التساؤلات، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (1): المعادلة الكيميائية:

تأمل الشّكل الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:




1- اكتب معادلة كيميائية موزونة تصف احتراق غاز الميثان $CH_4$، بحيث تكون الطّاقة جزءًا منها.

2- ما عدد جزيئات الأكسجين اللازمة للتّفاعل مع جزيء من الميثان؟

3- ما عدد مولات الأكسجين اللازمة للتّفاعل مع 4 مول من غاز الميثان؟

4- ما عدد مولات الماء النّاتجة من تفاعل 2 مول من الميثان؟

يتّضح لك من النشاط السابق، أنّ المعادلة الكيميائية تُمثّل تعبيرًا نوعيًّا وكميًّا للتفاعل الكيميائي، وأنّ المواد تتفاعل بعضها مع بعض بنسب كتلية أو مولية ثابتة؛ لتكوين المركبات المختلفة، وبما أنّ الذرّات والجزيئات متناهية في الصغر، ولا نستطيع قياس كُتلها عمليًّا، فلقد تم الاتفاق على استخدام مصطلح **المول** كوحدة قياس عملية لكميّة المادة، والذي يمثّل عدد أفوجادرو من الذرّات أو الجزيئات أو الأيونات. فكتلة مول واحد من ذرّات عنصر تساوي عدديًّا كتلته الذرية النسبية بوحدة الغرامات، وتُسمّى الكتلة المولية للعنصر، بينما الكتلة المولية للمركب تساوي مجموع الكتل المولية لمكوناته بالغرامات.

عدد أفوجادرو يساوي
$6.023 \times 10^{23}$

**مثال (1):** يُعَدُّ غاز الميثان المُكوِّن الأساسي للغاز الطّبيعي، ويُستخدم هذا الغاز في تحضير عدد من المركّبات العضوية، فإذا أُخذت عينة مقدارها 160 غم من الميثان، فما عدد جزيئات الميثان في العينة؟

**الحل:**

1- الكتلة المولية للميثان $CH_4$ = 4 × 1 + 1 × 12 = 16 غم/مول.

2- عدد مولات الميثان = كتلة العينة ÷ الكتلة المولية للميثان

= 160 غم ÷ 16 غم/مول = 10 مول.

3- عدد جزيئات الميثان = عدد مولات الميثان × عدد أفوجادرو.

عدد جزيئات الميثان = 10 مول × $6.023 \times 10^{23}$ جزيء/مول

= $6.023 \times 10^{24}$ جزيء.

إذا تم وضع عدد أفوجادرو من ورق الكتاب المدرسي بعضها فوق بعض، سيصل ارتفاعها لأكثر من أربعمئة مليون مرة بين الأرض والشمس.

**سؤال** يحتوي الحليب على عدة عناصر غذائية مهمة، منها سكّر اللاكتوز $C_{12}H_{22}O_{11}$، احسب كتلة 10 جزيئات من هذا السكّر.

تعلمت في صفوف سابقة حساب النّسبة المئوية الكُتلية للعنصر في أحد مركباته، وأهميّتها الصّناعية والاقتصاديّة، فمثلًا: في المركب $NO_2$، تكون النسبة المولية بين الأكسجين والنيتروجين 1:2، وهي النسبة الذرية نفسها بينهما، بينما النسبة الكتلية بينهما 14:32، في حين النّسبة المئوية الكُتلية للأكسجين في المركب 69.6%.

**مثال (2):** يُستخدَم حمض الكبريتيك $H_2SO_4$ في كثير من الصناعات، منها صناعة بطاريات السّيارات، ما النّسبة المئوية الكتلية للكبريت في الحمض $H_2SO_4$؟

**الحل:**

1- النّسبة المئوية الكتلية للكبريت في $H_2SO_4$

= (كتلة الكبريت في $H_2SO_4$ ÷ الكتلة المولية لـ $H_2SO_4$) × 100%

= (32×1) ÷ 98) × 100% = 32.7%

**سؤال** يمتاز النّحاس بعديدٍ من الصّفات المهمة، مثل قدرته العالية على توصيل الحرارة والكهرباء؛ لذا يدخل النّحاس في عدة صناعات مختلفة. ويمكن استخلاص النّحاس من خامات مختلفة، مثل: البيريت $CuFeS_2$ والبورنيت $Cu_5FeS_4$، ما النّسبة المئوية الكتلية للنّحاس في كل خامة؟

## (2.2): الصّيغة الأولية والصّيغة الجزيئية للمركبات الكيميائية
## (Empirical and Molecular Formulas):

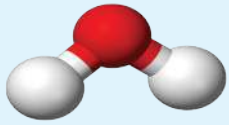
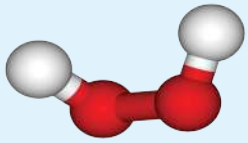
تعلمت سابقًا كتابة عدد من صيغ المركّبات الكيميائية، حيث تُبيِّنُ صيغة المركّب نوع الذرّات المكوِّنة له، وعددها، وستتعرف في هذه الوحدة إلى كيفية حساب الصّيغة الأولية، والصّيغة الجزيئية للمركّبات الكيميائية.

### الصّيغة الأولية (Empirical Formula):

وللتّعرف إلى مفهوم الصّيغة الأولية للمركّبات الكيميائية، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (2): الصّيغة الأولية للمركبات الكيميائية:

ادرس الجدول الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

| اسم المركب | صيغته الكيميائية | صيغته البنائية |
|---|---|---|
| الماء | $H_2O$ |  |
| فوق أكسيد الهيدروجين | $H_2O_2$ |  |

1- اكتب أبسط نسبة عددية بين مولات الأكسجين، ومولات الهيدروجين في كل من الماء، وفوق أكسيد الهيدروجين.
2- اكتب الصّيغة التي تمثّل أبسط نسبة مولية بين العناصر المكوِّنة لكل مركّب.
3- إذا علمت أنّ الصّيغة التي توصلت لها في البند 2 تُسمى الصّيغة الأولية للمركّبات الكيميائية. اقترح تعريفًا لها.

**سؤال** اكتب الصّيغة الأولية للمركبات الآتية: البيوتان $C_4H_{10}$، وسكّر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$، والأمونيا $NH_3$.

ولكي تتعرف إلى طريقة تحديد الصّيغة الأولية للمركّبات الكيميائية عمليًّا، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (3): تحديد الصّيغة الأولية لكلوريد المغنيسيوم:

### المواد والأدوات:

شريط من المغنيسيوم، وحمض الهيدروكلوريك HCl المخفّف، ودورق زجاجي، وكأس زجاجي، ومصدر حرارة، وميزان حسّاس، وقطّارة، وورق زجاج.

### خطوات العمل:

1- خذ قطعة من المغنيسيوم، ونظّف سطحها بورق الزّجاج.
2- جد كتلة الكأس وهي فارغة باستخدام الميزان الحسّاس، وسجل كتلتها ($ك_1$).
3- جد كتلة الكأس مع عينة المغنيسيوم ($ك_2$)، باستخدام الميزان الحسّاس.
4- احسب كتلة المغنيسيوم ($ك_3$) = $ك_2$ − $ك_1$.
5- أضف -باستخدام القطّارة- محلول حمض الهيدروكلوريك المخفف، إلى قطعة المغنيسيوم الموجودة في الكأس، حتى تتفاعل قطعة المغنيسيوم بشكل كامل.

6- سخّن الكأس باستخدام مصدر الحرارة حتى يتبخر الماء الموجود في الكأس، ثم جد كتلة الكأس بما يحتويه من كلوريد المغنيسيوم ($ك_4$).

7- احسب كتلة كلوريد المغنيسيوم ( $ك_5$) = $ك_4$ - $ك_1$

8- احسب كتلة الكلور في كلوريد المغنيسيوم ($ك_6$) = $ك_5$- $ك_3$

**ولتحديد الصّيغة الأولية لكلوريد المغنيسيوم، استخدم الخطوات الآتية:**

- احسب عدد مولات كل من الكلور والمغنيسيوم.
- اقسم عدد مولات كل منهما على أقل عدد مولات.
- حوّل ناتج القسمة إلى أرقام صحيحة.
- اكتب الصّيغة الأولية لكلوريد المغنيسيوم.

**ويوضّح المثال الآتي طريقة إيجاد الصّيغة الأولية نظريًّا.**

**مثال (3):** تُعدّ مدينة يافا من أكثر المدن الفلسطينية شُهرةً في زراعة الحمضيات، كالبرتقال، والليمون التي تحتوي على عدة عناصر غذائية مهمة، مثل فيتامين ج. عند تحليل عينة من هذا الفيتامين، وُجِدَ أنّها تحتوي كتليًّا على 40.92 % كربون، و4.58 % هيدروجين و 54.5 % أكسجين. فما الصّيغة الأولية لفيتامين ج؟

**الحل:**

1- تحديد كتلة العناصر المكوِّنة للعينة، فإذا فرضنا وجود عينة كتلتها 100غم من فيتامين ج، فتكون كتلة الكربون والهيدروجين والأكسجين تساوي 40.92 غم، و4.58 غم، و54.5 غم، على التوالي.

2- حساب عدد مولات كل عنصر.

عدد مولات العنصر = كتلة العنصر ÷ كتلته المولية

عدد مولات الكربون = 40.92 غم ÷ 12 غم/مول = 3.41 مول.

عدد مولات الهيدروجين = 4.58 غم ÷ 1 غم/مول = 4.58 مول.

عدد مولات الأكسجين = 54.5 غم ÷ 16 غم/مول = 3.41 مول.

3- قسمة عدد المولات على أقل عدد مولات، وهو 3.41

الكربون: 3.41 ÷ 3.41 = 1، والأكسجين: 3.41 ÷ 3.41 = 1، والهيدروجين: 4.58 ÷ 3.41 = 1.34

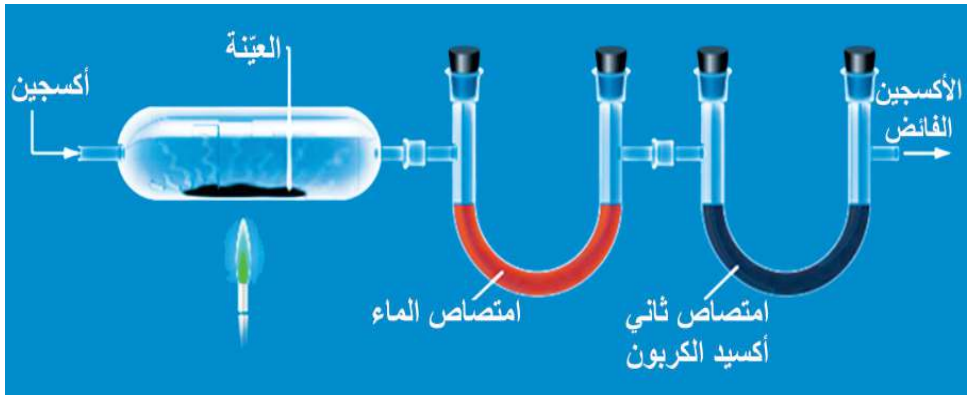
4- يجب أن تمثّل النّسبة العددية للعناصر بأرقام صحيحة، فيتم ضرب القيم السابقة بالعدد 3.

3 × $(CH_{1.34}O)$، وبذلك تكون الصّيغة الأولية لفيتامين ج هي $C_3H_4O_3$.

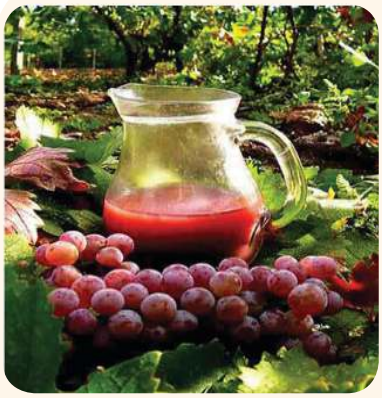
ابحث في أهمية فيتامين ج.

**سؤال** يُستخدم غاز الفريون للتّبريد في الثّلاجات، ويتكوّن هذا الغاز من الكربون والكلور والفلور فقط. تم تحليل عينة من هذا الغاز، كتلتها 4.263 غم، ووجد أنّها تحتوي على 0.423 غم من الكربون، و2.5 غم من الكلور. ما الصّيغة الأولية لغاز الفريون؟

يتم تحديد الصّيغة الأولية لبعض المركّبات الكيميائية، بمعرفة نوع العناصر المكوِّنة لها، وقياس كتلة كل منها بشكل مباشر، كما تم في النشاط (3). ولكن في حالات أخرى مثل المركّبات العضوية، يتم قياس كتلة كل من العناصر المكوِّنة للمركب بشكل غير مباشر، كما يوضح الشّكل (1)، وذلك بحرق عينة من المركّب معلومة الكتلة حرقًا تامًّا، وتَمرُّ الغازات النّاتجة من عملية الاحتراق من خلال أُنبوبين، يحتوي الأُنبوب الأول على كتلة معلومة من كبريتات الكالسيوم اللامائية، حيث يعمل على امتصاص بخار الماء، بينما يحتوي الأُنبوب الثاني على كتلة معلومة من هيدروكسيد الصّوديوم؛ لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون النّاتج من عملية الاحتراق.




الشكل (1): عملية حرق عينة من مركّب عضوي؛ لإيجاد صيغته الأولية



**مثال (4):** تشتهر مدينة الخليل بزراعة العنب الذي يُستخدَم كغذاء، وإنتاج بعض المواد كحمض الأستيك، إذا تم حرق عينة من الحمض النقي، كتلتها 0.30 غم، وجُمع غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء النّاتج، فكانت كتلة كل منهما 0.44 غم و 0.18 غم على التوالي. فإذا علمت أنّ حمض الأستيك يتكون من الكربون والهيدروجين والأكسجين فقط، جِدْ حسابيًّا صيغته الأولية.

**الحل:**

1- إيجاد كتلة كل عنصر من مكونات الحمض في العينة.

كتلة الكربون = النّسبة المئوية الكتليّة للكربون في ثاني أكسيد الكربون × كتلة ثاني أكسيد الكربون

= (12 ÷ 44) × 0.44 = 0.273 × 0.44 = 0.12 غم.

كتلة الهيدوجين = النّسبة المئوية الكتليّة للهيدروجين في الماء × كتلة الماء

= (2 ÷ 18) × 0.18 = 0.11 × 0.18 = 0.02 غم.

كتلة الأكسجين = كتلة العينة – (كتلة الكربون + كتلة الهيدروجين)

= 0.30 – (0.12 + 0.02) = 0.16 غم

**فَكِّرْ:**

لماذا لم يتم حساب كتلة الأكسجين من كتلة الماء أو من كتلة ثاني أكسيد الكربون أو من كتلتيهما معًا؟

2- حساب عدد مولات كل عنصر.

عدد مولات العنصر = كتلة العنصر ÷ كتلته المولية

عدد مولات الكربون = 0.12 غم ÷ 12 غم/مول = 0.01 مول.

عدد مولات الهيدروجين = 0.02 غم ÷ 1غم/مول = 0.02 مول.

عدد مولات الأكسجين = 0.16 غم ÷ 16 غم/مول = 0.01 مول.

3- قسمة عدد مولات كل عنصر على أقل عدد مولات، وهو 0.01

الكربون: 0.01 ÷ 0.01 = 1، والأكسجين: 0.01 ÷ 0.01 = 1، والهيدروجين: 0.02 ÷ 0.01 = 2

4- وعليه، تكون الصّيغة الأولية لحمض الأستيك هي: $CH_2O$.

## الصّيغة الجُزيئية (Molecular Formula):

إذا كانت الصّيغة الأولية تحدد أنواع العناصر المكوِّنة للمركّب الكيميائي، بأبسط نسبة عددية بينها، فإنّ الصّيغة الجُزيئية تحدد أنواع العناصر المكوِّنة له، والنّسب المولية الحقيقية لكل منها. ويتم تحديد الصّيغة الجُزيئية للمركّب الكيميائي، بمعرفة كل من صيغته الأولية وكتلته المولية، ويمكن حساب الكتلة المولية للمركّب باستخدام عدة طرق، منها الخواص الجامعة للمحاليل التي سوف تتعرف إليها في الوحدة الثالثة. ولتتعرف على العلاقة بين الصّيغة الأولية والصّيغة الجزيئية للمركّبات الكيميائية، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (4): العلاقة بين الصّيغة الأولية والصّيغة الجزيئية للمركبات الكيميائية:

تأمّل الجدول الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

| الصّيغة الأولية | الكتلة المولية للصّيغة الأولية (غم/مول) | الصّيغة الجزيئية | الكتلة المولية للصّيغة الجُزيئية (غم/مول) | عدد تكرار الصّيغة الأولية في الصّيغة الجزيئية (ن) |
|---|---|---|---|---|
| $NO_2$ | 46 | $N_2O_4$ | 92 | |
| $P_2O_5$ | 142 | | | 2 |
| $K_2O$ | 94 | | | 1 |

1- أكمل الفراغات في الجدول.

2- جد العلاقة بين الكتلة المولية للصّيغة الجُزيئية والكتلة المولية للصّيغة الأولية.

3- اكتب العلاقة بين الصّيغة الجُزيئية والصّيغة الأولية.

**مثال (5):** بالاعتماد على المثال رقم (3)، حدد الصّيغة الجُزيئية لفيتامين ج، علمًا أنّ كتلته المولية 176 غم/مول.

**الحل:**

1- الكتلة المولية للصّيغة الأولية $C_3H_4O_3$ = $12 \times 3 + 1 \times 4 + 16 \times 3$ = 88 غم/مول.

2- ن = الكتلة المولية للصّيغة الجزيئية للمركّب ÷ الكتلة المولية للصّيغة الأولية للمركّب

= 176 غم/مول ÷ 88 غم/مول = 2

3- الصّيغة الجُزيئية لفيتامين ج = ن × صيغته الأولية = $2 \times (C_3H_4O_3) = C_6H_8O_6$

**سؤال** أوجد الصّيغة الجُزيئية لحمض الأستيك، علمًا أنّ صيغته الأولية $CH_2O$، وكتلته المولية 60 غم/مول.

## (3.2): الحسابات الكيميائية المبنية على المعادلة الكيميائية الموزونة:

تُعد المعادلة الكيميائية الموزونة أساسًا للحسابات الكيميائية، التي من خلالها يتم حساب كميّات المواد المتفاعلة والنّاتجة، كما يوضح المثال الآتي:

**مثال (6):** تقوم النّباتات بعملية التّمثيل الضوئي، التي يتم بوساطتها تصنيع سكر الجلوكوز من تفاعل ثاني أكسيد الكربون والماء، بوجود الضوء، حسب المعادلة الكيميائية الآتية:

$$6H_2O_{(l)} + 6CO_{2(g)} \xrightarrow{\text{ضوء}} 6O_{2(g)} + C_6H_{12}O_{6(aq)}$$

إذا استهلكت نبتة خلال عملية التّمثيل الضوئي 37.8 غم من ثاني أكسيد الكربون $CO_2$، بوجود كميّة كافية من الماء وضوء الشمس، احسب كميّة سكّر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ الناتجة، علمًا أنّ الكتلة المولية لكل من ثاني أكسيد الكربون وسكّر الجلوكوز هي 44 غم/مول و180 غم/مول، على التّوالي.

**الحل:**

1- يجب التّأكد من أنّ المعادلة الكيميائية موزونة.

2- عدد مولات ثاني أكسيد الكربون = كتلة ثاني أكسيد الكربون ÷ كتلته المولية

= 37.8 غم ÷ 44 غم/مول = 0.86 مول.

3- يتبين من المعادلة الكيميائية الموزونة أنّ 1 مول من سكّر الجلوكوز ينتج من تفاعل 6 مول من ثاني أكسيد الكربون.

إذن، عدد مولات سكّر الجلوكوز = 0.86 مول $CO_2$ × ( 1 مول $C_6H_{12}O_6$ ÷ 6 مول $CO_2$).

= 0.143 مول من سكّر الجلوكوز.

4- حساب كتلة سكّر الجلوكوز.

كتلة سكّر الجلوكوز = عدد مولات سكّر الجلوكوز × كتلته المولية

= 0.143 مول × 180 (غم/مول) = 25.74 غم.

ابحث في العوامل المؤثرة في كمية إنتاج سكّر الجلوكوز خلال عملية التّمثيل الضوئي.

**سؤال:** يكثر الحجر الجيري في جبال فلسطين، وتُعد كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ إحدى مكوناته الرّئيسة التي تُستخدم لإنتاج أكسيد الكالسيوم CaO الذي يُستخدم في عدة تطبيقات، مثل: صناعة الإسمنت، وتحضير هيدروكسيد الكالسيوم، وصناعة الزّجاج، وتتحلل كربونات الكالسيوم بوجود الحرارة لإنتاج أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون.

1- اكتب معادلة كيميائية موزونة تصف تحلل كربونات الكالسيوم بالحرارة.

2- احسب كتلة كربونات الكالسيوم اللازمة لإنتاج 100 كغم من أكسيد الكالسيوم.

## الحسابات الكيميائية في المحاليل المائيّة:

تعلمت سابقًا أنّ المركّبات الأيونية غالبًا ما تذوب في الماء، مكونة محاليل مائيّة، والمحلول هو خليط متجانس من مادتين أو أكثر. وللتّعبير عن تركيز المحلول، تستخدم عدة صيغ، منها المولاريّة والتي تساوي عدد مولات المُذاب الموجودة في لتر من المحلول.

المولاريّة = عدد مولات المُذاب ÷ حجم المحلول (باللتر)

**مثال (7):** أُذيبَ 5.85 غم من ملح الطعام NaCl في كمّية من الماء، للحصول على محلول حجمه 200 سم$^3$، احسب تركيز المحلول بالمولاريّة.

**الحل:**

عدد مولات الملح = كتلة الملح ÷ كتلته المولية

= 5.85 غم ÷ 58.5 غم/مول = 0.1 مول.

حجم المحلول باللتر = 200 سم$^3$ ÷ 1000 سم$^3$/لتر = 0.2 لتر.

تركيز المحلول بالمولاريّة = عدد مولات المُذاب ÷ حجم المحلول (باللتر)

= 0.1 مول ÷ 0.2 لتر = 0.5 مول/ لتر.

**سؤال** يُستخدم هيدوكسيد الصّوديوم NaOH في عدة صناعات، منها صناعة الصّابون، ما كتلة هيدروكسيد الصوديوم اللازمة لتحضير محلول مائي حجمه 500 سم$^3$ وتركيزه 0.6 مول/لتر؟

ولتتعرف إلى الحسابات الكيميائية في المحاليل المائيّة، تأمّل المثال الآتي:

**مثال (8):** يُستخدم هيدروكسيد الذّهب (III) $Au(OH)_3$ في عدة تطبيقات، منها الطّلاء الكهربائي للمعادن. وتُبين المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية طريقة تحضير هيدروكسيد الذّهب من إحدى خامات الذهب:

$$2KAuCl_{4(aq)} + 3Na_2CO_{3(aq)} + 3H_2O \longrightarrow 2Au(OH)_{3(s)} + 6NaCl_{(aq)} + 2KCl_{(aq)} + 3CO_{2(g)}$$

احسب كتلة هيدروكسيد الذّهب الناتجة من إضافة كميّة كافية من محلول كربونات الصّوديوم، إلى 500 سم$^3$ من محلول $KAuCl_4$، تركيزه 0.3 مول/ لتر.

**الحل:**

- عدد مولات $KAuCl_4$ = التركيز × الحجم (باللتر)
  = 0.3 مول/لتر × 0.5 لتر = 0.15 مول.
- من المعادلة الكيميائية الموزونة، نلاحظ أنّ عدد مولات $Au(OH)_3$ = عدد مولات $KAuCl_4$
  = 0.15 مول.
- كتلة هيدروكسيد الذّهب = عدد المولات × كتلته المولية = 0.15 مول × 248 غم/مول
  = 37.2 غم.

**سؤال** يُستخدم يوديد الرّصاص كمادة مُلوِّنة في صناعة الدّهانات، حيث يُلوِّن الدّهانات باللون الأصفر، ويمكن تحضيره من تفاعل نترات الرّصاص مع يوديد البوتاسيوم، حسب المعادلة الكيميائية الآتية:

$$Pb(NO_3)_{2(aq)} + 2KI_{(aq)} \longrightarrow PbI_{2(s)} + 2KNO_{3(aq)}$$

فإذا تَفاعل 200 سم$^3$ بتركيز 0.3 مول/لتر من محلول نترات الرّصاص مع كمية كافية من يوديد البوتاسيوم، احسب:

1- كتلة يوديد البوتاسيوم اللازمة للتفاعل.

2- كتلة يوديد الرّصاص النّاتجة.

## الحسابات الحجمية للغازات:

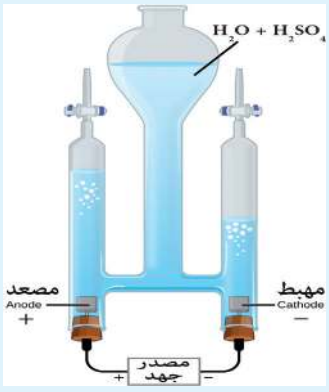
توصلنا سابقًا إلى أنّ المواد المتفاعلة تتفاعل بنسب مولية أو كتلية ثابتة، لكن كيف يتم التّعامل مع التّفاعلات الكيميائية عندما تكون المواد المتفاعلة في الحالة الغازية؟ للإجابة عن هذا التساؤل، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (5): تحليل الماء والعلاقة الحجمية بين الغازات المكوِّنة له:

#### المواد والأدوات:

ماء مقطّر، وحمض الكبريتيك، وجهاز تحليل الماء (جهاز هوفمان)، ومصدر لفرق الجهد من تيار مستمر، وقطّارة.

#### خطوات العمل:




1- املأ الجهاز بماء مقطّر ثم أضفْ 5 قطرات من حمض الكبريتيك.
2- صِلِ الجهاز بمصدر فرق الجهد الكهربائي، كما في الشّكل المُجاور.
3- اترك الجهاز موصولًا بمصدر فرق الجهد الكهربائي لمدة زمنية كافية حتى ظهور فقاعات الغاز بشكل ملحوظ.

#### الأسئلة:

1- أكتب معادلة موزونة تصف تحلل الماء.
2- ما اسم كل من الغازين المتكوِّنين على المهبط والمصعد؟
3- ما النّسبة الحجمية بين الغازين؟ قارنها بالنّسبة المولية لهما في الماء.

تتكوّن الغازات من جزيئات أو ذرّات، وبذلك تشغل حيزًا، ويعتمد حجم الغاز المحصور في وعاء مرن قابل للتمدد، على الضّغط، ودرجة الحرارة، وكمّية الغاز. ووُجد عمليًّا أنّ حجم مول واحد من أي غاز في الظّروف القياسية (المعيارية) يساوي 22.4 لترًا.

الظّروف القياسية (المعيارية) للغازات: صفر سيلسيوس، وواحد ضغط جوي.

**مثال (9):** يُستخدم غاز البروبان كوقود، ويُعرف بالغاز النّفطي المُسال، احسب حجم الأكسجين اللازم للتّفاعل مع 2.24 لتر من غاز البروبان في الظّروف القياسية.

**الحل:**

1- كتابة المعادلة الكيميائية الموزونة:

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

2- حساب حجم غاز الأكسجين:

يتبين من المعادلة الكيميائية الموزونة أنّ 1 لتر من غاز البروبان يتفاعل مع 5 لتر من غاز الأكسجين.

إذن، حجم غاز الأكسجين اللازم

= حجم غاز البروبان × (5 لتر أكسجين ÷ 1 لتر بروبان)

= 2.24 لتر × 5 = 11.2 لتر

**فَكِّرْ:**
كيف يمكن حل المثال بطريقة أخرى؟

**سؤال** تدخل الأمونيا في تحضير عدد كبير من المركّبات الكيميائية، مثل الأسمدة، ويتم تحضير الأمونيا صناعيًا من تفاعل غاز الهيدروجين وغاز النّيتروجين حسب المعادلة الكيميائية الآتية:

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

1- ما اسم هذا النوع من التّفاعلات الكيميائية؟

2- زن المعادلة الكيميائية التي تصف التّفاعل.

3- احسب كتلة الأمونيا النّاتجة من تفاعل 5 لتر من غاز النّيتروجين، مع كمّية كافية من غاز الهيدروجين في الظّروف القياسية.

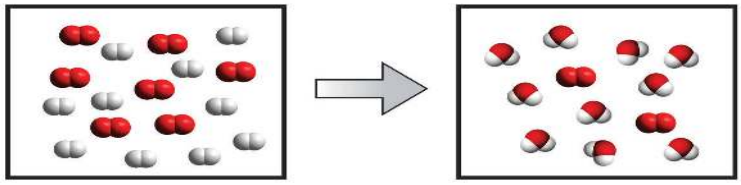
ابحث في المصادر المتوافرة عن أهمية الأمونيا في الصّناعات المختلفة.

## (4.2): المادة المحددة للتفاعل (Limiting Reactant):

عند حدوث تفاعل كيميائي معين، ماذا يحدث لو وُجِدَت بعض المواد المتفاعلة بكميّات أكبر أو أقل من الكميّات المطلوبة؟ أيهما يُستهلَك أولًا، وقود السّيارة أم أكسجين الجو؟ للإجابة عن هذه التساؤلات، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (6): مفهوم المادة المُحددة للتفاعل:

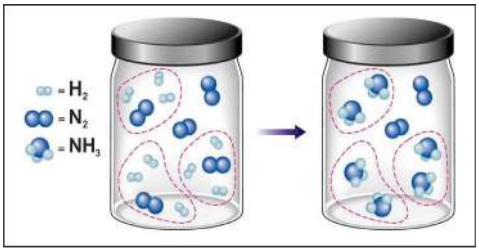
يمثل الشّكل الآتي تفاعل مجموعة من جزيئات الهيدروجين وجزيئات الأكسجين، لتكوين مجموعة من جزيئات الماء، حيث تمثل الكرات البيضاء الهيدروجين، وتمثل الكرات الحمراء الأكسجين:



**أجب عن الأسئلة الآتية:**

1- ما عدد جزيئات الهيدروجين والأكسجين قبل بدء التفاعل؟
2- ما عدد جزيئات الماء النّاتجة عند انتهاء التفاعل؟
3- ما عدد جزيئات الهيدروجين والأكسجين المتبقية بعد انتهاء التّفاعل؟
4- اكتب معادلة كيميائية موزونة تصف التّفاعل الكيميائي، ثم حدّد نوعه.

لعلّك لاحظت من خلال النّشاط السّابق، أنه ليس من الضّروري أن تتفاعل جميع جزيئات المواد الموجودة في وعاء التّفاعل؛ لأنّ المواد المتفاعلة تتفاعل بنسب مولية ثابتة. ويتوقف التّفاعل الكيميائي باستهلاك أحد المواد المتفاعلة، على الرغم من وجود كميّات من مواد متفاعلة أخرى، لم يتم استهلاكها كليًّا. وتسمى المادة المتفاعلة المستهلكة بشكل كامل **المادة المُحددة للتفاعل الكيميائي**، حيث يتوقف التّفاعل الكيميائي باستهلاكها، بينما تسمى المادة المتفاعلة التي لم تستهلك بشكل كامل **المادة الفائضة**.




**سؤال** يُمثّل الشّكل الآتي تفاعل غازَيّ الهيدروجين والنّيتروجين لإنتاج الأمونيا $NH_3$. ما المادة الفائضة، وما المادة المُحددة في التفاعل؟

ولتحديد المادة المُحددة للتفاعل الكيميائي عمليًّا، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (7): تحديد المادة المحددة في التّفاعلات الكيميائية عمليًّا:

### المواد والأدوات:

محلول هيدروكسيد الصّوديوم NaOH، تركيزه 1 مول/لتر، وحمض الهيدروكلوريك HCl، تركيزه 1 مول/لتر، وكاشف الفينولفثالين، ودورق مخروطي، وسحّاحة، ومخبار مدرّج.

### خطوات العمل:

1- ضع باستخدام المخبار المدرج 50 سم$^3$ من محلول الحمض في الدّورق المخروطي.
2- املأ السّحاحة بمحلول هيدروكسيد الصّوديوم.
3- ضع قطرتين من محلول كاشف الفينولفثالين في الدّورق المخروطي، ولاحظ لون المحلول.
4- أضف 20 سم$^3$ من محلول هيدروكسيد الصّوديوم إلى الدّورق المخروطي، ولاحظ اللون.
5- كرّر إضافة محلول هيدروكسيد الصّوديوم حتى يتغير لون المحلول في الدّورق المخروطي، وذلك بإضافة 20 سم$^3$ من محلول هيدروكسيد الصّوديوم إلى الدّورق المخروطي في كل إضافة.

### الأسئلة:

1- اكتبْ معادلة كيميائية تصف التّفاعل، ثم حدّدْ نوعه.
2- ما لون المحلول في الدّورق المخروطي قبل بداية التفاعل؟
3- ما لون المحلول في الدّورق المخروطي بعد كل إضافة من محلول هيدروكسيد الصّوديوم؟
4- ما المادة التي استهلكت عند إضافة 40 سم$^3$ من محلول هيدروكسيد الصّوديوم إلى الحمض؟
5- فسِّرْ ثبات لون المحلول في الدّورق المخروطي بداية التجربة، ثم تغيُّر لونه في نهايتها.

**مثال (10):** يُستخدم الإيثانول طبيًّا كمعقّم، كما يُستخدم كمادة أولية لتحضير عدد من المركبات العضوية، ويُمكن تحضير الإيثانول من تفاعل الإيثيلين مع الماء في وسط حمضي، كما توضح المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$C_2H_{4(g)} + H_2O_{(l)} \xrightarrow{H^+} C_2H_5OH_{(l)}$$

إذا تفاعل 180 غم من الماء، و210 غم من غاز الإثيلين، احسب كتلة الإيثانول النّاتج بعد انتهاء التفاعل، ثم احسب كتلة المادة الفائضة، علمًا أنّ الكتلة المولية للماء والإثيلين والإيثانول هي 18غم/مول، 28 غم/مول، 46 غم/مول، على التّوالي.

**الحل:**

- حساب عدد مولات المواد المتفاعلة.

عدد مولات المادة = كتلة المادة ÷ كتلتها المولية

عدد مولات الماء = 180غم ÷ 18 غم /مول = 10 مول.

عدد مولات الإيثلين = 210 غم ÷ 28 غم/مول = 7.5 مول.

- تحديد المادة المُحددة للتّفاعل.
  - قسمة عدد مولات الماء على معاملها في المعادلة الكيميائية الموزونة:
    10 ÷ 1 = 10
  - قسمة عدد مولات الإيثلين على معاملها في المعادلة الكيميائية الموزونة:
    7.5 ÷ 1 = 7.5
  - تكون المادة ذات ناتج القسمة الأقل هي المادة المُحددة للتّفاعل، وبذلك يكون الإيثلين هو المادة المُحددة للتفاعل.
- حساب عدد مولات الإيثانول.

توضح المعادلة الكيميائية الموزونة أنّ عدد مولات الإيثانول الناتجة تساوي عدد مولات الإيثلين وتساوي 7.5 مول.

- كتلة الإيثانول = عدد مولات الإيثانول × كتلته المولية
  = 7.5 مول × 46 (غم/مول) = 345 غم.

- تحديد كتلة المادة الفائضة.

بما أنّ الإيثلين هو المادة المُحددة للتّفاعل الكيميائي، فيكون الماء هو المادة الفائضة.

عدد مولات الماء الفائضة = عدد مولات الماء قبل بدء التفاعل – عدد مولات الماء المتفاعلة

يتضح من المعادلة الكيميائية الموزونة أنّ عدد مولات الماء المتفاعلة تساوي عدد مولات الإيثلين.

إذن، عدد مولات الماء الفائضة = 10 - 7.5 = 2.5 مول

كتلة الماء الفائضة = عدد مولات الماء الفائضة × كتلته المولية

= 2.5 مول × 18 (غم/مول) = 45 غم.

**سؤال** يُستخدم تفاعل الثّيرمايت في لحام سكك الحديد، حيث يتفاعل أكسيد الحديد (III) $Fe_2O_3$ مع الألمنيوم لإنتاج أكسيد الألمنيوم $Al_2O_3$ والحديد السّائل، حسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$Fe_2O_{3(s)} + 2Al_{(s)} \longrightarrow Al_2O_{3(s)} + 2Fe_{(l)}$$

إذا تفاعل 300 غم من الألمنيوم و800 غم من أكسيد الحديد (III)، أجب عما يأتي:

1- ما نوع التّفاعل الكيميائي؟
2- حدد المادة المُحددة للتّفاعل والمادة الفائضة.
3- احسب كتلة الحديد النّاتجة.

## (5.2): المردود المئوي للتّفاعلات الكيميائية (Percentage Yield):

يسعى الكيميائيون للحصول على أعلى ناتج عملي للتّفاعلات الكيميائية، وذلك بالتحكم في ظروف التّفاعلات الكيميائية. فما النّاتج الفعلي؟ وما النّاتج النّظري للتّفاعل الكيميائي؟ وما العلاقة بينهما؟ للإجابة عن هذه التساؤلات، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (8): النّاتج الفعلي والنّاتج النّظري للتّفاعل الكيميائي:

### المواد والأدوات:

محلول كربونات الصّوديوم $Na_2CO_3$، تركيزه 1 مول/لتر، ويتم تحضيره بإذابة 5.3 غم من كربونات الصّوديوم في 50 سم$^3$ من الماء المقطّر، ومحلول كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$، تركيزه 1 مول/لتر، ويتم تحضيره بإذابة 5.55 غم من كلوريد الكالسيوم في50 سم$^3$ من الماء المقطّر، وكأس زجاجي، وميزان حسّاس، وورق ترشيح، وقُمع زجاجي، ومصدر حرارة.

### خطوات العمل:

1- اخلط محلول كربونات الصّوديوم مع محلول كلوريد الكالسيوم في الكأس الزّجاجي.
2- رشّح الرّاسب باستخدام ورقة الترشيح.
3- جفّف الرّاسب، وجِدْ كتلته باستخدام الميزان الحسّاس. ماذا يُسمّى هذا النّاتج الذي حصلت عليه من التّجربة؟

### الأسئلة:

1- احسب الكتلة النّظرية لكربونات الكالسيوم المترسبة، باستخدام المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$CaCl_{2(aq)} + Na_2CO_{3(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + CaCO_{3(s)}$$

2- احسب المردود المئوي لكربونات الكالسيوم الناتج باستخدام العلاقة الآتية:

**المردود المئوي = ( النّاتج الفعلي ÷ النّاتج النّظري) × 100%**

ابحث في الأسباب التي تجعل النّاتج الفعلي أقل من النّاتج النّظري في معظم التّفاعلات الكيميائية.

**سؤال** يستخدم ثلاثي كلوريد الفسفور في تحضير عدد من المواد الكيميائية، مثل المُبيدات الحشرية، ويحضر كلوريد الفسفور من تفاعل الفسفور مع غاز الكلور، حسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية: $2P_{(s)} + 3Cl_{2(g)} \longrightarrow 2PCl_{3(s)}$

إذا تفاعل 12 غم من الفسفور مع 35 غم من غاز الكلور، احسب المردود المئوي لناتج التّفاعل، إذا كانت كتلة كلوريد الفسفور النّاتجة عمليًا 40 غم.

**سؤال** بعد دراستك هذه الوحدة، ما أثر الحسابات الكيميائية على جوانب الحياة المختلفة؟

## المشاريع العلمية:

بعد دراستك هذه الوحدة يمكنك تصميم تجربة لقياس واحدة مما يأتي:

- تركيز الكالسيوم في ماء الشرب، وتحديد مدى مطابقة النّتيجة للمواصفات الفِلَسطينية.
- المادة الفعّالة في عدة أنواع من مضادات الحموضة الموجودة في السوق المحلي، وعمل مقارنة بينها.
- تركيز الكلوريد في عيّنة مياه شرب، ومقارنة النّتيجة بالمواصفات الفِلَسطينية.

## المخدّة الهوائيّة في السّيارة (Air Bag)

توجد في السّيارات الحديثة عدة وسائل لتوفير الأمان للرّاكب عند حدوث تصادم قوي، منها المخدة الهوائيّة، وحزام الأمان. وبَدأ استخدام المخدات الهوائية في بعض السّيارات في سبعينات القرن الماضي، ولكن لا تخلو أية سيارة حديثة من المخدات الهوائية في هذه الأيام. وتصنع المخدة الهوائية من مادة النايلون، وتحتوي بداخلها على أزيد الصّوديوم $NaN_3$، ونترات البوتاسيوم $KNO_3$، والسّيليكا $SiO_2$، حيث يتم إضافة نترات البوتاسيوم والسّيليكا للتّفاعل مع الصّوديوم النّاتج من تحلل أزيد الصوديوم، وتحويله إلى مادة زجاجية غير ضارة.

عندما يحدث الاصطدام، تقوم مجموعة من المجسّات الموجودة في وحدة التّحكم الإلكتروني بإغلاق الدّارة الكهربائية التي تحوي بداخلها مكثّفًا كهربائيًّا، يوفر شحنة كهربائية قادرة على بدء التّفاعل الكيميائي بين المواد الموجودة داخل أسطوانة صغيرة بجانب المخدة الهوائية، وبعد ذلك تحدث سلسلة من التّفاعلات الكيميائية، حيث يكون أحد المواد الناتجة غاز النّيتروجين المسؤول عن نفخ المخدة الهوائية، ويتم ذلك في زمن يتراوح بين 0.16 إلى 0.2 ثانية، وبعد الاصطدام بوقت قصير، يتم تفريغ المخدة من غاز النّيتروجين المحصور بداخلها، ويمكن توضيح التّفاعلات الكيميائية بالمعادلات الكيميائية موزونة الآتية:

- $2NaN_3 \longrightarrow 2\ Na + 3\ N_{2(g)}$
- $10\ Na + 2\ KNO_3 \longrightarrow K_2O + 5\ Na_2O + N_{2\ (g)}$
- $K_2O + Na_2O + SiO_2 \longrightarrow glass$

# أسئلة الوحدة

**السُّؤال الأول:** اختر رمز الإجابة الصّحيحة في كل مما يأتي:

1 تم خلط 3.5 مول من المادة A و 5.9 مول من المادة B و 2.2 مول من المادة C، حسب المعادلة الكيميائية الافتراضية الموزونة الآتية:

$$3\ A + 2B + C \longrightarrow 2D$$

ما المادة المُحددة للتّفاعل؟

أ) A ب) B ج) C د) D

2 إذا كانت كميّة النّاتج النّظري لتفاعل كيميائي معين تساوي 0.5 مول، فما قيمة المردود المئوي لناتج التفاعل إذا كانت كميّته الفعليّة (العمليّة) تساوي 0.45 مول؟

أ) 9 %. ب) 11.1 %. ج) 90 %. د) 111.1 %.

3 تم تحليل عينة من مركّب هيدروكربوني، ووُجِدَ أنّه يحتوي على 80 % كربون، إذا كانت الكتلة المولية للمركّب هي 30 غم/مول، فما الصّيغة الجُزيئية للمركب؟

أ) $CH_3$ ب) $CH_2O$ ج) $C_2H_6$ د) $C_2H_4$

4 ما حجم 3.2 غم من غاز الأكسجين في الظّروف القياسية؟

أ) 2.24 لتر ب) 2.24 $م^3$ ج) 22.4 لتر د) 71.7 لتر

5 ما النّسبة المئوية الكتلية للفسفور في فوسفات الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$؟

أ) 10 %. ب) 20 %. ج) 31 %. د) 62 %.

**السُّؤال الثّاني:** وضّح الفرق بين كل من المُصطلحات العلمية الآتية:

1 الصّيغة الأولية والصّيغة الجُزيئية للمركّب الكيميائي.

2 المادة الفائضة والمادة المُحددة للتّفاعل الكيميائي.

3 النّاتج النّظري والنّاتج الفعلي للتّفاعل الكيميائي.

**السّؤال الثّالث:** يُستخدم الأسبرين $C_9H_8O_4$ كَمُسكِّن للألم ومُميّع للدم، ويمكن تحضيره بتفاعل أنهيدريد الأستيك $C_4H_6O_3$ مع حمض السّلسليك $C_7H_6O_3$، حسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$2C_7H_6O_{3(aq)} + C_4H_6O_{3\,(l)} \longrightarrow 2C_9H_8O_{4\,(aq)} + H_2O_{(l)}$$

إذا تفاعل 2.0 كغم من حمض السّلسليك مع 1.0 كغم من أنهيدريد الأستيك.

1 ما كتلة النّاتج النّظري للأسبرين؟

2 ما كتلة المادة الفائضة عن التّفاعل؟

**السُّؤال الرّابع:**

1 وُجد أنّ عينة من مركّب نقي تحتوي على 2.45 غم من السّيلكون، و12.64 غم من الكلور، ما الصّيغة الأولية لهذا المركب؟

2 يُضاف جلايكول الإثيلين إلى ماء المبرّد (الرّاديتر) في السّيارة؛ لخفض درجة تجمد الماء في المناطق الباردة، ويحتوي جلايكول الإيثلين على الكربون والأكسجين والهيدروجين فقط، فإذا تم حرق عينة من هذا المركّب، كتلتها 0.62 غم بوجود كميّة فائضة من الأكسجين، وقد نتج عن التّفاعل 0.88 غم ثاني أكسيد الكربون و 0.54 غم من الماء. ما الصّيغة الجُزيئية لجلايكول الإثيلين، علمًا أنّ كتلته المولية تساوي 62 غم/ مول؟

**السّؤال الخامس:** تُستخدم نترات البوتاسيوم في عدة تطبيقات، مثل صناعة الأسمدة، وتتحلل نترات البوتاسيوم بالحرارة حسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$4KNO_{3\,(s)} \longrightarrow 2K_2O_{(s)} + 2N_{2\,(g)} + 5O_{2\,(g)}$$

1 احسب عدد مولات نترات البوتاسيوم اللازم تحللها لإنتاج 5.6 كغم من غاز الأكسجين.

2 ما حجم غاز النّيتروجين النّاتج في الظّروف القياسية؟

**السُّؤال السّادس:** إذا كان تركيز محلول من حمض الهيدروكلوريك HCl 0.4 مول/لتر، احسب حجم الحمض اللازم للتّفاعل مع 6.21 غم من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$، حسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$2HCl_{(aq)} + CaCO_{3\,(s)} \longrightarrow CaCl_{2(aq)} + H_2O_{(g)} + CO_{2(g)}$$

**السُّؤال السّابع:** تم إضافة 5 غم من هيدروكسيد الصّوديوم NaOH إلى 200 سم$^3$ من حمض النّيتريك $HNO_3$، تركيزه 0.5 مول/لتر، حدّد باستخدام الحسابات الكيميائية، هل المحلول النّاتج حمضيّ أم قاعديّ أم متعادل؟

**السُّؤال الثّامن:** تحتوي عيّنة كتلتها 1.2 غم على مخلوط من كلوريد البوتاسيوم KCl وبروميد البوتاسيوم KBr، ولتحديد كميّة كل منهما، تم إذابة العيّنة في الماء، ثم أُضيفت إليها كميّة كافية من نترات الفضّة $AgNO_3$، فتكوّن راسب، كتلته 2.0 غم، احسب النّسبة المئوية الكتلية لكلوريد البوتاسيوم، وبروميد البوتاسيوم في العيّنة.

**السُّؤال التاسع** أقيّم ذاتي:

أقرأ كل عبارة من العبارات الآتية، ثم أضع إشارة ( ✓ ) في المكان المناسب:

| الرقم | العبارة | دائماً | أحياناً | نادراً |
|---|---|---|---|---|
| .1 | بإمكاني تحديد الصيغة الأولية، والصيغة الجزيئية للمركبات الكيميائية حسابياً بشكل صحيح. | | | |
| .2 | أستطيع توظيف المعادلة الكيميائية الموزونة في الحسابات الكيميائية المختلفة. | | | |
| .3 | أستطيع توظيف التجارب العلمية في الحسابات الكيميائية. | | | |
| .4 | أراعي قواعد الأمن والسلامة عند تنفيذ الأنشطة. | | | |

# الوحدة الثالثة

# المحاليل
# (Solutions)

تُعَدُّ أملاح البحر الميت من الثروات الطبيعية المميزة في فلسطين.

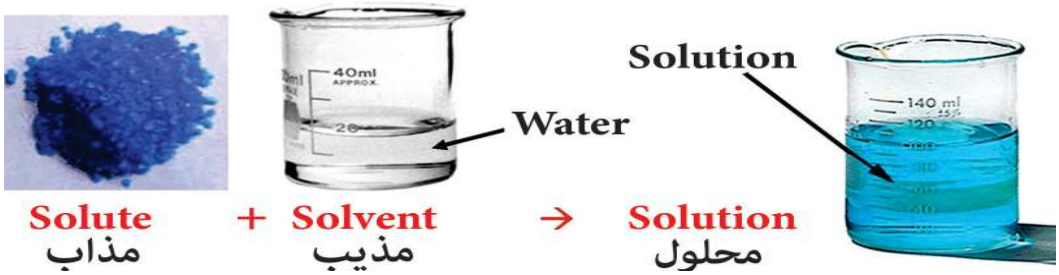
ما أهمية المحاليل في الحياة؟

**يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة، والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على توظيف المعرفة بالمحاليل في سياقات حياتية متعددة، من خلال تحقيق الآتي:**

- تصنيف أنواع المحاليل المختلفة بالمخططات والخرائط المفاهيمية.
- تفسير كيفيّة حدوث عمليّة الإذابة بالرسم.
- تصنيف عمليّة الإذابة من حيث الطاقة عملياً وبيانياً.
- تصنيف المحاليل حسب درجة الإشباع عملياً.
- استنتاج العوامل المؤثرة في الذائبيّة عملياً.
- توظيف قواعد الذائبية لكتابة معادلة كيميائية موزونة.
- حساب تركيز المحاليل بطرق متنوّعة.
- تحضير محاليل بتراكيز محددّة.
- إجراء حسابات تتعلق بعمليّة التخفيف.
- إجراء حسابات متعلقة ببعض الخواص الجامعة للمحاليل.
- البحث في تطبيقات المحاليل المختلفة.

# الفصل الأول
# أنواع المحاليل وعمليّة الإذابة

نتعامل في حياتنا اليوميّة مع عدد من المحاليل، كالهواء، وماء البحر، والسبائك المعدنية، وغيرها. وتأتي أهميّة دراسة المحاليل، والتعرّف إليها؛ لكثرتِها وانتشارها في الطبيعة، وتأثيرها المباشر علينا، إضافةً إلى أهميّتها الاقتصاديّة والصّناعية في المجتمع الفِلَسطيني والعالم. فما أنواع المحاليل؟ ولماذا تتفاوت ذائبيّة المواد في المذيبات المختلفة؟ وكيف يساعد فهمنا لتركيب المحلول على استخلاص المواد والاستفادة منها في حياتنا؟ هذه التساؤلات وغيرها ستجيب عنها بعد دراستك هذا الفصل.



## (1.1.3): أنواع المحاليل (Types of Solutions):

تعلّمت في صفوف سابقة أنّ بعض المواد يمكن أن تكون نقيّة، كالذهب، والنحاس، وملح الطعام، ولكن معظمها مخاليط من مواد مختلفة، كالهواء، وماء البحر، والصخور، وإذا كان المخلوط متجانس التركيب، عندئذٍ يسمى محلولًا. فكيف تُصنّف المحاليل؟ وما معايير تصنيفها؟ للإجابة عن هذه التساؤلات، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (1): تصنيف المواد:

تمعّن في صور المواد الآتية، ثمّ أجب عن الأسئلة التي تليها:

حديد

ماء الشرب

ماء مقطّر

سكّر

نقود معدنية

رمل في الماء

1- أي هذه المواد نقيّة، وأيها مخاليط؟
2- صنّف المخاليط إلى متجانسة وغير متجانسة.

لعلّك لاحظت من النّشاط السابق أنّ بعض المواد عبارة عن خليط متجانس، يتكوّن من مذاب ومذيب تُسمّى محاليل حقيقية. وهناك محاليل مائيّة يكون الماء أحد مكوّناتها، بينما توجد محاليل أخرى لا تحتوي على الماء، كالهواء الجوي الجاف، والفولاذ، ووقود السيارات، هذا التنوّع الهائل في تركيب المحاليل وأشكالها يجعل خيارات تصنيفها متعددة.

ولتتعرّف إلى بعض معايير تصنيف المحاليل، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (2): تصنيف المحاليل:

أكمل الجدول الآتي:

| المحاليل | تصنيف المحاليل | معيار التصنيف |
|---|---|---|
| ماء بحر، وقود السيارة | | وجود الماء كمذيب |
| الفولاذ، محلول الشاي، الهواء الجوي | صُلب، سائل، غاز | |
| | مركّز ومخفّف | كمّية المذاب في المحلول |

**سؤال** صنّفِ المحاليل المبيّنة في الصور الآتية، وحدّدْ معيار التصنيف:

**(1)**

**(2)**

**(3)**

توصّلت من النّشاط رقم (2) إلى وجود عدة معايير لتصنيف المحاليل، منها الحالة الفيزيائية للمحلول، ونوع المذيب، والتركيز، وهناك معايير أخرى، مثل حجم دقائق المذاب، والطاقة المصاحبة لعمليّة الذوبان، وغيرها. **وسوف يتم التركيز في هذه الوحدة على المحاليل المائية.**

ابحث في أنواع المحاليل من حيث حجم دقائق المذاب.

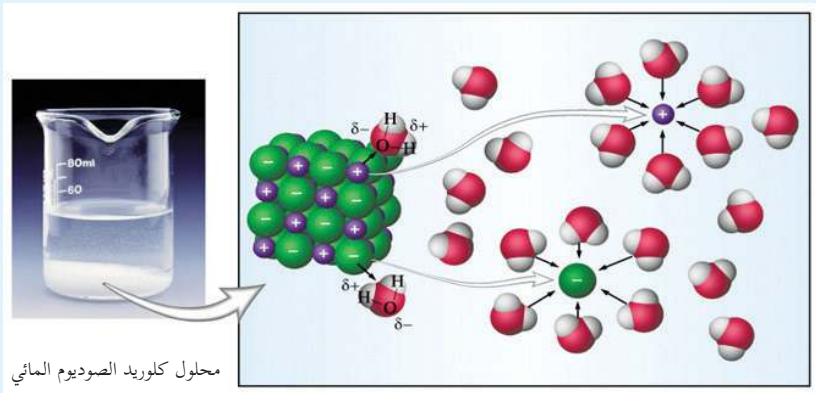
## (2.1.3): عمليّة الإذابة وحرارة المحلول
## (The Solution Process and Heat of Solution):

هل تساءلت يومًا: لماذا يذوب ملح الطعام والسّكّر في الماء؟ ولماذا لا يذوب الزيت في الماء، كما في الشكل (1)، بينما يذوب في مذيبات عضوية، كالبنزين والهكسان؟ وهل يصاحب عمليّة الإذابة تغيّر في الطاقة؟ للإجابة عن هذه التساؤلات، نَفّذِ الأنشطة الآتية:

الشكل (1): مخلوط الماء والزيت

### نشاط (3): ذوبان ملح كلوريد الصوديوم NaCl في الماء:

تأمّل الشكل الآتي جيدًا، ثمّ أجب عن الأسئلة التي تليه:

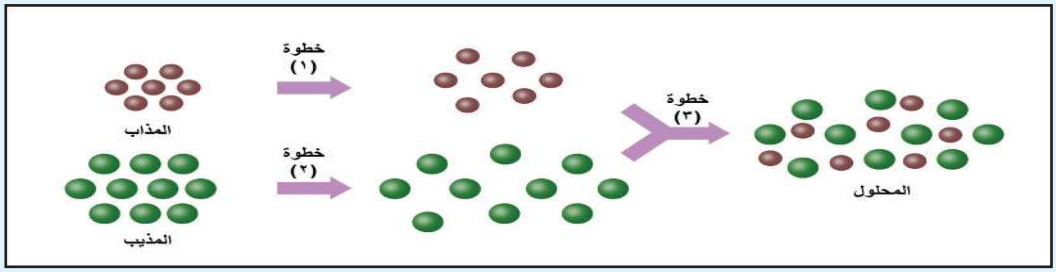



محلول كلوريد الصوديوم المائي

1- ما الذرّة في جزيء الماء التي تحمل شحنة جزئية سالبة؟ وما الذرّة التي تحمل شحنة جزئية موجبة؟

2- صف طريقة ترتيب جزيئات الماء حول أيونات الكلور وأيونات الصوديوم.

3- اقترح خطوات تفسّر حدوث عمليّة الإذابة، بناءً على المخطط الآتي:



بعد إجابتك عن الأسئلة السابقة، لاحظت أنّ لقوى التجاذب بين جزيئات المادة في حالة السيولة والصلابة دورًا مهمًّا في ربط الجزيئات بعضها مع بعض، وهذه القوى لها أيضًا دورٌ مهمٌّ في تكوين المحاليل. وللتعرّف إلى العلاقة بين المذاب والمذيب وقوى التجاذب بينهما، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط(4): العلاقة بين قوى التجاذب والذوبان:

### المواد والأدوات:

ماء مقطّر، وهكسان، وكحول، وزيت، وسكّر، وأنابيب اختبار سعة 20 مل عدد(6)، وميزان حسّاس، ومحقن طبي أو ماصة.

### خطوات العمل:

1- أحضر ستة أنابيب اختبار سعة 20 مل، ورقّمها، ثمّ ضع في الأنبوب الأول والثاني والثالث 10 مل من الماء المُقطّر.
2- أضفْ 1 غم سكّر للأنبوب الأول، و1 مل كحول للأنبوب الثاني، و1 مل زيت للأنبوب الثالث.
3- اعمل على مزج المكونات في كل أنبوب بالضرب بإصبعك على الأنبوب، أو من خلال رَجِّهِ بلطف. ماذا تُلاحظ؟
4- كرّرْ الخطوتين الثانية والثالثة باستعمال الهكسان كمذيب. ماذا تُلاحظ؟ سجّلْ ملاحظاتك في جدول.

### الأسئلة:

1- هل يختلف ذوبان المواد الثلاث في الماء والهكسان؟
2- اقترح قاعدة للتنبؤ بذوبان المواد المختلفة عند مزجها.

لعلّك لاحظت بعد تنفيذك النّشاط السابق أنّ للتركيب الجزيئي للمذاب والمذيب دورًا مهمًّا في عمليّة الإذابة، وحيث إنّ شكل الجزيء وتركيبه يحددان قطبيته. فالمواد القطبية والأيونية تذوب في المذيبات القطبية كالماء، والمواد غير القطبية تذوب في المذيبات غير القطبية كالهكسان،

والقاعدة العامة تقول: "الشبيه يذيب الشبيه" (**Like Dissolves Like**)، وهذا يعتمد على قوى التجاذب بين دقائق المذيب، وقوى التجاذب بين دقائق المذاب، وقوى التجاذب بين دقائق المذيب والمذاب عند تكوّن المحلول. ففي النّشاط السابق، نجد أنّ الزيت يذوب في الهكسان؛ لأنّ كليهما غير قطبي، والروابط بين جزيئاتهما ضعيفة ومتقاربة في القوة، ولكنه لا يذوب في الماء؛ لأنّ جزيئات الماء قطبية، وترتبط فيما بينها بترابط هيدروجيني قوي أكبر من قوة ارتباطها بجزيئات الزيت. وفي المقابل فإنّ جزيئات الكحول قطبية تذوب في الماء؛ لأنّه تنشأ بين جزيئاتهما قوى متبادلة أقوى من الروابط بين جزيئاتهما قبل تكوين المحلول.

**سؤال** أيّ المواد الآتية تذوب في الماء:

$CH_4$، $HCl$، $CCl_4$، $NH_3$؟

توصّلت مما سبق أنّه عند ذوبان مادة معيّنة في مذيب ما، فإنّ دقائق المذاب تنتشر بين دقائق المذيب، فما أثر إذابة مادة ما على درجة حرارة المحلول؟ للإجابة عن هذا التساؤل، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (5): تصنيف المحاليل حسب الطاقة المصاحبة لعمليّة الذوبان:

### المواد والأدوات:

ماء مقطّر، وثيوكبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3$، وهيدروكسيد الصوديوم NaOH، وميزان حرارة، وكأسان زجاجيان سعة كل واحد 100 مل، ومخبار مدرّج سعته 50 مل، وقضيب زجاجي.

### خطوات العمل:

1- ضَعْ 30 مل من الماء المقطّر في كل كأس، وقِسْ درجة الحرارة، وسجِّلْها.
2- زِنْ 5 غم من ثيوكبريتات الصوديوم، وضَعْها في الكأس الذي يحتوي على الماء، ثمّ حرِّكِ المحلول بقضيب زجاجي.
3- سجّلْ درجة حرارة المحلول الناتج.
4- كرّرْ الخطوات من 1-3 باستخدام هيدروكسيد الصوديوم بدلًا من ثيوكبريتات الصوديوم.

5- دَوِّنِ النتائج التي حصلت عليها في الجدول الآتي:

| المادة الذائبة | درجة الحرارة الابتدائيّة (°س) ($د_1$) | درجة الحرارة النهائيّة (°س) ($د_2$) | الفرق في درجات الحرارة ($د_1$ - $د_2$) |
|---|---|---|---|
| ثيوكبريتات الصوديوم | | | |
| هيدروكسيد الصوديوم | | | |

? بناءً على النتائج المدونة في الجدول، اقترح تصنيفًا للمحلولين حسب التغيّر في الطاقة.

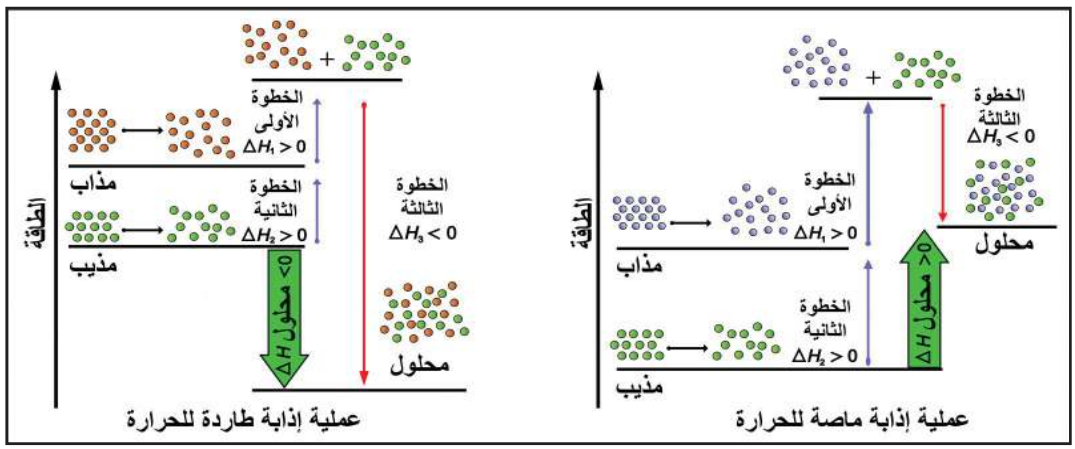
يمكن تفسير التغيّر في الطاقة الحراريّة لمحلول هيدروكسيد الصوديوم وثيوكبريتات الصوديوم، من خلال فهم آلية تكوّن المحلول، والتي تمر في ثلاث خطوات متلازمة، هي:

**الخطوة الأولى:** تباعد دقائق المذاب بعضها عن بعض، وهذا يتطلّب تزويدها بطاقة للتغلّب على قوى التجاذب بينها، وهذه عمليّة ماصّة للطاقة ($\Delta H_1$).

**الخطوة الثانية:** تباعد دقائق المذيب بعضها عن بعض، وهذا يتطلّب تزويدها بطاقة للتغلّب على قوى التجاذب بينها، وهذه أيضًا عمليّة ماصّة للطاقة ($\Delta H_2$).

**الخطوة الثالثة:** تجاذب دقائق المذيب مع دقائق المذاب؛ لتكوين قوى جديدة بينهما، وهذه عمليّة طاردة للطاقة ($\Delta H_3$).

وتسمى محصلة الطاقة المصاحبة لعمليّة الإذابة **حرارة المحلول**، وقد تكون ماصّة للطاقة أو طاردة لها، كما في الشكل (2):




الشكل(2): مخطط تمثيلي لتغيرات الطاقة المصاحبة لعملية الإذابة

بالاعتماد على الشكل (2) السابق، أجب عن الأسئلة الآتية:

1- هل يمكن أن يحتوي المحلولان على المذاب نفسه؟ فسّر إجابتك.

2- هل يمكن أن يحتوي المحلولان على المذيب نفسه؟ فسّر إجابتك.

3- في أيّ المحلولين تكون قوة التجاذب بين دقائق المحلول أكبر؟ فسّر إجابتك.

4- اكتب علاقة رياضيّة تربط بين التغيّر في المحتوى الحراري للمحلول وتغيّرات الطاقة المصاحبة لتكوينه.

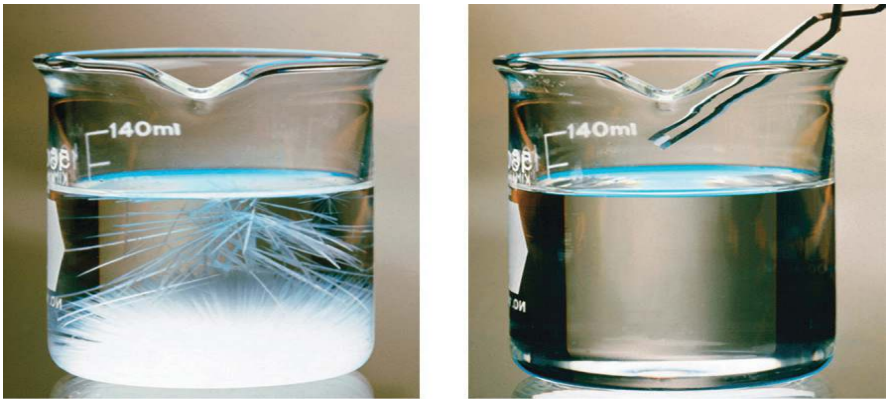
5- بناءً على العلاقة الرياضيّة التي توصّلت إليها، متى تكون عمليّة تكوّن المحلول ماصّة للطاقة؟ ومتى تكون طاردة؟

**نشاط استقصائي**

ارسم مخططًا تمثيليًّا لتغيرات الطاقة المصاحبة لعمليّة إذابة كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$ في الماء.

## (3.1.3): الذائبية (Solubility):

تعرفّت في صفوف سابقة إلى أنواع المحاليل من حيث الإشباع، فهناك **المحلول غير المشبع** الذي يستطيع إذابة كمّية إضافية من المذاب، **والمحلول المشبع** الذي يحتوي على أكبر كمّية من المادة المذابة عند درجة الحرارة نفسها، ويُرسّب أية كميّة إضافية من المذاب، أما **المحلول فوق المشبع** فهو يحتوي على كمّية من المادة المذابة أكثر مما هو متوقع في حالة الإشباع، وهو حالة غير مستقرة، يمكن الإخلال بها بسهولة، مثل تحريك المحلول، أو إضافة كمية قليلة من بلورات المذاب، كما في الشكل (3).




الشكل (3): تبلور أسيتات الصوديوم من محلوله فوق المشبع

وتعرّف **الذائبيّة** بأنّها أكبر كمّية من المذاب التي يمكن أن تذوب في 100 غم مذيب عند درجة حرارة معينة وضغط معيّن؛ للحصول على محلول مشبع. وعندما يصل المحلول إلى حد الإشباع يكون في حالة من الاتزان الديناميكي، وهو الحالة التي يكون فيها معدل ذوبان المذاب مساويًا تمامًا لمعدل ترسبه:

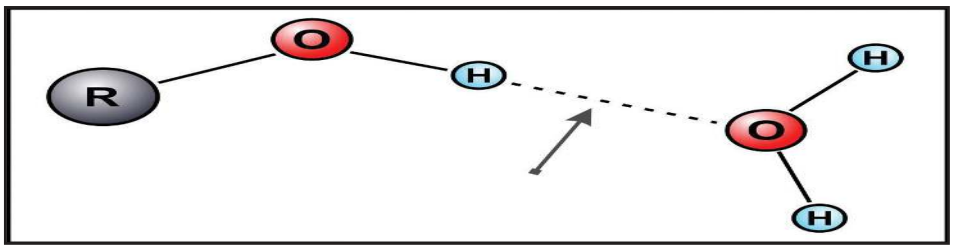
ذوبان المذاب ⟷ ترسُّب المذاب

ويمكن تحضير المحلول فوق المشبع بإذابة كميّة زائدة عن حد الإشباع من المذاب في كتلة ثابتة من المذيب بوساطة التسخين، ويترك المحلول لتنخفض درجة حرارته في سكون دون تحريك.

**وتتوقف ذائبيّة المواد في مذيب معين على عدة عوامل، منها: طبيعة المذاب والمذيب، ودرجة الحرارة، والضغط.**

## أولًا: طبيعة المذاب والمذيب:

بالإضافة إلى مدى التوافق بين قوى التجاذب بين دقائق المحلول مقارنةً مع تلك الموجودة بين دقائق المذيب النقي والمذاب النقي، هناك عوامل أخرى ترتبط بطبيعة كل من المذيب والمذاب تؤثر في عملية الإذابة، منها الكتلة المولية للمذاب، والتركيب الجزيئي للمذاب والمذيب، ومثال ذلك: ذائبية البنتانول $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH$ في الماء قليلة مقارنة مع الذائبية العالية للميثانول $CH_3OH$؛ لأنه بزيادة طول السلسلة الكربونية للكحول يقل التأثير النسبي لمجموعة الهيدروكسيل (-OH) القطبية، ويزداد تأثير الشق الهيدروكربوني غير القطبي؛ ما يقلّل من ذائبيّته في الماء، وزيادتها في المذيبات غير القطبية. ويذوب البنتانول في الماء والجازولين (مكونه الرئيس هو $C_8H_{18}$)؛ لاحتواء البنتانول على شق قطبي وهو مجموعة الهيدروكسيل (-OH) الذي يكوّن ترابطًا هيدروجينيًّا مع أكسجين الماء، فتذوب في الماء، كما في الشكل (4)، ويحتوي البنتانول كذلك على شق هيدروكربوني غير قطبي يجعله يذوب في المذيبات غير القطبية، مثل الجازولين.




الشكل (4): تمثيل للترابط الهيدروجيني بين جزيء الماء ومجموعة الهيدروكسيل في جزيء الكحول

وإذا كان المذاب مادة أيونية كالأملاح، فإنّ ذائبيّتها تختلف من ملح لآخر، فذائبية AgCl تساوي $9.00 \times 10^{-4}$ غم/100 غم ماء عند 20 °س، في حين ذائبية NaCl تساوي 36.00 غم/100 غم ماء عند درجة الحرارة نفسها، ويعزى ذلك؛ لقوة الرابطة الأيونية في البلورة من جهة وأيونات الملح والمذيب من جهة أخرى، فهذه الأملاح لا تذوب إلا في المذيبات التي لها قدرة كافية على تشكيل روابط قوية مع تلك الأيونات.

أما بالنسبة لذائبية الغازات في الماء، فإنّ الغازات غير القطبية، مثل $O_2$، والغازات قليلة القطبية مثل NO تكون ذائبيتها قليلة جدًا؛ بسبب ضعف قوة ترابط جزيئات المذيب بالمذاب، وعلى الرغم من ذلك، فإنّ الكائنات الحيّة المائيّة ستموت دون هذه الكميّة القليلة، ومن ناحية أُخرى هنالك غازات ذائبيتها في الماء كبيرة جدًا، مثل HCl؛ لأنّها تتفاعل مع الماء كالآتي:

$$HCl_{(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

**فَكِّرْ:**

على الرغم من أنّ غاز ثاني أكسيد الكربون غير قطبي، إلا أنّ ذائبيّته في الماء أعلى بكثير من ذائبيّة $O_2$ و $N_2$ .

## ثانيًا: درجة الحرارة:

يعتمد تأثير درجة الحرارة على ذائبيّة المادة على حرارة المحلول. وللتعرّف إلى تأثير درجة الحرارة على ذائبيّة الأملاح في الماء، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (6): أثر درجة الحرارة على ذائبيّة الأملاح:

**المواد والأدوات:**

نترات البوتاسيوم $KNO_3$، وماء مقطّر، وأنبوبا اختبار سعة 20 مل، وكؤوس زجاجية، وميزان حرارة، وميزان حسّاس، وورق ترشيح، وقُمع ترشيح، ودوارق مخروطيّة، وحامل أنابيب، وقضيب زجاجي.

**خطوات العمل:**

1- خُذ أنبوبَي اختبار، وضع في كل منها 10 غم ماء مقطّر.
2- حضّر كأسين زجاجيين كحمّام مائي، في أحدهما ثلج مجروش مع الماء، والآخر ماء بدرجة حرارة الغرفة.

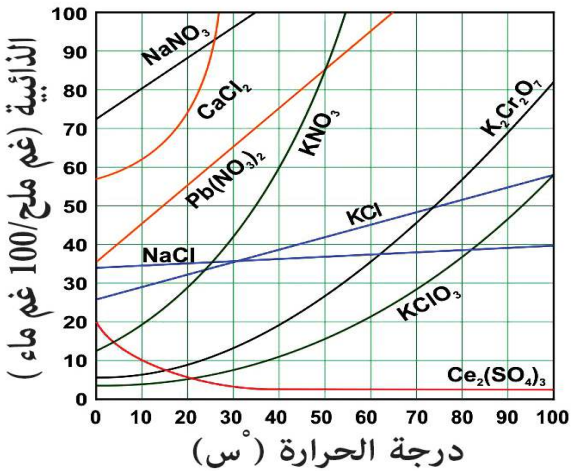
3- ضع كل أنبوب في كأس من الكؤوس، وانتظر حتى تتساوى درجة حرارة الماء في الأنبوب مع درجة حرارة الماء في الكأس، وابدأ بإضافة نترات البوتاسيوم إلى الأنبوبين تدريجيًّا مع التحريك بوساطة قضيب زجاجي، حتى يصل كل محلول إلى حالة الإشباع.

4- رشّحْ كل محلول ناتج، وزِنِ المحلول الراشح بوساطة الميزان الحسّاس، ماذا تلاحظ على الوزن مقارنة بوزن الماء الذي وضعته في الأنبوبين قبل إضافة الملح؟ جد كميّة الملح الذائبة.

5- سجّل النتائج في الجدول الآتي:

| الملح | كميّة الملح الذائبة عند صفر(ْس) | كميّة الملح الذائبة عند درجة حرارة الغرفة |
|---|---|---|
| نترات البوتاسيوم في 10 غم ماء | | |
| نترات البوتاسيوم في 100 غم ماء | | |

لعلّك لاحظت من النشاط السابق أنّ ذائبيّة نترات البوتاسيوم في الماء تزداد بزيادة درجة الحرارة، وهذا ينطبق على كثير من الأملاح، والشكل(5) يبيّن منحنيات الذائبيّة لعدد من الأملاح في الماء عند درجات حرارة مختلفة.




الشكل (5): منحنيات الذائبيّة لعدد من الأملاح في الماء عند درجات حرارة مختلفة

تقل ذائبيّة معظم الغازات في الماء بزيادة درجة الحرارة.

**مثال (1):** بالاعتماد على الشكل (5)، أجب عن الأسئلة الآتية:

1- أي الأملاح تقل ذائبيّتها بزيادة درجة الحرارة؟

2- أي الأملاح أقل ذائبيّة عند 10 ْس؟

3- ما أكبر كميّة من كلوريد البوتاسيوم KCl يمكن أن تذوب في 200 غم ماء عند 80 ْس؟

4- ماذا تعنى كل نقطة على المنحنى؟

5- عيّن نقطة تمثّل محلولًا غير مشبع، وأخرى تمثّل محلولًا فوق مشبع لملح كلوريد البوتاسيوم KCl.

**الحل:**

1- تلاحظ من الشكل أنّ ملح كبريتات السيريوم $Ce_2(SO_4)_3$ تقل ذائبيّته بزيادة درجة الحرارة، وهذا يعتمد على حرارة المحلول، فإذا كانت حرارة المحلول الملحي المشبع مكتسبة (ماصّة)، فإنّ تسخين المحلول سيزيد من ذائبيّة الملح المذاب، وإذا كانت مفقودة (طاردة)، فإنّ تسخينه سيقلل من ذائبيّة الملح المذاب.

2- تلاحظ من الشكل أنّ الملح الذي له أقل ذائبيّة عند 10 °س هو ملح $KClO_3$.

3- تلاحظ من منحنى ذائبية كلوريد البوتاسيوم عند درجة حرارة 80 °س:

يذوب تقريبًا 52 غم KCl في 100 غم ماء.

يذوب س غم KCl في 200 غم ماء.

إذن، س = 104غم من KCl تذوب في 200 غم ماء.

4- تعني كل نقطة على المنحنى أنّ كل ملح وصل لحالة إشباع عند تلك الدرجة من الحرارة، وتختلف حالة الإشباع من درجة لأخرى.

5- لتعيين نقطة تمثل محلولًا غير مشبع، نأخذ أي نقطة تقع تحت المنحنى لملح KCl، فمثلًا: عند 50 °س النقطة التي تقابل 20 غم تمثّل محلولًا غير مشبع للملح. ولتعيين نقطة فوق مشبع، نأخذها فوق المنحنى، مثل النقطة المقابلة لـ 50 غم تمثل محلولًا فوق مشبع.

## ثالثًا: الضغط:

بصورة عامة **لا** يؤثر الضغط على ذائبيّة المواد الصلبة والسائلة في المذيبات السائلة. ولكنّ بالنسبة للغازات، فإنّ ذائبيّتها تزداد بزيادة ضغطها الجزئي الواقع على سطح المحلول، ولربما لاحظت يومًا عند فتحك عبوّة مشروب غازي تناثر المشروب خارج العبوّة. لماذا؟

**نشاط استقصائي:**

صمم مخططًا للحصول على أكبر كميّة من نترات البوتاسيوم $KNO_3$ النقيّة إذا أعطيت خليطًا من ملحين كتلته 50 غم مكون من 5 غم كلوريد الصوديوم NaCl و 45 غم من نترات البوتاسيوم.

## (4.1.3): قواعد الذائبيّة (Solubility Rules):

تعلّمت في الصف العاشر أنّ الماء مذيب جيّد لكثير من المواد، كالمركبات الأيونية. وتبيّن لك من الدرس السابق أنّ ذائبيّة المركّبات الأيونية في الماء تتفاوت من مادة لأخرى عند الظروف نفسها.

والجدول (1) يبيّن ذائبيّة بعض المركّبات الأيونية عند درجة حرارة 20 ْس.

الجدول (1): ذائبيّة بعض المركبات الأيونية عند درجة حرارة 20 ْس

| اسم المركّب | الصيغة الكيميائية | الذائبيّة (غم/100 غم ماء) |
|---|---|---|
| كبريتات الباريوم | $BaSO_4$ | 0.00025 |
| هيدروكسيد الكالسيوم | $Ca(OH)_2$ | 0.17 |
| بروميد الليثيوم | LiBr | 166.00 |
| نترات الفضة | $AgNO_3$ | 222.00 |
| كلوريد الصوديوم | NaCl | 36.00 |
| كربونات الليثيوم | $Li_2CO_3$ | 1.30 |

نلاحظ من الجدول السابق تباين ذائبيّة المركّبات الأيونية في الماء، فبعضها عالية الذوبان، وبعضها شحيحة الذوبان في الماء، وللتعرّف عمليًّا إلى مدى ذائبيّة المركّبات الأيونية في الماء، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (7): التعرّف إلى ذائبيّة المركّبات الأيونية في الماء:

### المواد والأدوات:

ماء مقطّر، وكربونات الكالسيوم $CaCO_3$ (مسحوق الطباشير)، ودايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$، وكلوريد الصوديوم NaCl، وكؤوس زجاجية، وقضيب زجاجي.

### خطوات العمل:

1- ضع في كل كأس زجاجي 50 مل من الماء.
2- أضفْ إلى الكأس الأول 5 غم من كربونات الكالسيوم، وإلى الكأس الثاني 5 غم دايكرومات البوتاسيوم، وإلى الكأس الثالث 5 غم كلوريد الصوديوم، ثمّ حرّك محتويات كل كأس باستخدام القضيب الزجاجي.

? صف ذائبيّة كل من المواد السابقة.

يتبين من النّشاط السابق أنّ بعض المواد تذوب في الماء، والبعض الآخر شحيح الذوبان، لذا تم وضع قواعد عامة تساعد في التنبؤ بنواتج التفاعلات الأيونية في المحاليل المائية، وباستخدام

هذه القواعد **تم تصنيف المركبات الأيونية إلى قسمين: مركبات ذائبة، ومركبات غير ذائبة، وقد تمّ تصنيف المواد شحيحة الذوبان ضمن المواد غير الذائبة.**

## أهم قواعد الذائبيّة:

1- جميع أملاح الفلزات القلوية ($Cs^+$ ، $Rb^+$ ، $K^+$ ، $Na^+$، $Li^+$) ذائبة.

2- جميع أملاح النترات ($NO_3^-$)، والأسيتات ($C_2H_3O_2^-$)، والكلورات ($ClO_3^-$)، والبيروكلورات ($ClO_4^-$)، والأمونيوم ($NH_4^+$) ذائبة.

3- جميع أملاح $I^-$، $Br^-$، $Cl^-$، ذائبة، باستثناء هاليدات $Ag^+$، $Hg_2^{2+}$ ، $Pb^{2+}$، $Cu^+$.

4- جميع أملاح الكبريتات ($SO_4^{2-}$) ذائبة، باستثناء كبريتات $Ba^{2+}$ ، $Sr^{2+}$، $Pb^{2+}$ ، $Ca^{2+}$ ، $Hg_2^{2+}$، $Ag^+$.

5- جميع أملاح الكربونات ($CO_3^{2-}$)، والفوسفات ($PO_4^{3-}$)، والكرومات ($CrO_4^{2-}$)، والكبريتيد ($S^{2-}$) غير ذائبة، باستثناء أملاح الفلزات القلوية، وأملاح الأمونيوم.

6- جميع الهيدروكسيدات، وجميع أكاسيد الفلزات غير ذائبة، باستثناء هيدروكسيدات وأكاسيد الفلزات القلوية، وبعض هيدروكسيدات القلويات الترابية $Ba^{2+}$، $Ca^{2+}$، $Sr^{2+}$.

**مثال (2):** بالاعتماد على قواعد الذائبيّة، أي من الأملاح الآتية ذائب، وأيها غير ذائب؟

$KNO_3$ ، $Fe(OH)_3$ ، $AgCl$.

**الحل:**

$KNO_3$: حسب القاعدة رقم (1) يعدُّ ملحًا ذائبًا.

$Fe(OH)_3$: حسب قاعدة رقم (6) يعدُّ ملحًا غير ذائب.

$AgCl$: حسب قاعدة رقم (3) يُعدُّ ملحًا غير ذائب.

**سؤال** بالاعتماد على قواعد الذائبيّة، أيّ المركبات الآتية ذائب وأيها غير ذائب في الماء، ثمّ اكتب أنواع الأيونات لكل مركب ذائب: $Ca_3(PO_4)_2$ ، $Ba(OH)_2$ ، $CuS$ ، $MnSO_4$ .

### نشاط استقصائي:

لديك محاليل الأملاح الآتية: نترات الفضة $AgNO_3$ ، وبروميد الكالسيوم $CaBr_2$، وكرومات البوتاسيوم $K_2CrO_4$. حدد صيغة الأملاح المترسّبة التي يمكن الحصول عليها من خلط محلولَي ملحين معًا من مجموعة الأملاح السابقة.

# أسئلة الفصل

**السُّؤال الأول:** اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1 ما المحلول المشبع؟

أ) محلول يمكنه استيعاب كميّة إضافية من المذاب عند الظروف نفسها.

ب) محلول يحتوي على كميّة من المذاب أكثر مما يلزم للإشباع عند الظروف نفسها.

ج) مخلوط غير متجانس.

د) محلول في حالة اتزان ديناميكي، ولا يستطيع استيعاب كميّة إضافية من المذاب عند الظروف نفسها.

2 أي من الأيونات الآتية يُرسّب أيون $Ca^{2+}$ في المحاليل المائية؟

أ) $C_2H_3O_2^-$ ب) $CO_3^{2-}$ ج) $NO_3^-$ د) $I^-$

3 أي من الوحدات الآتية تعبر عن ذائبيّة المواد الصلبة في الماء؟

أ) مول/100 غم ماء. ب) مول/كغم ماء. ج) غم/100 غم ماء. د) غم/سم$^3$ ماء.

4 أي من المواد الآتية تذوب في الهكسان الحلقي $C_6H_{12}$؟

أ) اليود. ب) كلوريد الصوديوم. ج) الماء. د) نترات الفضة.

5 أُضيف 184 غم من الملح إلى 400 مل ماء مقطّر بدرجة حرارة 50 ْس، ثمّ رُشِّحَ المحلول وجُفّف الراسب، فَوُجِد أنّ كتلته تساوي 40 غم، ما ذائبيّة الملح عند تلك الدرجة؟

أ) 144 غم. ب) 120 غم. ج) 40 غم. د) 36 غم.

**السُّؤال الثاني:** علل الآتية:

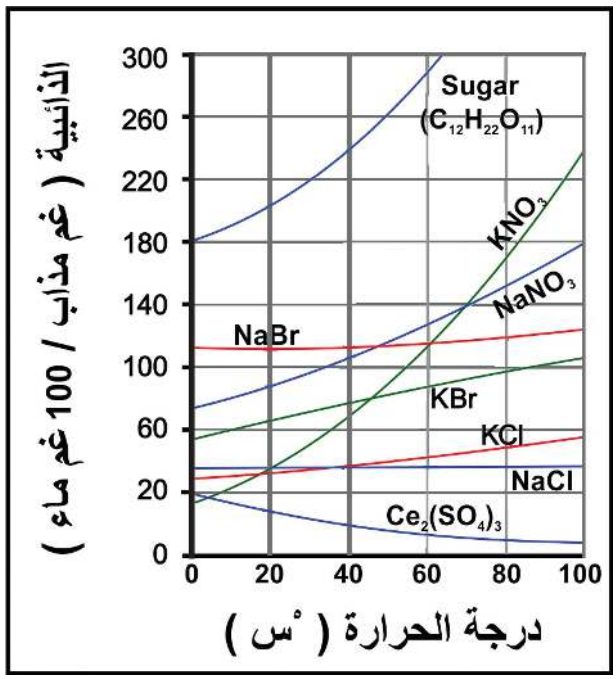
1 يذوب البروبانول $CH_3CH_2CH_2OH$ في الماء، ورابع كلوريد الكربون $CCl_4$.

2 عند فتح غطاء إحدى عبوات المشروبات الغازية، نلاحظ انطلاق فقاعات من الغاز.

3 تزداد ذئبية يوديد البوتاسيوم KI في الماء بارتفاع درجة الحرارة.

**السُّؤال الثالث:** مستعيناً بقواعد الذائبية، اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة، لتفاعل محلول كبريتات الصوديوم $Na_2SO_4$ مع محلول كلوريد الباريوم $BaCl_2$.

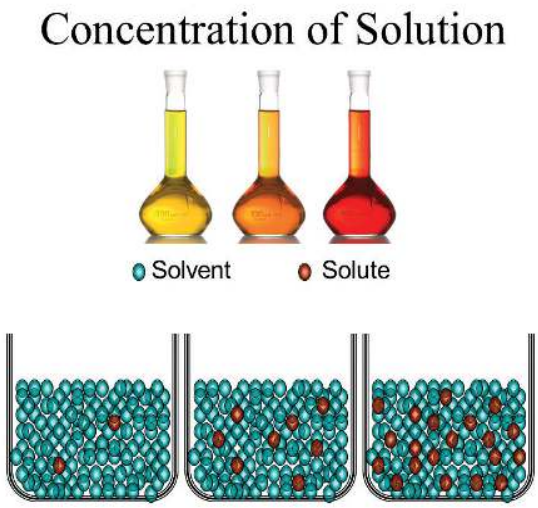
**السُّؤال الرابع:** تأمّلِ الشكل الآتي الذي يمثل ذائبيّة بعض المواد في الماء، ثمّ أجب عن الأسئلة الآتية:




1. عند أي درجة حرارة تتساوى ذائبيّة نترات الصوديوم ونترات البوتاسيوم؟
2. ما مقدار ذائبيّة السّكّر عند 60 °س؟
3. ما أكبر كميّة من كلوريد الصوديوم يمكن أن تذوب في 1 كغم من الماء عند درجة 100 °س؟

# الفصل الثاني
# تركيز المحاليل وخواصها الجامعة

تعرفّت في الفصل السابق إلى أنواع المحاليل، وصنّفتها وفق معايير متنوّعة، منها المحاليل المركّزة والمخفّفة، ويعد تحديد كمّية المذاب والمذيب في المحلول مهمة في حياتنا اليوميّة، فعلى سبيل المثال: زيادة كمّية المادة الفعّالة في الدواء له آثار جانبية أحيانًا، وزيادة كمّية ملح الطعام في غذائنا يسبّب ارتفاع ضغط الدم عند بعض الناس. فما المقصود بتركيز المحلول؟ وما طرق التعبير عنه؟ وما أثر تركيز المحلول على خواصّه الفيزيائية؟ هذه التساؤلات وغيرها، ستتمكّن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل.



## (1.2.3): طرق التعبير عن تركيز المحاليل (Quantitative Ways of Expressing Concentration):

تحرص الشركات والمصانع الغذائية والدوائية، والمختبرات الطبيّة على استخدام المحاليل بتراكيز محدّدة؛ وللتعرّف إلى مفهوم تركيز المحلول، تأمل الشكل (1) الذي يبيّن محاليل مائيّة مختلفة لبيرمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$، ثمّ أجب عن السُّؤال الذي يليه:

المحلول (1) المحلول (2) المحلول (3)

الشكل (1): محاليل مائية لبيرمنغنات البوتاسيوم

رتّب المحاليل المبيّنة في الشكل (1) حسب التركيز، وما المعيار الذي استندت إليه؟

تبيّن لك من خلال مناقشة السُّؤال السابق، أنّه يمكن تصنيف المحاليل من حيث التركيز بطريقة وصفيّة من خلال اللون، ولكن هل يمكن تحديد كميّة المذاب بدقة؟ يشير مصطلح التركيز إلى العلاقة الكميّة بين المذاب والمذيب في المحلول، وللتعرّف إلى هذه العلاقة، نفّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (1): العلاقة الكميّة بين المذاب والمذيب:

#### المواد والأدوات:

سكّر المائدة (السكّروز) $C_{12}H_{22}O_{11}$، وماء مقطّر، ودورق حجمي سعة 100 مل، وقضيب زجاجي، وميزان حسّاس.

#### خطوات العمل:

1- زِن الدورق الحجمي وهو فارغ وجاف، وسجّلْ كتلته ($ك_1$).
2- أضفْ 10غم من السّكّر إلى الدورق الحجمي، وسجّلْ كتلته ($ك_2$).

3- أضف قليلًا من الماء إلى الدورق الحجمي مع التحريك بشكل دائري بعناية حتى تذوب كميّة السّكّر.

4- أكمل حجم المحلول في الدورق الحجمي حتى العلامة 100 مل الموجودة على عنق الدورق الحجمي.

5- زِن الدورق ومحتوياته ($ك_3$).

6- جد كتلة الماء كما يأتي: كتلة الماء = ($ك_3$) − ($ك_1$ + $ك_2$).

دورق حجمي

**باستخدام النتائج التجريبية، جد ما يأتي:**

* عدد مولات المذاب (السكّروز)، وعدد مولات المذيب (الماء).
* النسبة بين كتلة المذاب إلى مجموع كتلة المذاب والمذيب.
* النسبة بين كتلة المذاب إلى حجم المحلول.
* النسبة بين عدد مولات المذاب إلى مجموع مولات المذاب والمذيب.
* النسبة بين عدد مولات المذاب إلى حجم المحلول.
* النسبة بين عدد مولات المذاب إلى كتلة المذيب (كغم).

لعلّك توصّلت من النّشاط السابق أنّه باستطاعتك التّعبير عن تركيز المحلول بطرق مختلفة، منها النسبة المئوية للمذاب، والمولارية، والمولالية، والكسر المولي للمذاب.

## أولًا: النسبة المئوية للمذاب (Percent Concentration):

يمثل الشكل (2) محاليل متنوّعة مكتوب عليها تراكيز بنسب مئوية مختلفة. ماذا تعني لك هذه النسب؟

الشكل (2): محاليل بتراكيز متنوّعة

تعبّر هذه النسب المئوية عن نسبة المذاب إلى المذيب في المحلول، فإذا كانت كميّة المذاب والمذيب بوحدة الكتلة، يسمى التركيز النسبة المئوية الكتلية (Mass Percent). ويمكن إيجادها من العلاقة الرياضيّة الآتية:

**النسبة المئوية الكتلية للمذاب = (كتلة المذاب ÷ كتلة المحلول) × 100 %**

حيث إنّ كتلة المحلول = كتلة المذاب + كتلة المذيب

وعند التعبير عن تركيز محاليل السوائل في السوائل يفضل استخدام النسبة المئوية الحجمية للمذاب.

1 لتر= 1000سم$^3$
= 1000 مل.

ويمكن إيجادها من العلاقة الرياضيّة الآتية:

**النسبة المئوية الحجمية للمذاب = (حجم المذاب ÷ حجم المحلول)× 100 %**

**مثال(1):** يُستخدم محلول هيبوكلوريت الصوديوم NaOCl في إزالة البقع عن الملابس، وفي تبييض ألياف لب الخشب المستخدم في صناعة الورق، فإذا احتوى محلول كتلته 200 غم على 30 غم من هيبوكلوريت الصوديوم. احسب النسبة المئوية الكتلية لهيبوكلوريت الصوديوم في المحلول.

**الحل:**

النسبة المئوية الكتلية = (كتلة المذاب ÷ كتلة المحلول) × 100%

إذن، النسبة المئوية الكتلية لهيبوكلوريت الصوديوم =

( 30 غم NaOCl ÷ 200 غم ) × 100 % = 15 %

**مثال(2):** فوق أكسيد الهيدروجين $H_2O_2$ سائل لا لون له، يُستخدم محلوله مطهرًا، وفي قصر ألوان المواد الحسّاسة، كالشعر، والريش، والقطن، ويُستخدم أيضًا في تنظيف الصور الزيتية القديمة. فإذا تم تحضير محلول مائي من فوق أكسيد الهيدروجين، تركيزه 3 % بالحجم. فما حجم فوق أكسيد الهيدروجين الموجود في 400 مل من هذا المحلول؟

**الحل:**

النسبة المئوية الحجمية للمذاب = (حجم المذاب ÷ حجم المحلول) × 100%

3 % = (حجم $H_2O_2$ ÷ 400) × 100%

إذن، حجم $H_2O_2$ الموجود في 400 مل من هذا المحلول = 12 مل.

**وهناك طريقة أخرى للتعبير عن النسبة المئوية لتركيز المحاليل تتمثل بنسبة كتلة المذاب إلى حجم المحلول، ومثال ذلك: إذابة كلوريد الصوديوم الصُّلب في حجم معيّن من الماء.**

**مثال (3):** يُستخدم محلول سكّر الجلوكوز في المشافي بتركيز 5 % (غم/سم$^3$)، كم غرامًا من سكّر الجلوكوز يلزم لتحضير 1.5 لتر من هذا المحلول؟

**الحل:**

النسبة المئوية (كتلة/ حجم) = ( كتلة المذاب ÷ حجم المحلول) × 100 %

5 % = (كتلة سكّر الجلوكوز ÷ 1500) × 100 %

إذن، كتلة سكّر الجلوكوز اللازمة = 75 غم.

إذا كانت كميّة المذاب في المحلول صغيرة جدًّا، فيمكن التعبير عن تركيزه بنسبة جزء من مليون (ppm)، والتي تعبر عن كميّة المذاب مثلًا بالمليغرام لكل لتر من المحلول. أو بنسبة جزء من بليون (ppb)، والتي تعبر عن كميّة المذاب بالمليغرام/ م$^3$ من المحلول. وتُستخدم هذه الطريقة في القياسات الدقيقة، خاصةً في مصانع الأدوية، وتركيز المبيدات الحشرية والعشبية في الأنسجة الحيّة، وتركيز الأيونات المعدنيّة في الماء، والشكل(3) يوضح تركيز الأيونات في مياه الشرب. فعلى سبيل المثال، نلاحظ أن تركيز أيونات الفلوريد يساوي 0.2 ppm، وهذا يعني أنّ كل لتر من المحلول يحتوي على 0.2 ملغم.

| مياه معدنية طبيعية | | |
|---|---|---|
| Ingredients | mg/L | المحتويات |
| $HCO_3^-$ | 313.5 | بيكربونات |
| $Ca^{++}$ | 75.85 | كالسيوم |
| $Cl^-$ | 50 | كلوريد |
| $Na^+$ | 25.3 | صوديوم |
| $SO_4^{--}$ | 20.5 | كبريتات |
| $Mg^{++}$ | 28.7 | مغنيسيوم |
| $NO_3^-$ | 26.3 | نيترات |
| $K^+$ | 2.9 | بوتاسيوم |
| $F^-$ | 0.2 | فلوريد |
| $PO_4^{---}$ | 0.16 | فوسفات |
| Fe | 0 | حديد |
| $NO_2^-$ | 0 | نيتريت |
| TDS | 390 | الأملاح الكلية الذائبة |
| PH | 8.05 | الرقم الهيدروجيني |

الشكل (3): تركيز الأيونات في مياه الشرب

**سؤال** يُعَدُّ الجليسرين $C_3H_8O_3$ مادة كيميائية عديمة اللون والرائحة، ويمتاز بخواص طبيعية تجعل منه مادةً مهمةً في صناعة مواد التجميل. ما النسبة المئوية الكتلية والحجمية للجليسرين في محلول يحتوي على 10 سم$^3$ جليسرين مذاب في 250 غم ماء، علمًا أنّ كثافة الجليسرين تساوي 1.26غم/سم$^3$ ، وكثافة الماء تساوي 1 غم/سم$^3$.

## ثانيًا: المولارية (م) (Molarity(M)):

تعلم أنّ هناك كثيرًا من التفاعلات لا تتم إلا في وسط مائي، وحيث إنّ المعادلة الكيميائية تحدث بنسب مولية ثابتة، لذا كان لابد من إيجاد تعبير للتركيز يرتبط بعدد المولات، فلجأ الكيميائيون إلى مصطلح **التركيز المولاري (م)**، والذي يساوي عدد مولات المذاب في لتر من المحلول.

**المولارية (مول/لتر) = عدد مولات المادة المذابة ÷ حجم المحلول (لتر)**

**مثال(4):** يُستخدم هيدروكسيد الصوديوم NaOH في صناعة الصابون، فعند تحضير محلول بإذابة 10 غم من هيدروكسيد الصوديوم في 630 مل من محلوله المائي. جد تركيز المحلول بالمولارية(م)، علمًا أنّ الكتلة المولية لهيدروكسيد الصوديوم = 40 غم/مول.

**الحل:**

المولارية(مول/لتر) = عدد مولات المادة المذابة ÷ حجم المحلول (لتر)

عدد المولات = الكتلة ÷ الكتلة المولية

= 10 غم NaOH ÷ 40 غم/مول.

= 0.25 مول.

التركيز = 0.25 مول NaOH ÷ 0.63 لتر = 0.39 مول/لتر.

**سؤال** يُسمّى المحلول المائي للفورمالدهيد (HCOH) بالفورمالين؛ إذ يُستخدم المحلول المخفّف منه في حفظ العينات البيولوجية. احسب حجم محلول فورمالين تركيزه 0.1 مول/لتر يحتوي على 6 غم من فورمالدهايد.

## ثالثًا: المولالية (مـ) (Molality(m)):

يعتمد التركيز المولاري على حجم المحلول الذي يتأثر بتغير درجة الحرارة، ولاستبعاد أثر درجة الحرارة، تمّ التعبير عن مفهوم يعتمد على كتلة المذيب التي لا تتأثر بدرجة الحرارة، فاصطلح مفهوم **المولالية(مـ)**، والذي يعرّف بأنّه عدد مولات المذاب في كيلوغرام من المذيب.

**المولالية (مول/كغم) = عدد مولات المذاب ÷ كتلة المذيب (كغم)**

**مثال (5):** النفثالين: مادة كيميائية تُستخدم في البيوت؛ لحماية الملابس والأغطية الصوفية من بعض الكائنات الحيّة، كالعثّ. احسب التركيز المولالي للمحلول الناتج من إذابة 36.5 غم من النفثالين في 425 غم تولوين، علمًا أنّ الكتلة المولية للنفثالين تساوي 128غم/مول.

**الحل:**

المولالية (مول/كغم) = عدد مولات المذاب ÷ كتلة المذيب (كغم)

عدد مولات المذاب = كتلة المذاب ÷ الكتلة المولية

= 36.5 غم نفثالين ÷ 128 غم/مول = 0.285 مول.

كتلة المذيب بوحدة كيلوغرام = $\frac{425}{1000}$ = 0.425 كغم.

إذن، المولالية = 0.285 مول نفثالين ÷ 0.425 = 0.670 مول/كغم.

**سؤال** محلول من حمض الكبريتيك $H_2SO_4$ حجمه 100سم$^3$ وتركيزه بالنسبة المئوية الكتلية يساوي 27 %، احسب مولارية ومولالية المحلول علمًا أنّ كثافته تساوي 1.198 غم/سم$^3$.

## رابعًا: الكسر المولي ((X) Mole Fraction):

لكل تعبير عن التركيز تطبيقات خاصة به ومناسبة لغرض معين، ومنها ما يعتمد على نسبة مولات المذاب إلى عدد المولات الكلي للمحلول، وبناءً على ذلك، اصطُلِحَ مفهوم الكسر المولي الذي يُستخدم في حسابات الضغط البخاري، وغيرها. ويعرّف **الكسر المولي** لأحد مكونات المحلول بأنّه النسبة بين عدد مولات هذا المكون إلى مجموع مولات مكونات المحلول.

ويُعبر عن الكسر المولي بالعلاقة الرياضّية الآتية:

**الكسر المولي للمذاب = عدد مولات المذاب ÷ مجموع عدد مولات المذيب والمذاب.**

**الكسر المولي للمذيب = عدد مولات المذيب ÷ مجموع عدد مولات المذيب والمذاب.**

**سؤال** ما وحدة قياس الكسر المولي؟

الكسر المولي للمذيب + الكسر المولي للمذاب =1

**مثال(6):** محلول مكوّن من 16 غم من كبريتات المغيسيوم $MgSO_4$ و 100غم ماء، احسب الكسر المولي لمكونات المحلول، علمًا أنّ الكتلة المولية لـ$H_2O$ = 18 غم/مول، ولـ $MgSO_4$ = 120 غم/مول.

**الحل:**

عدد مولات $MgSO_4$ = الكتلة ÷ الكتلة المولية = 16 ÷ 120 = 0.13 مول.

عدد مولات $H_2O$ = 100 ÷ 18 = 5.55 مول.

الكسر المولي للمذاب = عدد مولات المذاب ÷ مجموع عدد مولات المذيب والمذاب.

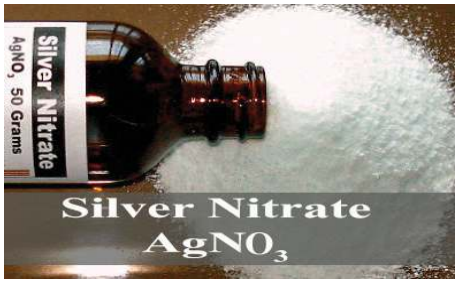
الكسر المولي لـ $MgSO_4$ = 0.13 مول $MgSO_4$ ÷ (0.13 +5.55)= 5.68 ÷ 0.13 = 0.02

الكسر المولي للمذيب = عدد مولات المذيب ÷ مجموع عدد مولات المذيب والمذاب.

لكسر المولي لـ $H_2O$ = 5.55 مول $H_2O$ ÷ (5.55 + 0.13) = 5.68 ÷ 5.55 = 0.98

**نشاط بحثي:**

قم بزيارة أحد المراكز الصحية الفِلَسطينية القريبة من مكان سكنك، والتعرّف إلى محاليل طبيّة تُعطى للمرضى، من حيث أنواعها ومكوناتها وتراكيزها.

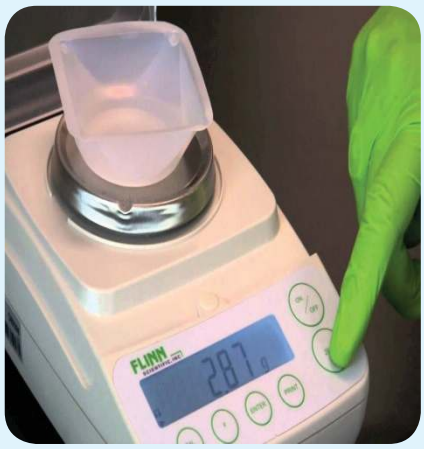



**سؤال؟** محلول مائي من نترات الفضة $AgNO_3$، تركيزه بالنسبة المئوية الكتلية يساوي 20%. احسب الكسر المولي لمكونات المحلول.

## (2.2.3): التخفيف (Dilution):

يلجأ بائع العطور إلى إضافة مذيبات آمنة مثل الزيوت أو الكحول الإيثيلي لعطوره المركّزة، وفي منازلنا نخفّف كثيرًا من العصائر بإضافة الماء إليها؛ بهدف الحصول على محاليل أقل تركيزًا، وذات استخدام عملي ومقبول. وللتعرّف إلى مبدأ التخفيف، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (2): تخفيف المحلول:



### المواد والأدوات:

سكّر المائدة، وماء مقطّر، وميزان حسّاس، ودورق حجمي سعة 100 مل، وقضيب زجاجي، ومخبار مدرّج سعة 100 مل، وكأس زجاجي سعة 400 مل.

### خطوات العمل:

1- زِن 10 غم سكّر باستخدام ميزان حسّاس.
2- أضف 10 غم سكّر إلى الدورق الحجمي سعة 100 مل، وأضفْ كمية من الماء المقطّر، ثمّ حرّك المزيج جيدًا حتى يذوب السّكّر، واستمر بإضافة الماء المقطّر مع التحريك حتى الإشارة المبيّنة على عنق الدورق.
3- اسكب المحلول الذي حضَّرْتَه في كأس، ثمّ باستخدام مخبار مدرج، ضع 50 مل ماء مقطّر إلى المحلول السابق.

### الأسئلة:

1- ما العلاقة بين عدد مولات المذاب قبل إضافة الماء، وبعد إضافته؟
2- أي المحلولين أقل تركيزًا؟
3- قارن بين تركيز المحلول بالمولارية في الحالتين.
4- اشتقّ العلاقة بين تركيز المحلول المركّز والمخفّف.

نستنتج من النّشاط السابق أنّ عدد مولات المذاب يبقى ثابتًا في المحلول المركّز والمخفّف، والاختلاف الوحيد بينهما هو زيادة كمّية المذيب في المحلول.

عند تخفيف المحاليل الحمضيّة المركّزة، نضيف الحمض تدريجيًّا إلى الماء، ويُحذّرُ من إضافة الماء إلى الحمض؛ لأنّ الحرارة الناتجة عن الاذابة تكفي لغليان المحلول الحمضي الناتج، ما يؤدي إلى فورانه، وتناثره خارج الإناء المستخدم للتخفيف.

**مثال (7):** إذا كان لدينا محلول من هيدروكسيد الصوديوم NaOH، تركيزه 4 مول/لتر، أُخذت منه كمّية حجمها 500 سم$^3$، وأضيف إليها كمّية من الماء حتى أصبح تركيزه الجديد 1 مول/لتر، احسب حجم الماء المضاف.

**الحل:**

عدد مولات المذاب قبل التخفيف = عدد مولات المذاب بعد التخفيف

$$ت_1 \times ح_1 = ت_2 \times ح_2$$

حيث $ت_1$ : تركيز المحلول المركّز. $ت_2$ : تركيز المحلول المخفّف.

$ح_1$ : حجم المحلول المركّز. $ح_2$ : حجم المحلول المخفّف.

$ح_2$ = حجم الماء المضاف + حجم المحلول المركز.

**لاحظ تماثل الوحدات المستخدمة على جانبي المساواة.**

4 مول/لتر × 500 سم$^3$ = 1 مول/لتر × (500 + س) سم$^3$

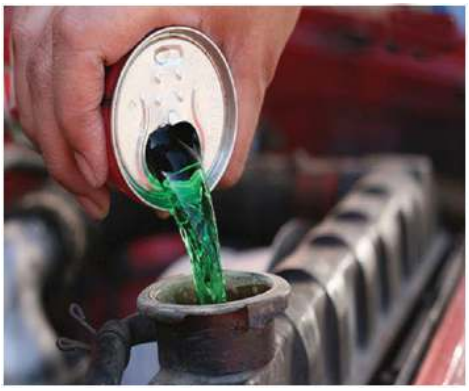
500 + س = 2000

س = 2000 - 500 = 1500سم$^3$ = 1.5 لتر

**سؤال:** معظم الأحماض المتوافرة في المختبرات الجامعية والمدرسية تكون مركّزة، فإذا علمت أنّ حمض الهيدروكلوريك HCl يوجد بتركيز 32% بالكتلة، وكثافته 1.18 غم/ سم$^3$، وأردنا تخفيف كميّة من هذا المحلول للحصول على محلول حجمه 250 مل بتركيز 1 مول/لتر. بيّن بالخطوات الآلية الواجب اتباعها لمعرفة الحجم المطلوب أخذه من الحمض المركز.

## (3.2.3): الخواص الجامعة للمحاليل غير الأيونية (Colligative Properties):

إذا سمعت النشرة الجوّية في أحد أيام الشتاء الباردة، وعلمّت أنّ هناك حالة انجماد شديدة، وأنّ درجة الحرارة ستكون دون الصفر المئوي، فكيف يمكنك حماية سيارتك من خطر تجمد الماء فيها؟



إضافة مادة مانعة للتجمد إلى الماء في مبرّد (راديتر) سيارة

رش الملح على الطرق؛ لمنع التجمد

قد تبدو الظواهر التي تعبر عنها الصورتان أعلاه مألوفة في المناطق الباردة جدًّا، ورغم تكلفة المواد المستخدمة وأضرارها البيئية، إلا أنّها مهمة للتقليل من أخطار تجمد الماء. وقد تعلمّت سابقًا أنّ لكل مادة نقيّة خواص فيزيائية محدّدة، كدرجة التجمد، ودرجة الغليان، فهل تتغير هذه الخواص بإضافة مواد ذائبة؟ وهل يؤثر تركيز المحلول على مقدار التغيير؟ للتعرّف إلى الإجابة عن هذه التساولات، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (3): تأثير المذاب على درجة التجمد:

### المواد والأدوات:

جليد مجروش 100 غم، وماء مقطّر، وماء عادي، وسكّر، وجليسرين، وكأس زجاجي سعة 200 مل، وميزان حرارة كحولي عدد 2، أو ميزان حرارة رقمي، وأنابيب اختبار سعة 20 مل عدد 4، وميزان حسّاس.

### خطوات العمل:

1- ضع 10 غم ماء مقطّر في كل أنبوب من الأنابيب الأربعة.
2- أضفْ 1غم جليسرين إلى الأنبوب الأول، و2 غم جليسرين إلى الأنبوب الثاني، و4 غم سكّر إلى الأنبوب الثالث، و8 غم سكّر إلى الأنبوب الرابع، وحرّك حتى تذوب المواد جميعًا.
3- ضع 100غم جليد مجروش في الكأس، وأضفْ إليها 20 غم ماء عادي.
4- ضع الأنبوب الأول في الجليد المجروش، وانتظر حتى يبدأ المحلول داخله بالتجمد، وسجّل درجة التجمد للمحلول.
5 – كرّر الخطوة 4 مع الأنابيب الثلاثة المتبقية، وسجّل درجات التجمد.

**الأسئلة:**

1- ما التركيز المولالي للمحلول في الأنابيب الأربعة؟
2- من خلال دراستك للنتائج، ما العامل الذي أثّر على درجة التجمد؟
3- من خلال البيانات التي دونتها، اقترح علاقة رياضيّة تربط بين مقدار الانخفاض في درجة التجمد وتركيز المحلول.

لعلّك لاحظت خلال تنفيذك النّشاط السابق أنّ المحاليل تجمدت على درجة حرارة أقل من الصفر، ما يدلّ على أنّ المادة المضافة عملت على خفض درجة تجمد المحلول، وأنّ مقدار الانخفاض يعتمد على تركيزها المولالي (عدد دقائقها في المحلول)، وليس على الخصائص الكيميائية للمادة المذابة، ولقد وُجِدَ عملياً أنّ:

**الانخفاض في درجة تجمد المحلول ( $\Delta$ د$_{ت}$) =**

**ثابت الانخفاض في درجة التجمد (ك$_{ت}$) × التركيز المولالي للمحلول (مـ)**

$$\Delta \text{د}_{ت} = \text{ك}_{ت} \times \text{مـ}$$

وتُستخدم المعادلة السابقة في حساب كميّات المادة المضافة إلى مبرّد (راديتر) السيارة في الطقس البارد؛ للمحافظة على الماء في المبرّد من التجمد، وتُستعمل أيضًا في حساب الكتلة المولية لمادة مجهولة بإذابة كميّة منها في مقدار معيّن من المذيب، وقياس درجة التجمد، أو الانصهار الجديدة، ومنها تحسب الكتلة المولية، ولكل مذيب ثابت انخفاض لدرجة تجمده، وثابت ارتفاع لدرجة غليانه، كما هو موضّح في الجدول (1) الآتي:

الجدول (1): ثابت التجمد والغليان لعدد من المذيبات

| المذيب | درجة التجمد (°س) | ثابت الانخفاض في درجة التجمد $ك_ت$ (°س.كغم/ مول) | درجة الغليان (°س) | ثابت الارتفاع في درجة الغليان $ك_غ$ (°س.كغم/مول) |
|---|---|---|---|---|
| الماء | صفر | 1.86 | 100 | 0.52 |
| البنزين | 5.5 | 5.12 | 80.1 | 2.53 |
| الإيثانول | 117.3 - | 1.99 | 78.4 | 1.22 |
| حمض الإيثانويك | 16.6 | 3.9 | 117.9 | 2.93 |
| الكلورفورم | 63.5 - | 4.68 | 61.2 | 3.63 |
| السايكلوهكسان | 6.55 | 20.0 | 80.74 | 2.79 |

**مثال (8):** ما درجة تجمد محلول تكوَّنَ بإضافة 1 كغم جلايكول الإيثلين $HO–CH_2CH_2–OH$، كتلته المولية 62 غم/ مول إلى 5 كغم ماء؟

**الحل:**

يمكن حساب درجة تجمد المحلول بمعرفة مقدار الانخفاض في درجة التجمد، ويحسب هذا المقدار من العلاقة الآتية:

الانخفاض في درجة تجمد المحلول =

ثابت الانخفاض في درجة التجمد $ك_ت$ × التركيز المولالي للمحلول (مـ)

$\Delta د_ت = ك_ت \times$ مـ

ولحساب $\Delta د_ت$ نحسب أولًا المولالية (مـ)، ثمّ نُعوّض في المعادلة السابقة، كما هو مبيّن:

عدد مولات المذاب (جلايكول الإيثلين) = الكتلة ÷ الكتلة المولية

= 1000 غم ÷ 62 غم/مول

= 16.13 مول

المولالية = 16.13 مول ÷ 5 كغم = 3.23 مول/ كغم.

إذن، $\Delta د_ت = ك_ت \times$ مـ = 1.86 °س. كغم/ مول × 3.23 مول/ كغم = 6.01 °س

هذا يعني أنّ درجة التجمد للمحلول انخفضت بمقدار 6.01 °س

أي أنّ درجة تجمد المحلول الناتج = درجة تجمد المذيب ( الماء) - $\Delta د_ت$

= 0.0 – 6.01 = - 6.01 °س

تختلف الخصائص الفيزيائية للمحلول عنها في المذيب النقي، ويرجع سبب هذا الاختلاف؛ لوجود دقائق المذاب غير المتطايرة التي تتجاذب مع دقائق المذيب التي تعمل على خفض الضغط البخاري للمحلول، وبالتالي تغيير درجات تجمده وغليانه، وتعتمد الخصائص الجامعة للمحلول على تركيز المذاب، فمثلًا: محلول من الجلوكوز، تركيزه 1مول/كغم ماء، يُخفض درجة الحرارة بمقدار يساوي 1.86 °س، وهو التأثير نفسه الذي يُحدثه إذابة 1مول من اليوريا في 1 كغم ماء. وتشمل الخصائص الجامعة درجة التجمد، ودرجة الغليان، والضغط البخاري، والضغط الأسموزي.

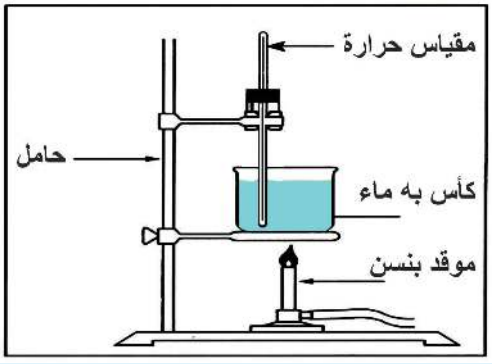
**الضغط البخاري للسائل:** هو الضغط الناشئ عن بخار السائل على سطح السائل في نظام مغلق، وعند درجة حرارة معينة.

## درجة غليان المحلول:

للتعرف إلى أثر إضافة مادة غير متطايرة، كالسّكّر، أو جلايكول الإثيلين على درجة غليان المحلول، نَفِّذِ النّشاط الآتي: -

### نشاط (4): درجة غليان المحلول:

#### المواد والأدوات:




ماء ، وسكّر، وكأس زجاجي سعة 150 مل، وميزان حرارة، ولهب بنسن، وحامل معدني، وشبكة تسخين.

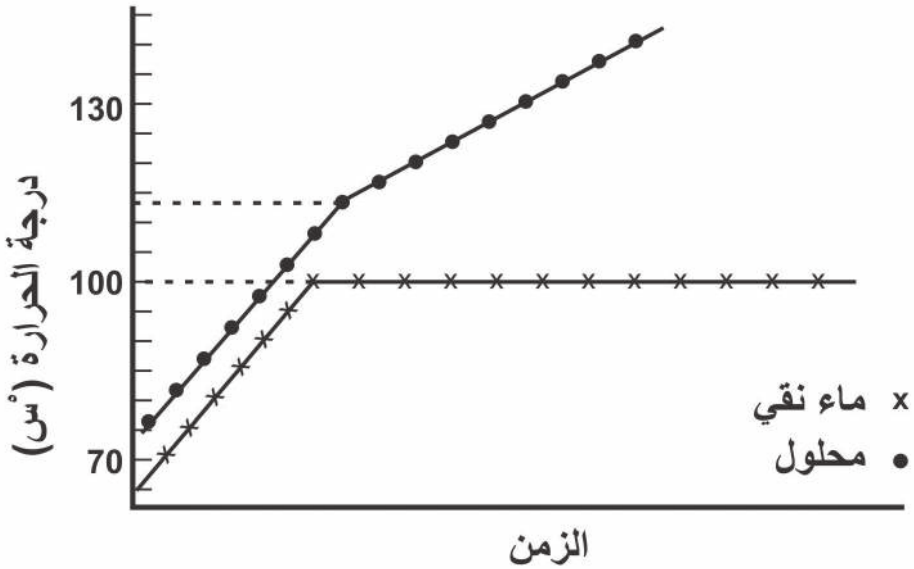
#### خطوات العمل:

1- ركّب الأدوات، كما في الشكل المجاور.
2- ضع 100 مل من الماء في الكأس، وقِسْ درجة غليان الماء بوساطة ميزان الحرارة الزئبقي، وسجّلْها.
3- أبعد اللهب من تحت الكأس، وانتظر دقيقة.
4- أضفْ 30 غرام سكّر إلى كأس الماء الساخن، وأعد قياس درجة غليان المحلول، وسجّلْها.

#### الأسئلة:

1- هل هناك فرق بين درجة غليان الماء العادي والمحلول السكّري؟
2- كيف تفسّر ذلك؟

عرفت أنّ **درجة غليان المادة**: هي درجة الحرارة التي يتساوى عندها الضغط البخاري للمادة مع الضغط الخارجي الواقع عليها، حيث إنّ الضغط البخاري لمحلول يحوي مادة غير متطايرة يكون أقل منه للمادة النقيّة، ويعزى ذلك إلى أنّ قوى التجاذب بين دقائق المذيب والمذاب تُقلِّلُ من عدد جزيئات المذيب المتبخرة من سطح المحلول، وبالتالي يحتاج المحلول إلى درجة حرارة أعلى ليصبح ضغطه البخاري مساويًا للضغط الخارجي، وهذا يفسّر الارتفاع في درجة غليان المحلول، والذي إذا استمر التبخر منه يزداد تركيزه، فترتفع درجة غليانه باستمرار، كما يوضح الشكل (4) الآتي:




الشكل (4): منحنى درجة الغليان للماء النقي، ومحلول السكّر في الماء

يتناسب مقدار الارتفاع في درجة غليان المحلول طرديًّا مع تركيز المذاب، ويتم حساب الارتفاع في درجة غليان المحلول من المعادلة الآتية:

**الارتفاع في درجة غليان المحلول =**
**ثابت الارتفاع في درجة الغليان × التركيز المولالي للمحلول (مـ)**
**وبالرموز:** $\Delta د_{غ} = ك_{غ} \times مـ$

ولكل مذيب ثابت ارتفاع خاص به، كما يظهر في الجدول (1) السابق. فثابت الارتفاع في درجة غليان محلول مائي هو 0.52 °س.كغم/مول.

**مثال(9):** ما درجة غليان محلول تكوّن بإذابة 2.25 غم من مركّب عضوي غير متطاير، كتلته المولية 88 غم/مول في 150 غم سايكلوهكسان؟

**الحل:**

1 – نحسب عدد مولات المركّب العضوي = الكتلة ÷ الكتلة المولية

= 2.25 غم ÷ 88 غم/مول = 0.026 مول

2 – نحسب تركيز المحلول المولالي = عدد مولات المذاب ÷ كتلة المذيب (كغم)

= 0.026 مول ÷ 0.15 كغم = 0.17 مول/كغم.

3 – بتطبيق المعادلة: $\Delta د_غ = ك_غ \times$ مـ

من الجدول (1)، فإنّ ثابت غليان السايكلوهكسان يساوي 2.79 °س.كغم/مول.

$\Delta د_غ$ = 2.79 °س.كغم/مول × 0.17 مول/ كغم = 0.47 °س.

وعليه فإنّ درجة غليان المحلول = درجة غليان المذيب النقي + الارتفاع في درجة الغليان

= 80.74 + 0.47 = 81.21 °س.

**سؤال؟** من التطبيقات العملية للخواص الجامعة للمحاليل حساب الكتلة المولية لمركّب ما. فإذا تمّ إذابة عيّنة من مركّب عضوي، كتلتها 3.75 غم في 95 غم من الأسيتون. احسب الكتلة المولية للمركّب العضوي، علمًا أنّ درجة غليان الأسيتون = 55.95 °س، ودرجة غليان المحلول =56.5 °س، وثابت الغليان المولالي للأسيتون يساوي 1.71 °س.كغم/مول.

## خواص المحاليل الأيونية:

اقتصر النقاش في الدروس السابقة على الخواص الجامعة لمحاليل المواد غير المتطايرة وغير المتأينة، مثل السكّر، لكن كيف تتأثر الخواص الجامعة في حالة محاليل المواد الأيونية؟

وبما أنّ الخواص الجامعة للمحاليل تعتمد على عدد دقائق المادة المذابة، سواء جزيئات أم أيونات، فإن مولًا واحدًا من ملح NaCl يعطي في الماء مولًا من $Na^+$، ومولًا من $Cl^-$؛ أي مولين من الأيونات، وكذلك مولًا واحدًا من ملح $CaCl_2$ يعطي 3 مولات من الأيونات.فلو كان لدينا محلولٌ،

تركيزه 0.1 مول/كغم من NaCl، سيسبِّب انخفاضًا في درجة تجمد المحلول ضِعْف ما يسبّبه 0.1 مول/كغم من محلول السكّر (مادة غير أيونية)؛ **وعليه فإنّ تأثير الخواص الجامعة للمحاليل الأيونية يعتمد على طبيعة الملح، وعلى تركيزه المولالي في المحلول.**

**سؤال** بعد دراستك للخواص الجامعة للمحاليل، فسّر الظاهرة في الصورة الآتية:

ضفدع في درجة حرارة التجمد ولكن ما زال حيًا

## المشاريع العلمية:

بعد دراستك هذه الوحدة، يمكن تنفيذ أحد المشاريع الآتية:

- كتابة بحث في أحد المحاليل الطّبية، من حيث مكوناتها، وتراكيزها، وتطبيقاتها.
- تصميم تجربة لإيجاد الكتلة المولية لسكّر المائدة عمليًّا.
- كتابة بحث عن تأثير الأسمدة الصّناعية في المناطق الزراعية الفِلَسطينية على تركيز الأيونات في مياه الشرب.

## السبائك الذهبية وعيارات الذهب

يُعدُّ الذهب رمزًا للثراء والقوة الاقتصادية منذ وقت طويل، وقد اكتسب أهمية خاصة؛ لندرته في الطبيعة، ما جعل سعره مرتفعًا، كما أنّ مواصفاته التي يتميز بها جعلته متفوقًا على غيره من المعادن، حيث يمتاز بليونته، ومقاومته للتآكل، وبريقه الجذاب، وهناك كثيرٌ من المصطلحات التي تسمع بها، وتتعلق بالذهب، مثل أونصة، وذهب عيار 24 قيراط، وذهب عيار 22 قيراط، فماذا تعني هذه المصطلحات؟ فالأونصة المتعارف عليها عالميًّا: هي مقياس لكتلة الذهب تساوي 31.1 غم.

يُعَدُّ الذهب المتداول في السوق مثالًا على المحاليل الصُّلبة، وتتحدد عيارات الذهب حسب كميات المواد المضافة له، إذ إنّ الذهب النقي ليس صُلبًا بدرجة كافية ليصلح لصناعة المجوهرات، ولكن يُخلَط بالنحاس أو الفضة أو البلاتين أو النيكل؛ لزيادة صلابته، وفي الوقت نفسه، إكسابه ألوانًا مميزة، والجدول الآتي يبيّن بعض عيارات الذهب، ونِسبها:

| عيار الذهب "قيراط" | عدد أجزاء الذهب في السبيكة من 24 | أجزاء المعادن الأخرى مثل النحاس والفضة من 24 | النسبة المئوية للذهب في العيار |
|---|---|---|---|
| 24 | 24 | صفر | %100 |
| 22 | 22 | 2 | %91.66 |
| 21 | 21 | 3 | %87.50 |
| 18 | 18 | 6 | %75.00 |
| 14 | 14 | 10 | %58.33 |

## ذائبيّة الفيتامينات في الجسم

تُعدُّ الفيتامينات مركّبات عضوية مهمة للكائن الحي، فهي بمثابة مغذيات حيويّة يحتاجها الجسم بكميات محددة. وتُصَنّف الفيتامينات من حيث قابليتها للذوبان إلى نوعين، هما: فيتامينات ذائبة في الماء، كمجموعة فيتامينات B، وفيتامين C، وبسبب ذوبان هذه الفيتامينات في الماء، فإنّ الجسم لا يحتفظ بهما لوقت طويل، لهذا السبب من الضروري أن تحتوي الوجبات اليومية عليها.

بينما فيتامينات (A ،D ،E ،K) تذوب في الوسط الدهني، ويخزن بعضها في الجسم مدة طويلة، فتقوم بدور حماية الجسم من الإصابة بالأمراض التي يسببها نقص مثل هذه الفيتامينات،مع العلم أنّ زيادتها يسبب الضرر للجسم، فمثلًا: زيادة فيتامين (B12) يسبب ظهور الطفح الجلدي، واضطرابات في النوم، والإصابة في التهابات المثانة. أما نقصه، فقد يسبب الشعور بالتعب، والاكتئاب، وفقدان القدرات العقلية.

# أسئلة الفصل

**السُّؤال الأول:** اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1 ما تركيز المحلول الناتج عن إضافة 1.5 لتر من الماء إلى محلول مائي، حجمه 0.5 لتر، وتركيزه 1مول/لتر؟

أ) 0.25 مول/لتر ب) 0.5 مول/لتر ج) 1 مول/لتر د) 1.5 مول/لتر

2 علامَ تعتمد قيمة ثابت الانخفاض في درجة تجمد المحلول؟

أ) تركيز المذاب. ب) نوع المذيب. ج) طبيعة المذاب. د) حجم المذيب.

3 ما مولالية محلول مكوَّن من إذابة 75 غم $MgCl_2$ في 500 غم ماء؟

أ) 0.395 مول/كغم. ب) 1.58 مول/كغم. ج) 2.18 مول/كغم. د) 5.18 مول/كغم.

4 أي الخصائص الآتية تزداد قيمتها للمحلول عند إذابة مادة غير متطايرة في مذيب؟

أ) درجة الغليان. ب) درجة التجمد. ج) معدل التبخر. د) الضغط البخاري.

5 أي من الآتية يبقى ثابتًا عند تخفيف المحلول؟

أ) عدد مولات المذاب. ب) عدد مولات المذيب. ج) كتلة المحلول د) حجم المحلول.

**السُّؤال الثاني:** وضّح المقصود بكل من: المولارية، والكسر المولي، والخواص الجامعة للمحاليل.

**السُّؤال الثالث:** احسب مولارية محلول ناتج من إضافة 0.5 لتر من محلول هيدروكسيد الصوديوم، تركيزه 0.5 مول/لتر إلى محلول من المادة نفسها، حجمه 0.25 لتر، وتركيزه 0.2 مول/لتر.

**السُّؤال الرابع:** يحتوي محلول على 45 غم من مادة غير متطايرة وغير متأينة مذابة في 500 غم ماء، فإذا تجمد المحلول على درجة 0.93 °س تحت الصفر، وعلمت أنّ ثابت التجمد للماء يساوي 1.86 °س. كغم/مول.

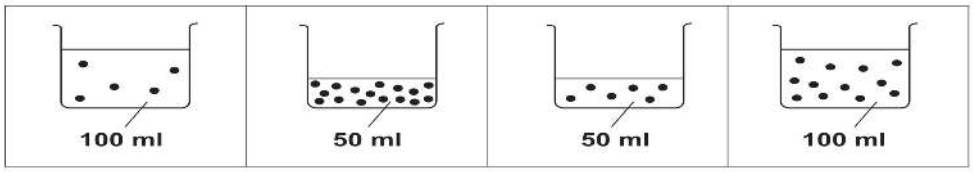
1 احسب الكتلة المولية للمذاب.

2 إذا كانت الصيغة الأولية للمذاب هي $CH_2O$، فما صيغته الجزيئية؟

# أسئلة الوحدة

**السُّؤال الأول:** اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1 أي المحاليل الآتية لها أعلى تركيز؟




د ج ب أ

2 ما التركيز الذي وحدة قياسه بالمول/كغم؟

أ) المولالية. ب) الكسر المولي. ج) المولارية. د) النسبة المئوية المولية.

3 ما حجم الماء اللازم إضافته إلى محلول حمض الهيدروكلوريك الذي حجمه 40 مل، وتركيزه 0.6 مول/لتر، ليصبح تركيزه 0.1 مول/لتر؟

أ) 60 مل. ب) 160 مل. ج) 200 مل. د) 240 مل.

4 ما الراسب المتكوّن من إضافة 5 غم نترات الكالسيوم، و5 غم كربونات الصوديوم إلى 100 مل ماء مقطّر؟

أ) $Ca(NO_3)_2$ ب) $NaNO_3$ ج) $Na_2CO_3$ د) $CaCO_3$

5 ما ظروف الضغط، ودرجة الحرارة التي تزيد من ذائبيّة الغازات في الماء؟

أ) زيادة الضغط، ودرجة الحرارة. ب) خفض الضغط، ودرجة الحرارة.

ج) زيادة الضغط، وخفض درجة الحرارة. د) خفض الضغط، وزيادة درجة الحرارة.

**السُّؤال الثاني:** ما المقصود بكل من الآتية: الذائبيّة، وتركيز المحلول، وثابت التجمد.

**السُّؤال الثالث:** احسب التركيز المولاري لمحلول حمض الفوسفوريك، تركيزه بالنسبة المئوية الكتلية تساوي 85%، وحجمه لتر واحد، علمًا أنّ كثافة المحلول تساوي 1.7 غم/مل.

**السُّؤال الرابع:** مستعيناً بقواعد الذائبية، اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعل محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH مع محلول كبريتات النحاس(II) $CuSO_4$.

**السُّؤال الخامس:** إذا أذيب 900 غم من إيثيلين جلايكول ($C_2H_6O_2$) في 6 كغم ماء داخل مبرّد السيارة، فهل تتوقع حدوث التجمد في مبرّد السيارة إذا انخفضت درجة حرارة الجو إلى (- 4 °س).

**السُّؤال السادس:** حُضِّرَ محلول مائي بإذابة 10 مل من الكحول $C_2H_5OH$، (كثافته =0.789 غم/مل) في حجم مناسب من الماء، ليصبح حجم المحلول = 100 مل، وكثافته = 0.982 غم/مل. احسب تركيز المحلول بوحدة:

1- النسبة المئوية الكتلية للمذاب.
2- الكسر المولي للمذاب.
3- النسبة المئوية الحجمية للمذاب.
4- المولالية.
5- المولارية.

**السُّؤال السابع:** كم مل من المذيب يجب إضافتها إلى 0.69 لتر من محلول، تركيزه 2.4 مول/لتر؛ للوصول إلى تركيز مقداره 0.5 مول /لتر؟

**السُّؤال الثامن:** علّل ما يلي:

1 يتأثر التركيز المولاري بتغير درجة الحرارة، بينما لا يتأثر التركيز المولالي.

2 عند إضافة مادة غير متطايرة وغير متأينة إلى الماء يحدث ارتفاع في درجة غليان المحلول.

3 يذوب اليود $I_2$ في رابع كلوريد الكربون $CCl_4$، ولا يذوب في الماء.

**السُّؤال التاسع:** قام ثائر بخلط 75 غم من KCl في 200 غم ماء مقطّر عند 20 °س، فإذا علمت أنّ ذائبيّة KCl هي 34 غم/100 غم ماء عند درجة الحرارة نفسها:

1 ما كمّية KCl الذائبة؟

2 هل المحلول الناتج مشبع أم غير مشبع؟

3 ما مقدار الكمية المترسّبة من KCl؟

**السُّؤال العاشر:** أنبوبان يحتويان على محلول لمادة أيونية مجهولة، فإذا تم إضافة محلول كبريتات الخارصين للأنبوب الأول فتكوّن راسب، وتم إضافة محلول كلوريد الصوديوم للأنبوب الثاني فتكوّن راسب، بالرجوع إلى قواعد الذائبيّة، ماذا تتوقع أن تكون المادة المجهولة؟

**السُّؤال الحادي عشر: أقيّم ذاتي:**

أعبر عن المفاهيم التي تعلمتها خلال دراستي للوحدة بما لا يزيد عن ثلاثة أسطر.

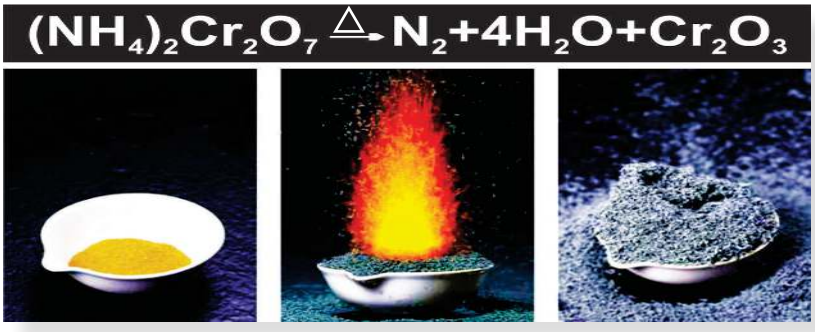
# الوحدة الرابعة

# الكيمياء الحرارية
# (Thermochemistry)

تتعدد أشكال الطاقة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية،
فما مصدر هذه الطاقة؟

**يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة، والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على توظيف المبادىء الأساسية للكيمياء الحرارية في التعبير عن حرارة التفاعل وقياسها، من خلال تحقيق الآتي:**

- توظيف التجارب والصور لربط تغيرات الطاقة ببناء المادة، وحالتها الفيزيائيّة.
- توظيف النماذج المحسوسة للتمييز بين أنواع الأنظمة الحراريّة.
- توظيف القانون الأول في الديناميكا الحراريّة لحساب التغير في طاقة النظام.
- إجراء حسابات تتعلّق بحرارة التعادل، وحرارة التكوين.
- تصميم مسعر من مكونات البيئة المحليّة؛ لقياس حرارة التفاعل.
- قياس حرارة التعادل لتفاعل حمض قوي مع قاعدة قوية عمليّاً.
- حساب حرارة التفاعل، مستعينًا بقانون هس.



## (1.4): مفاهيم أساسيّة في الكيمياء الحراريّة
## (Basic Concepts in Thermochemistry):

تعلمت أنّ غالبيّة التفاعلات الكيميائيّة تكون مصحوبة بتغيّر في الطاقة، ومنها الحرارة؛ كونها شكل الطاقة السائد الذي يتم امتصاصه أو اطلاقه، فمعظم الغذاء الذي نأكله يكون بمثابة الوقود الذي يستخدمه الجسم في تحريك عضلاته، والمحافظة على درجة حرارته المناسبة، وكما أنّ الطاقة ضروريّة للكائنات الحيّة؛ لِتقوم بوظائفها الحيويّة، يستخدمها الإنسان أيضًا في تشغيل الآلات الزراعيّة والصناعيّة، وفي وسائل النقل والمواصلات، وللتعرّف إلى بعض أشكال الطاقة وتحولاتها، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

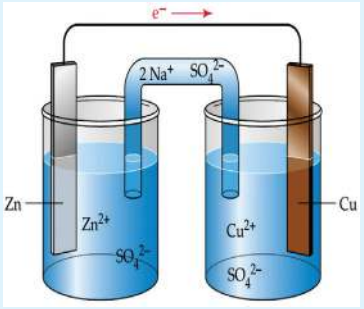
### نشاط (1): الطاقة المصاحبة للتغيّرات الكيميائيّة:

تأمل الصور الآتية جيدًا، ثمّ أجب عن الأسئلة التي تليها:

احتراق عود الثقاب

انصهار الثلج

ذوبان الملح في الماء



خلية غلفانية

التمثيل الضوئي

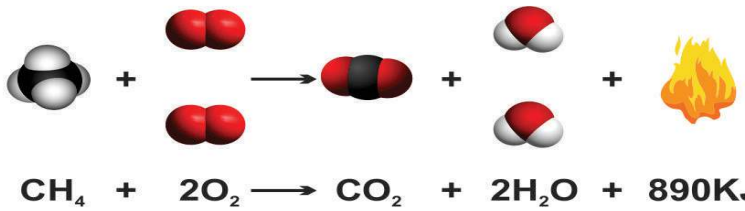
طحن الحبوب

1- صنّف التغيّرات المتمثّلة في الصّور السابقة إلى فيزيائيّة وكيميائيّة.

2- أي من التغيّرات الكيميائيّة ماصّ للطاقة، وأيّها طارد لها؟

3- ما تحولات الطاقة التي تمثلها التغيرات الكيميائيّة؟

لعلّك توصّلت من خلال تصنيفك الظواهر التي تمثّلها الصّور السابقة أنّ التغيّرات الكيميائيّة عادة ما تكون مصحوبة بشكل أو بآخر من أشكال الطاقة، فهناك تفاعلات كيميائيّة طاردة للطاقة (Exothermic Reactions)، مثل تفاعلات الاحتراق التي هي غاية في الأهميّة؛ لأنها تمدنا بأشكال الطاقة المختلفة، مثل احتراق غاز الميثان، كما هو ممثل في الشكل (1) أدناه.




الشكل (1): تمثيل لتفاعل احتراق الميثان

وهناك عدد من التفاعلات الماصّة للطاقة (Endothermic Reactions)، منها تفاعل هيدروكسيد الباريوم المائي مع نترات الأمونيوم، كما هو ممثل في الشكل (2) أدناه.

$$Ba(OH)_2.8H_2O_{(S)} + 2NH_4NO_{3(s)} + 10.9\ KJ \longrightarrow Ba(NO_3)_{2(aq)} + 2NH_{3(g)} + 10H_2O_{(I)}$$

الشكل (2): تمثيل لتفاعل هيدروكسيد الباريوم المائي مع نترات الأمونيوم

**سؤال** ما سبب التصاق الكأس بسطح الخشب في الصورة الموضحة في الشكل (2)؟

يمكن التعبير عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصّة في التفاعلات الكيميائيّة ضمن معادلة كيميائيّة موزونة، تظهر فيها قيمة حرارة التفاعل تُعرَفُ **بالمعادلة الكيميائيّة الحراريّة.**

**مثال (1):** تنبعث حرارة مقدارها 2219 كيلو جول عند تفاعل 1 مول من غاز البروبان $C_3H_8$ الذي يشكل أحد مكونات غاز الطبخ، مع كميّة كافية من الأكسجين؛ لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

أجب عما يأتي:

1- أكتب معادلة كيميائيّة حراريّة موزونة تمثل احتراق البروبان.
2- ارسم مخططًا توضيحيًّا يمثل طاقة المواد المتفاعلة، وطاقة المواد الناتجة.

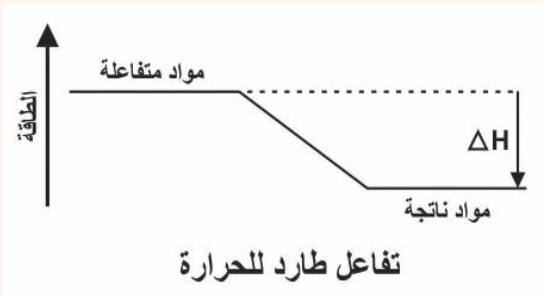
**الحل:**

1- المعادلة الكيميائيّة الحراريّة الموزونة التي تمثّل احتراق غاز البروبان:

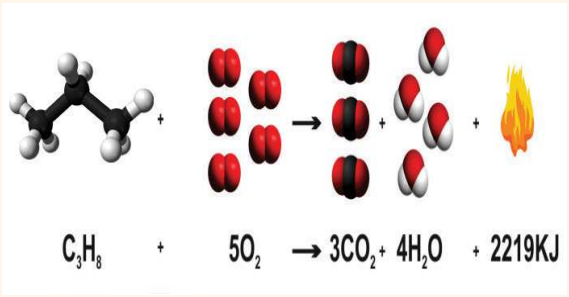
$$C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(g)} + 2219\ KJ$$

نلاحظ من المعادلة الكيميائية الحراريّة، أنّ طاقة المواد الناتجة أقل من طاقة المواد المتفاعلة في التفاعلات الطاردة للطاقة، وينبعث هذا الفرق في الطاقة على شكل حرارة من وسط التفاعل إلى المحيط الخارجي.

2- المخطط التوضيحي للتفاعل الطارد للحرارة يُمثّل كما يأتي:



تفاعل طارد للحرارة




نلاحظ من الشكل التوضيحي للتفاعل الطارد للطاقة، أنّ طاقة المواد المتفاعلة أكبر من طاقة المواد الناتجة.

**سؤال** ارسم مخططًا توضيحيًّا لتفاعل ماصّ للطاقة، وقارن الرسم الناتج مع مخطط التفاعل الطارد للطاقة.

وتتطلّب دراسة علم الكيمياء الحراريّة التعرّف إلى عدد من المفاهيم الأساسيّة المرتبطة بتغيرات الطاقة المصاحبة، فعند دراسة أي ظاهرة في الكون، كالتفاعل الكيميائي، لا بدّ من تحديد الحيّز موضوع الدراسة؛ بهدف ضبط المتغيرات، وقياس الكميات، وللتعرّف إلى بعض هذه المفاهيم، نَفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (2): مفاهيم أساسيّة في الكيمياء الحراريّة:

تأمّل الصورة الآتية التي تمثّل عمليّة إضافة محلول حمض الهيدروكلوريك HCl إلى محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH في كأس زجاجي،

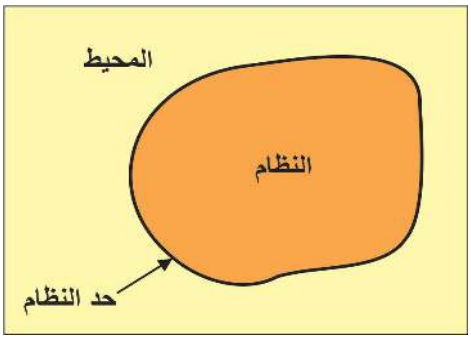
ثمّ أجب عن الأسئلة الآتية:

1- حدّد الحيّز الذي يجري فيه التفاعل.

2- ما الذي يفصل مواد التفاعل عن محيطها الخارجي؟

3- إذا كان التفاعل طاردًا للحرارة، حدد اتجاه انتقال الحرارة.

لعلّك لاحظت أنّ من الأمور المهمّة عند دراسة الظواهر المختلفة هي التمييز بين النظام (System) موضع الاهتمام، والمحيط (Surroundings)، **فالنظام:** يعني ذلك الجزء من الكون الذي تجري عليه الدراسة، وقد يكون نظامًا بسيطًا، مثل قطعة ثلج في كأس، أو معقّدًا، مثل محتويات بحيرة ملوثة، وفي هذا النشاط يمثل النظام محلول حمض الهيدروكلوريك وهيدروكسيد الصوديوم، أما **المحيط**، فهو: ذلك الجزء من الكون الذي له علاقة بالنظام قيد الدراسة، وهو هنا يمثل باقي الكون، ونعني **بالعلاقة:** حدوث تبادل بين النظام والمحيط في واحد أو أكثر من الأمور الأساسيّة للطاقة والمادة. والنظام من الناحية العمليّة متصل بالمحيط، ولكن يستحسن لغرض الدراسة أن تتخيّل حاجزًا يحيط بالنظام، فيغلّفه، ويسمّى هذا الحاجز **حدّ النظام** (System Boundary)، وهو هنا يمثل جدران الكأس الذي يحدث فيه التفاعل، والشكل (3) المجاور يوضّح النظام، والمحيط، وحدّ النظام.




الشكل(3): النظام والمحيط وحد النظام

## (2.4): أنواع الأنظمة الحراريّة

غالبًا ما يحدث تبادل للمادة أو الطاقة بين النظام والمحيط، وبناءً على ذلك، تمّ تصنيف الأنظمة الحراريّة إلى ثلاثة أنواع، وللتعرّف إليها نَفِّذِ النّشاط الآتي:

### نشاط (3): أنواع الأنظمة الحراريّة:

1- اقترح تصنيفًا للأنظمة في الأشكال أدناه حسب تبادل المادة والطاقة بين النظام والمحيط؟
2- كيف يمكن تحويل النظام ب إلى النظام أ؟

(ج)

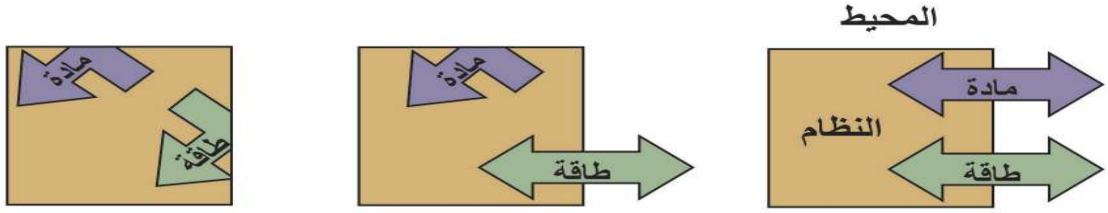
(ب)

(أ)

لعلّك توصّلت بعد الإجابة عن أسئلة النشاط السابق أنّ هناك ثلاثة أنواع من الأنظمة حسب قابليّتها لتبادل المادة والطاقة، وهي:

1- **النظام المفتوح (Open System):** النظام الذي يحدث فيه تبادل للمادة والطاقة بين النظام والمحيط.
2- **النظام المغلق (Closed System):** النظام الذي لا يسمح بتبادل المادة، ويسمح بتبادل الطاقة بين النظام والمحيط.
3- **النظام المعزول (Isolated System):** النظام الذي لا يحدث فيه تبادل للمادة والطاقة بين النظام والمحيط.

والشكل (4) الآتي يوضح تبادل المادة والطاقة في النظام المفتوح، والنظام المغلق، والنظام المعزول:




الشكل (4): تبادل المادة والطاقة في الأنظمة الحراريّة

**سؤال؟** لديك ميزان حرارة في داخله سائل، وعلى اعتبار أنّ هذا السائل هو النظام الذي تريد دراسته، وأنّ جدار الميزان هو الحد الذي يفصل بينه وبين المحيط.

1- هل هذا النظام مفتوح أم مغلق؟
2- كيف يتم تحويله إلى نظام معزول؟

## حالة النظام (State of System):

لوصف النظام الحراري، لا بدّ من تعيين قيم لكميات معيّنة يمكن قياسها، تُعرف بمتغيرات الحالة أو بالمتغيرات الحراريّة، وتشمل هذه المتغيّرات الحجم، والسعة الحراريّة، ودرجة الحرارة، والضغط، والكثافة، وغيرها، فإذا حدث تغيُّر على حالة النظام وصاحبه تغيُّر في كميات بعض هذه الخواص التي تعتمد على الحالة الابتدائية والحالة النهائيّة للنظام؛ سُمّي هذا التغيّر **دالّة الحالة (State Function)**، فمثلًا: إذا رغبت بالسفر من القدس إلى غزة، فإنّ الفرق في الارتفاع بينهما ثابت، بغض النظر عن المسار الذي تسلكه، لذا يمكن القول: إنّ الفرق في الارتفاع دالّة حالة، ومن الأمثلة الأخرى على دالّة الحالة الضغط، والحجم، ودرجة الحرارة، انظر إلى الشكل (5:أ).

وهناك بعض الخواص التي تعتمد على المسار الذي انتقل فيه النظام من الحالة الابتدائيّة إلى الحالة النهائيّة، فمثلًا: المسافة التي تقطعها من القدس إلى غزة تعتمد على المسار الذي تسلكه، مع أنّ فارق الارتفاع ثابت، ولذا يمكن القول: إنّ المسافة هي **دالّة مسار (Path Function)**. ومن الأمثلة الأخرى على دالّة المسار الحرارة، والشغل، انظر إلى الشكل (5:ب).

الشكل (5:أ): دالّة الحالة

الشكل (5:ب): دالّة المسار

## (3.4): حرارة التفاعل الكيميائي (Heat of Chemical Reaction):

في التفاعل الكيميائي عادةً ما يكون مجموع المحتوى الحراري للمواد الناتجة مختلفًا عن مجموع المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة، ويسمى الفرق بينهما **التغيّر في المحتوى الحراري أو حرارة التفاعل**، ويرمز له بالرمز $\Delta H$، وبما أنّ المادة في ذاتها صورة من صور الطاقة، فإنها تخضع لقانون يسمى قانون حفظ الطاقة الذي ينص على أنّ «الطاقة لا يمكن أن تفنى أو تُستحدث من العدم، وإنما تتحول من شكل إلى شكل آخر»؛ أي أنّ المجموع الكلي للطاقة في الكون ثابت، فإذا كان لديك نظام، فإنه يمكن أن يتبادل الطاقة مع الوسط المحيط من خلال حدّه، إما على شكل شغل أو حرارة.

وعلى ضوء قانون حفظ الطاقة، يمكن التعبير عن العلاقة بين النظام والمحيط بدلالة الكميات الثلاث: الشغل **w** الذي يُنجز من النظام على المحيط، أو قد يُنجز من المحيط على النظام، والحرارة **q** التي يتبادلها مع المحيط، **والتغيّر في الطاقة الداخلية** $\Delta E$ للنظام، التي تمثل مجموع ما تمتلكه جسيمات النظام من طاقة؛ نتيجة لحركتها، أو لقوى التجاذب بينها، من خلال العلاقة الرياضيّة $q + w = \Delta E$ .

وتُعَدُّ هذه الصيغة إحدى صيغ القانون الأول للديناميكا الحراريّة (First Law of Thermodynamics) الذي هو تعبيرٌ كميٌّ لقانون حفظ الطاقة.

ولتوضيح مفهوم القانون الأول في الديناميكا الحراريّة، نفّذِ النّشاط الآتي، ثمّ أجب عن الأسئلة التي تليه:

### نشاط (4): القانون الأول في الديناميكا الحرارية:

#### المواد والأدوات:

كأس زجاجي حجم 1 لتر، وقنينة ماء بلاستيكية فارغة، وبالون، ولاصق، ولهب بنسن.

#### خطوات العمل:

1- ثبّت البالون على فوهة القنينة البلاستيكيّة بإحكام من خلال اللاصق.
2- سخّن الكأس الزجاجي المحتوي على 500 مل ماء حتى درجة الغليان.
3- ضع القنينة في الكأس الزجاجي، وثبّتها لمدة خمس دقائق.

**الأسئلة:**

1- ماذا يمثّل النظام والمحيط في هذا النشاط؟
2- ما سبب انتفاخ البالون؟
3- أيهما أعلى درجة حرارة، النظام أم المحيط؟
4- هل الشغل المبذول أُنجز من النظام أم من المحيط؟
5- برأيك، ماذا يحدث للبالون لو تمّ نقل القنينة إلى وعاء يحتوي على ماء بارد بعد الماء الساخن؟

لعلّك لاحظت أنّ النظام قد يمتص حرارة من المحيط، كما في التفاعلات الماصّة للطاقة؛ أي أنّ المحيط أنجز شغلًا على النظام، أو قد ينجز النظام شغلًا على المحيط، كما في التفاعلات الطاردة للحرارة، فإذا كان الشغل منجزًا من النظام أُعطيَ إشارة سالبة، وإذا كان منجزًا على النظام أُعطيَ إشارة موجبة. وبصورة مماثلة، تكون قيمة كميّة الحرارة موجبة إذا امتصّ النظام حرارة من المحيط، وتكون سالبة إذا فقد النظام حرارة إلى المحيط، والجدول (1) الآتي يوضح إشارة الشغل والحرارة في الأنظمة الحرارية.

الجدول (1) : إشارة الشغل والحرارة في الأنظمة الحراريّة

| العملية | الإشارة |
|---|---|
| أنجز النظام شغل w على المحيط | - |
| أنجز المحيط شغل w على النظام | + |
| امتصّ النظام الحرارة q من المحيط | + |
| امتصّ المحيط الحرارة q من النظام | - |

**الكيمياء الحراريّة تهتم بدراسة تغيرات الحرارة المصاحبة للتفاعل الكيميائي، أمّا الديناميكا الحراريّة فتهتم بدراسة تحولات الطاقة بأشكالها المختلفة.**

**مثال(2):** إذا أُنجزت نواتجُ احتراق الغازولين في مُحرِّك السيارة (ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ وبخار الماء $H_2O$) شغلًا على المكابس، نتيجة تمدد هذه الغازات مقداره 451 جول، وأدى ذلك إلى انبعاث حرارة مقدارها 325 جول من النظام إلى المحيط الخارجي، احسب مقدار التغيّر في الطاقة الداخليّة للنظام بوحدة الكيلو جول.

**الحل:**

تكون إشارة كميّة الحرارة q سالبة؛ لأنها انبعثت من النظام إلى المحيط، إذن q = - 325 جول، وتكون إشارة الشغل w سالبة بسبب التمدد؛ أي أنّ النظام أنجز شغلًا على المحيط (رفع المكابس إلى الأعلى)، إذن w = -451 جول

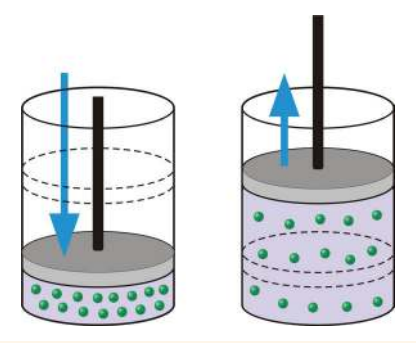
نحسب التغيّر في الطاقة الداخلية للنظام حسب العلاقة: $\mathbf{\Delta E = q + w}$

التغيّر في الطاقة بوحدة الجول =(- 325) + (-451) = - 776 جول.

التغيّر في الطاقة بوحدة الكيلو جول = - 776 جول ÷ 1000 = - 0.776 كيلو جول.

قضية للبحث: يمثل الشغل والحرارة طريقتين لانتقال الطاقة، ابحث في المصادر المتوافرة للكيفيّة التي يتم فيها هذا الانتقال في الأنظمة الحراريّة المختلفة.

**مثال (3):** إذا أُنجِز شغلٌ مقداره 387 جول عند ضغط غاز موجود في أسطوانة بوساطة مكبس متحرك، كما في الشكل المجاور، وأدى ذلك إلى انبعاث حرارة من النظام باتجاه المحيط، مقدارها 152 جول. احسب مقدار التغيّر في الطاقة لهذه العمليّة؟



**الحل:**

في هذه الحالة، أُنجِز شغل من المحيط على النظام، فتكون إشارة w موجبة، وانبعثت حرارة من النظام إلى المحيط، فتكون إشارة q سالبة .

نحسب التغيّر في الطاقة الداخليّة حسب العلاقة: $\mathbf{\Delta E = q + w}$

والتغيّر في الطاقة بوحدة الجول = 387 + (- 152) = 235 جول.

**سؤال** احسب التغير في طاقة نظام طارد للحرارة، إذا كانت كمية الحرارة المنبعثة تساوي 15.6 كيلو جول، وأُنجِز شغل على النظام مقداره 1.4 كيلو جول.

## نشاط استقصائي:

أضفْ 5 غم من كربونات الصوديوم إلى 50 مل من محلول حمض الهيدروكلوريك، بتركيز 2 مول/لتر في قنينة، ثم ثبّت البالون على فوهة القنينة البلاستيكيّة بإحكام، ولاحظ التغيّر، ثمّ وضِّح علاقة هذا النشاط بقانون الديناميكا الحراريّة الأول.

وبما أنّ معظم التفاعلات التي نتعامل معها في المختبر تجري تحت ضغط ثابت، بحيث تكون الطاقة الداخلية للنظام تكافئ المحتوى الحراري $\Delta H$، وأنّ المحتوى الحراري دالّة حالة تربط بين الطاقة الداخلية للنظام وبين ضغطه، وحجمه، يمكن حساب حرارة أي تفاعل يجري تحت ضغط ثابت بالفرق في المحتوى الحراري $\Delta H$ بين المواد الناتجة والمواد المتفاعلة، حسب العلاقة الآتية:

**حرارة التفاعل $\Delta H$ = المحتوى الحراري للمواد الناتجة – المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة**

فإذا كانت طاقة المواد الناتجة أكبر من طاقة المواد المتفاعلة يكون التفاعل ماصًّا للحرارة، وتكون قيمة $\Delta H$موجبة، أما إذا كانت طاقة المواد الناتجة أقل من طاقة المواد المتفاعلة فيكون التفاعل طاردًا للحرارة، وتكون قيمة $\Delta H$سالبة. والمثال الآتي يوضح ذلك:

**مثال (4):** تمثّل المعادلة الحراريّة الآتية: $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(g)} + 483.6\ KJ$

تفاعل 2 مول من غاز الهيدروجين مع 1 مول من غاز الأكسجين؛ لإنتاج 2 مول من بخار الماء.

1- هل التفاعل ماصّ للحرارة أم طارد لها؟
2- أيّهما أكبر، المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة، أم المحتوى الحراري للمواد الناتجة؟
3- ما مقدار $\Delta H$ للتفاعل؟ وما إشارتها؟

**الحل:**

1- بما أنّ كميّة الحرارة مع المواد الناتجة، فإنّ هذا التفاعل طاردٌ للطاقة.
2- المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة أكبر.
3- حرارة التفاعل سالبة؛ لأنّ التفاعل طارد للحرارة، وقيمتها 483.6 كيلو جول.

نلاحظ من المثال السابق أنّ تغيرات الطاقة المصاحبة للتفاعلات الكيميائيّة تعكس الفرق بين مجموع الطاقة الكامنة المتعلقّة بالروابط في المواد المتفاعلة والناتجة، لذا فإنّ قياس كميّة الطاقة الممتصة أو المنبعثة عند حدوث تفاعل يستفاد منها في معرفة درجة ثبات الجزيئات، وقوة الروابط الكيميائيّة.

وتختلف قيمة الطاقة المصاحبة للتفاعل باختلاف درجة حرارته، والحالة الفيزيائيّة للمواد المتفاعلة، والناتجة، والضغط الذي يجري عنده، وكميات المواد المتفاعلة، لذا تمّ الاتفاق على أن تكون هناك حالة قياسية من الضغط، والحرارة، وحالة المادة تقاس عندها حرارة التفاعل، فإذا تمّ التفاعل تحت الظروف القياسيّة (درجة الحرارة 25 ْس، والضغط 1 جوي)، وكانت المواد المتفاعلة بالكميات التي تحددها المعادلة الكيميائيّة للتفاعل، رُمِزَ لحرارة التفاعل بالرمز $\Delta H^\circ$، وأُطْلِق عليها مصطلح حرارة التفاعل القياسيّة (Standard Heat of Reaction).

لذا تعني المعادلة الآتية:

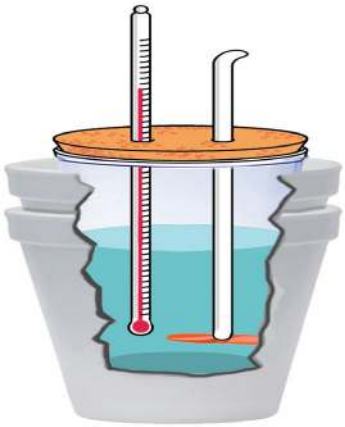
$$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \longrightarrow H_2O_{(g)} \quad \ldots \Delta H^\circ = -241.8 \text{ KJ}$$

أنه عند تفاعل مول واحد من غاز الهيدروجين مع نصف مول من غاز الأكسجين في الحالة الغازيّة، ونتج مولًا واحدًا من بخار الماء عند واحد ضغط جوي و 25 درجة مئويّة، فإنّ كميّة الحرارة المنطلقة من التفاعل تساوي 241.8 كيلو جول.

## (4.4): قياس حرارة التفاعل (Calorimetry):

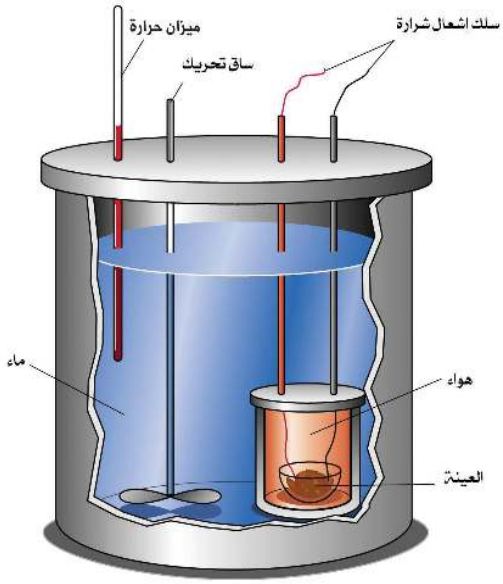
لعلك لاحظت أنّ معظم التفاعلات الكيميائيّة تكون مصحوبة بتغيرات في الطاقة، ولقياس هذه التغيرات عمليًّا، تستخدم أجهزة خاصة تسمى المساعر، **والمسعر:** جهاز معزول حراريًّا، يستخدم لقياس كمية الحرارة، الممتصة أو المنطلقة خلال التفاعلات الكيميائية، حيث توضع كمية من الماء في وعاء معزول يمتص الحرارة الناتجة، أو يُعطي الحرارة اللازمة للتفاعل، وعن طريق قياس تغيّر درجة الحرارة، يمكن معرفة كميّة الحرارة الممتصة أو المنطلقة منها، **ومن أنواع المساعر:**

## 1- مسعر الكأس (Cup Calorimeter):



يتكون هذا المسعر من كأسين من مادة البوليستايرين، أحدهما مدخل في الآخر، ومثبتان في كأس زجاجي، ولهما غطاء عازل يدخل فيه ميزان حرارة، وقضيب زجاجي للتحريك، ولقياس حرارة تفاعل ما، توضع كتل محددة من المواد المتفاعلة فيه، ثم تقاس درجة الحرارة العليا (للتفاعل الطارد للحرارة) أو الدنيا (للتفاعل الماصّ للحرارة) التي تصل إليها المواد بعد تحولها إلى نواتج، ومن ثمّ يمكن حساب كمية الحرارة الممتصة أو المنبعثة أثناء التفاعل.

## 2- مسعر القنبلة (Bomb Calorimeter):




يستعمل هذا النوع من المساعر عادة في قياس حرارة الاحتراق، ويتكون من إناء خارجي مصنوع من الفولاذ ومعزول، ويحتوي في داخله على إناء صغير مصنوع من نوع خاص من الفولاذ يسمى قنبلة (غير منفجرة)، تكون مغمورة في الماء، ولقياس حرارة احتراق مادة ما توضع كتلة معلومة منها داخل القنبلة بوجود الأكسجين النقي تحت ضغط مرتفع، ثم تمرّر شرارة كهربائيّة داخل القنبلة، فتؤدي إلى احتراق المادة، مولدة كميّة من الحرارة تنتقل إلى خارج القنبلة، فترفع درجة حرارة الماء المحيط بها، وهكذا يمكن قياس مقدار ارتفاع درجة حرارة الماء، وحساب كمية الحرارة المكتسبة، حيث إنّ لكل مسعر سعة حراريّة معلومة تعتمد على طبيعة وكتل مكوناته.

**سؤال** قارن بين المسعر الكأس والمسعر القنبلة من حيث:

1- التفاعل الذي يناسب كلًّا منهما.
2- نوع النظام في المسعر.
3- ظروف التفاعل.

وتحسب كميّة الحرارة المنبعثة أو الممتصة من العلاقة:

كميّة الحرارة (المنبعثة أو الممتصة) = الكتلة × الحرارة النوعيّة × الفرق في درجة الحرارة.

وبما أنّ السّعة الحراريّة = الكتلة × الحرارة النوعية، تكتب العلاقة على الشكل الآتي:

كمية الحرارة (بالجول) = السعة الحرارية (جول/ْس) × الفرق في درجة الحرارة (ْس)

وتُعرّف **السعة الحراريّة (Heat Capacity):** بأنها الطاقة الحراريّة (كميّة الحرارة) اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة مئويّة واحدة. ووحدة السعة الحراريّة هي جول/ْس.

وتُعرّف **الحرارة النوعيّة (Specific Heat):** بأنها الطاقة الحراريّة (كميّة الحرارة) اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من المادة درجة مئوية واحدة. ووحدة الحرارة النوعيّة هي جول/غم.ْس.

**مثال (5):** يتفاعل الهيدرازين مع الأكسجين لإنتاج غاز النيتروجين وبخار الماء ، وفقًا للمعادلة الآتية:

$$N_2H_{4(l)} + O_{2(g)} \longrightarrow N_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

فإذا تفاعل 3 غرام من الهيدرازين مع كمية كافية من الأكسجين، وزادت درجة حرارة المسعر من 25 إلى 35.5 درجة مئوية،احسب الحرارة الناتجة عن هذا التفاعل، إذا كانت السعة الحراريّة للمسعر 5.52 كيلو جول/ْس.

**الحل:**

كميّة الحرارة الناتجة من حرق 3 غم من الهيدرازين = السعة الحرارية × التغيّر في درجة الحرارة.

كميّة الحرارة الناتجة من حرق 3 غم = 5.52 كيلو جول/ْس × (35.5 - 25)ْس = 57.96 كيلو جول.

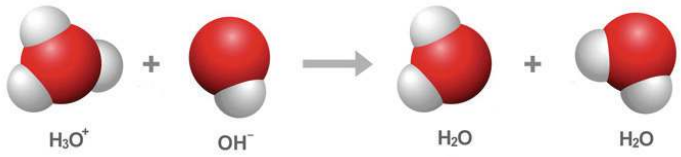
## (5.4): طرق التعبير عن حرارة التفاعل (Methods of Expressing Heat of Chemical Reaction):

يوجد عدد من الطرق التي يمكن من خلالها التعبير عن حرارة التفاعل، منها: حرارة التعادل، وحرارة التكوين، وحرارة الاحتراق، وغيرها.

### أولًا: حرارة التعادل (Heat of Neutralization):

يُعدّ تفاعل التعادل نوعًا من أنواع التفاعلات الكيميائيّة التي يصاحبها تغيّر في الطاقة، ويُعرَّف بأنه: التفاعل الذي يتم فيه تعادل أيونات الهيدروجين $H^+$ الناتجة من تأيُّن الحمض مع

أيونات الهيدروكسيد $OH^-$ الناتجة من تأيُّن القاعدة؛ لتكوين جزيئات الماء، كما هو موضّح في الشكل (6) الآتي:




الشكل (6): تفاعل أيون الهيدرونيوم مع أيون الهيدروكسيد

ولتتعرّف إلى كيفيّة حساب الطاقة الناتجة من تفاعل التعادل عمليًّا، نفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (5): قياس حرارة التعادل عمليًّا:

### المواد والأدوات:

محلول حمض الهيدروكلوريك HCl 2 مول/لتر، ومحلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH 2 مول/لتر، وميزان حرارة عدد 2 ، وحمام مائي، ودورق حجمي 100 مل عدد 2، وكأس زجاجي 100 مل عدد 2.

### خطوات العمل:

1- حضّر محلول حمض الهيدروكلوريك الذي حجمه 50 مل، بتركيز 2 مول/لتر، ومحلول هيدروكسيد الصوديوم الذي حجمه 50 مل، بتركيز 2 مول/لتر في دورقين حجميين منفصلين.
2- ضع الدورقين الحجميين في حمام مائي بدرجة حرارة الغرفة، حتى تصبح حرارة المحلولين متساوية، وسجّل درجة حرارتهما.
3- أضف محلول حمض الهيدروكلوريك إلى محلول هيدروكسيد الصوديوم، وسجّل درجة الحرارة النهائيّة.

### الأسئلة:

1- احسب كميّة الحرارة المصاحبة بوحدة كيلوجول.
2- احسب كميّة الحرارة الناتجة عن تفاعل 1 مول من حمض الهيدروكلوريك مع 1 مول من هيدروكسيد الصوديوم.

**سؤال** لماذا نستعمل ميزان حرارة لكل محلول، ولا نقيس درجة حرارة المحلولين بالميزان نفسه، إلا بعد غسله بالماء المقطّر؟

لعلّك توصلت إلى أنّ كميّة الحرارة الناتجة عن تفاعل 1 مول من الحمض مع 1 مول من القاعدة في النشاط السابق تسمى **حرارة التعادل**، والتي تُعَرَّف: بأنها كميّة الحرارة المنطلقة عند تفاعل مول واحد من أيونات الهيدروجين الناتجة من الحمض القوي مع واحد مول من أيونات الهيدروكسيد الناتجة من القاعدة القوية، وعند حسابها في الظروف القياسية تسمى حرارة التعادل القياسيّة. ويبيّن الجدول (2) الآتي حرارة التعادل القياسيّة لعدد من تفاعلات الحموض والقواعد القوية:

الجدول (2): حرارة التعادل القياسيّة لعدد من تفاعلات الحموض والقواعد القوية

| تفاعل التعادل | حرارة التعادل |
|---|---|
| $HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ | -58 كيلو جول |
| $HNO_{3(aq)} + KOH_{(aq)} \longrightarrow KNO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$ | -58 كيلو جول |
| $H_2SO_{4(aq)} + 2KOH_{(aq)} \longrightarrow K_2SO_{4(aq)} + 2H_2O_{(l)}$ | -58 كيلو جول |

تلاحظ أنّ حرارة التعادل متساوية على الرغم من اختلاف المواد المتفاعلة، فسّر سبب الثبات بكتابة معادلة أيونية صافية لكل تفاعل.

**سؤال** قارن بين القيمة الحقيقيّة في الجدول والقيمة التي أوجدتها في النشاط السابق؟ وما سبب الاختلاف؟

ولتتعرف إلى كيفيّة حساب الطاقة الناتجة من تفاعل التعادل، تمعّن المثال الآتي:

**مثال (6):** إذا تفاعل 100 مل من محلول حمض النيتريك $HNO_3$ تركيزه 1 مول/لتر مع 100 مل من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH تركيزه 1 مول/لتر، وارتفعت درجة الحرارة بمقدار 6.7 درجة مئويّة، احسب حرارة التعادل، إذا علمت أنّ الحرارة النوعيّة للماء تساوي 4.18 جول/غم.°س، وكثافة المحلول تساوي 1 غم/مل.

**الحل:**

معادلة التفاعل: $HNO_{3(aq)} + KOH_{(aq)} \longrightarrow KNO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$

1- نحسب عدد مولات الحمض $HNO_3$ = التركيز (مول/لتر) × الحجم (لتر)

= 1 × (100 ÷ 1000) = 0.1 مول.

2- نحسب عدد مولات القاعدة KOH = التركيز(مول/لتر) × الحجم (لتر)

= 1× (100 ÷ 1000) = 0.1 مول.

3- نحسب كمية الحرارة التي اكتسبها المحلول.

كمية الحرارة المكتسبة =

كتلة المحلول (غم) × الحرارة النوعية (جول/غم.°س) × فرق درجات الحرارة (°س)

كمية الحرارة المكتسبة = 200 × 4.18 × 6.7 = 5601.2 جول

أي أنّ كمية الحرارة التي أنتجها 0.1 مول من الحمض = 5601.2 جول = 5.6 كيلو جول.

4- نحسب كمية الحرارة الناتجة عن 1 مول من الحمض.

كمية الحرارة الناتجة عن 1 مول من الحمض = 5.6 كيلو جول ÷ 0.1 مول = 56 كيلو جول/مول، وتكون الإشارة بالسالب؛ لأنّ حرارة التعادل = - حرارة المحلول، إذن، حرارة التفاعل تساوي - 56 كيلو جول، على فرض عدم ضياع حرارة مفقودة للمحيط.

**سؤال** احسب حرارة التعادل الناتجة من إضافة 150مل من محلول حمض هيدروكلوريك، بتركيز 0.35 مول/لتر إلى 150مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه 0.35 مول/لتر، وأدى ذلك إلى رفع حرارة المحلول في المسعر عند الضغط الثابت إلى 25.6 درجة مئوية، إذا كانت حرارة كل من محلول الحمض والقاعدة قبل التفاعل تساوي 23.25 درجة مئوية والحرارة النوعيّة للماء تساوي 4.18 جول/غم.°س، وكثافة المحلول تساوي 1 غم/مل، ومعادلة التفاعل:

$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

## ثانيًا: حرارة التكوين القياسية (Standard Heat of Formation):

تُعرّف كميّة الحرارة المصاحبة لتكوّن مول واحد من المادة من عناصرها الأوليّة في حالتها القياسيّة بحرارة التكوين القياسية $\Delta H^\circ_f$ ، فمثلًا: يتكون كل من غاز أول أكسيد الكربون والماء من عناصرها الأولية، وفقًا للمعادلات الآتية:

$$C_{(s)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \longrightarrow CO_{(g)} \ldots \quad \Delta H^\circ_f = -110.60 \text{ KJ / mol}$$

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \longrightarrow H_2O_{(l)} \ldots \quad \Delta H^\circ_f = -285.84 \text{ KJ / mol}$$

ولا بدّ من الإشارة إلى أنه تمّ الاتفاق على أن تكون حرارة التكوين القياسيّة لأي عنصر في أكثر أشكاله استقرارًا تساوي صفرًا، فمثلًا: نجد أنّ حرارة تكوين الأكسجين الجزيئي $O_2$ عند ضغط واحد جوي، ودرجة حرارة 25 ْس تساوي صفرًا، بينما لا تساوي صفرًا في حالة الأكسجين الذري أو الأوزون $O_3$ ، وقد قام العلماء بتدوين قيم $\Delta H^\circ_f$ لعدد كبير من المواد، كما في الجدول (3) الآتي:

الجدول (3): قيم حرارة التكوين القياسيّة لبعض المواد عند 25 ْس

| المادة | حرارة التكوين كيلو جول/مول | المادة | حرارة التكوين كيلو جول/مول |
|---|---|---|---|
| $Ag_{(s)}$ | 0 | $H_2O_{2(l)}$ | 187.6- |
| $AgCl_{(s)}$ | 127.04- | $Hg_{(l)}$ | 0 |
| $Al_{(s)}$ | 0 | $I_{2(s)}$ | 0 |
| $Al_2O_{3(s)}$ | 1669.8- | $HI_{(g)}$ | 25.94 |
| $Br_{2(l)}$ | 0 | $Mg_{(s)}$ | 0 |
| $HBr_{(g)}$ | 36.2- | $MgO_{(s)}$ | 601.8- |
| $C_{(graphite)}$ | 0 | $MgCO_{3(s)}$ | 1112.9- |
| $C_{(diamond)}$ | 1.9 | $N_{2(g)}$ | 0 |
| $CO_{(g)}$ | 110.5- | $NH_{3(g)}$ | 46.3- |
| $CO_{2(g)}$ | 393.5- | $NO_{(g)}$ | 90.4 |
| $Ca_{(s)}$ | 0 | $NO_{2(g)}$ | 33.85 |

| المادة | حرارة التكوين كيلو جول/مول | المادة | حرارة التكوين كيلو جول/مول |
|---|---|---|---|
| $CaO_{(s)}$ | 635.6- | $N_2O_{4(g)}$ | 9.66 |
| $CaCO_{3(s)}$ | 1206.9- | $N_2O_{(g)}$ | 81.56 |
| $Cl_{2(g)}$ | 0 | $O_{(g)}$ | 249.4 |
| $HCl_{(g)}$ | 92.3- | $O_{2(g)}$ | 0 |
| $Cu_{(s)}$ | 0 | $O_{3(g)}$ | 142.2 |
| $CuO_{(s)}$ | 155.2- | $S_{(rhombic)}$ | 0 |
| $F_{2(g)}$ | 0 | $S_{(monolic)}$ | 0.3 |
| $HF_{(g)}$ | 268.61- | $SO_{2(g)}$ | 296.1- |
| $H_{2(g)}$ | 0 | $SO_{3(g)}$ | 395.2- |
| $H_2O_{(g)}$ | 241.8- | $H_2S_{(g)}$ | 20.15- |
| $H_2O_{(l)}$ | 285.8- | $ZnO_{(s)}$ | 347.98- |
| $Na_2CO_{3(s)}$ | 1131- | $ZnS_{(s)}$ | 202.9- |
| $NaCl_{(s)}$ | 411.1- | $NaOH_{(s)}$ | 426.7- |
| $Fe_2O_{3(s)}$ | 822.2- | $HgO_{(s)}$ | 90.7- |
| $Fe_3O_{4(s)}$ | 1120.9- | $CaCl_{2(s)}$ | 795- |
| $CS_{2(l)}$ | 87.9 | $CH_{4(g)}$ | 74.9- |
| $CH_3OH_{(l)}$ | 238.6- | $HCN_{(g)}$ | 135 |

وباستخدام حرارة التكوين $\Delta H^\circ_f$ ، يمكن حساب حرارة التفاعل الكلية $\Delta H^\circ$، وحرارة التكوين القياسية لمواد مختلفة، باستخدام المعادلة الآتية:

**حرارة التفاعل = مجموع حرارة التكوين للمواد الناتجة - مجموع حرارة التكوين للمواد المتفاعلة**

**حرارة التفاعل $\Delta H^\circ$ = مجموع $\Delta H^\circ_f$ للمواد الناتجة - مجموع $\Delta H^\circ_f$ للمواد المتفاعلة**

**مثال (7):** اعتمادًا على قيم حرارة التكوين الموليّة الواردة في الجدول (3)، احسب المحتوى الحراري $\Delta H^\circ$ للتفاعل الآتي:

$$SO_{2(g)} + 2H_2S_{(g)} \longrightarrow 3S_{(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

**الحل:**

حرارة التفاعل $\Delta H^\circ$ = مجموع $\Delta H^\circ_f$ للمواد الناتجة - مجموع $\Delta H^\circ_f$ للمواد المتفاعلة.

حرارة التفاعل $\Delta H^\circ$ = $(SO_{2(g)}\ \Delta H^\circ_f \times 1 + H_2S_{(g)}\ \Delta H^\circ_f \times 2) - (S_{(s)}\ \Delta H^\circ_f \times 3 + H_2O_{(l)}\ \Delta H^\circ_f \times 2)$

حرارة التفاعل $\Delta H^\circ$ = $(296.1- \times 1 + 20.15 - \times 2) - (\text{صفر} \times 3 + 285.8 - \times 2)$

= - 235.2 كيلوجول.

**سؤال** يحتفظ عددٌ من الطباخين بمادة كربونات الصوديوم الهيدروجينيّة $NaHCO_3$ في متناول اليد؛ كونها مادة جيّدة لإطفاء حرائق الزيوت والدهون؛ لأنّ المركبات الناتجة من تفككها تخمد اللهب، ويمثّل تفاعل تفكك كربونات الصوديوم الهيدروجينيّة بالمعادلة الآتية:

$$2NaHCO_{3(s)} \longrightarrow Na_2CO_{3(s)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

احسب حرارة تكوين كربونات الصوديوم الهيدروجينيّة إذا كانت حرارة التفاعل تساوي 128 كيلو جول.

## (6.4): قانون هس (Hess's Law):

تصعب عمليّة قياس الحرارة المصاحبة لعدد من التفاعلات بشكل مباشر في المختبر؛ لأسباب منها بطء التفاعل، وظهور نواتج جانبيّة، وبما أنّ التغيّر الحراري في التفاعلات يكون دائمًا دالّة حالة، ولا يعتمد على المسار الذي يجرى فيه التفاعل، لجأ الكيميائيون إلى تعيين حرارة التفاعل بطريقة غير مباشرة، وللتعرّف إلى هذه الطريقة، نفِّذِ النّشاط الآتي:

## نشاط (6): إيجاد حرارة التفاعل بطريقة غير مباشرة (قانون هس):

1- احسب حرارة تفاعل 1 مول من غاز الأكسجين مع 1 مول من الكربون الصلب (جرافيت)، حسب المعادلة الآتية، بالاعتماد على قيم حرارة التكوين المولية.

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} : \Delta H^{\circ} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots KJ$$

2- كيف يمكن حساب حرارة التفاعل السابق، بالاعتماد على المعادلتين الآتيين؟

**أ-** تكوّن غاز أول أكسيد الكربون CO من عنصري الكربون والأكسجين حسب المعادلة الآتية:

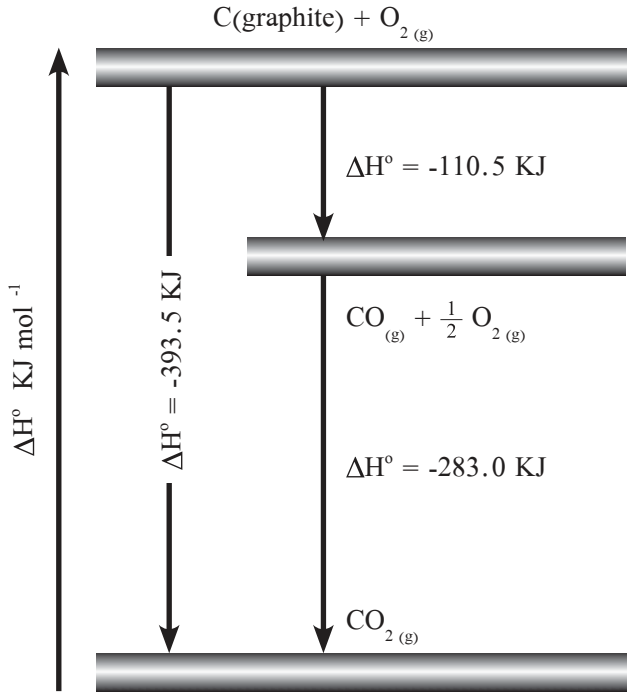
$$C_{(\text{جرافيت})} + \tfrac{1}{2} O_{2(g)} \longrightarrow CO_{(g)} : \Delta H_1^{\circ} = -110.5 \text{ KJ}$$

**ب-** تكوّن غاز ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ من غاز أول أكسيد الكربون والأكسجين حسب المعادلة الآتية:

$$CO_{(g)} + \tfrac{1}{2} O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} : \Delta H_2^{\circ} = -283KJ$$

**فكّر:**
هل من الممكن قياس حرارة التكوين المولية في الظروف القياسية لتكوُّن CO، ونسبته لتكوُّن CO فقط؟

لعلّك توصّلت من النشاط السابق إلى أنّ حرارة التفاعل تحت الظروف نفسها، تتوقف على طبيعة المواد المتفاعلة، والمواد الناتجة، ولا تتوقف على الخطوات التي تمّ فيها التفاعل، فحساب التغيّر الحراري للتفاعلات التي لا يمكن قياسها بطريقة مباشرة يتم قياسها باستخدام تفاعلات أخرى، يمكن قياس حرارة تفاعل كل منها، ومعالجة المعادلات وكأنها معادلات جبريّة، فمثلًا: في النشاط السابق، وبعد جمع المعادلتين وحذف الحدود المشتركة في السُّؤال الثاني، نحصل على الناتج المطلوب نفسه في السُّؤال الأول لهذا النشاط، كما هو موضّح في الشكل (7) المجاور.




الشكل (7): حساب المحتوى الحراري لتكون $CO_2$ بشكل غير مباشر

إذ إنّ النتيجة من الناحية الكيميائية والحراريّة متماثلة في كلا المسارين، ما يؤكد أنّ حرارة التفاعل $\Delta H$ هي دالّة حالة، وليسَ دالّة مسار، وهذا ما توصل إليه العالم (هس) الذي وضع قانونًا سُمّي باسمه، **والذي ينص على ما يأتي: «إذا تمّ التعبير عن تفاعل كيميائي بمجموعة من التفاعلات، فإنّ التغيّر في المحتوى الحراري لهذا التفاعل يساوي المجموع الجبري للتغيّر في المحتوى الحراري لهذه التفاعلات».**

ويُكتب قانون (هس) بصورة رياضية كما يأتي: $\Delta H_{\text{التفاعل}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \ldots + \Delta H_n$

ولتتعرف على تطبيقات قانون هس لحساب حرارة تفاعل ما، تمعّن المثال الآتي:

**مثال (8):** احسب $\Delta H$ للتفاعل: $C_{(s)} + 2H_{2(g)} \longrightarrow CH_{4(g)}$ باستخدام المعادلات الآتية:

| رقم المعادلة | المعادلة | قيمة $\Delta H$ |
|---|---|---|
| 1 | $C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)}$ | $\Delta H = -393.5$ KJ |
| 2 | $H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \longrightarrow H_2O_{(l)}$ | $\Delta H = -285.8$ KJ |
| 3 | $CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$ | $\Delta H = -890.4$ KJ |

**الحل:**

- نلاحظ أنّ عنصر الكربون في المعادلة الأولى موجود كمادة متفاعلة بعدد مولات يطابق عدد مولات الكربون في المعادلة المطلوبة؛ لذا تبقى المعادلة الأولى كما هي.

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} : \Delta H = -393.5 \text{ KJ}$$

- المحتوى الحراري خاصيّة جمعيّة؛ أي أنّ قيمة $\Delta H$ تعتمد بصورة مباشرة على المواد المتفاعلة، والمواد الناتجة، فلو أننا ضربنا طرفي المعادلة الحراريّة بمعامل معيّن، فيجب ضرب $\Delta H$ بالمعامل نفسه، لذا يتم ضرب المعادلة الثانية في 2؛ نظراً لأنّ عدد مولات الهيدروجين في المعادلة المطلوبة يساوي 2 مول، لتصبح المعادلة على الشكل الآتي:

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)} : \Delta H = -571.6 \text{ KJ}$$

- التغيّر في المحتوى الحراري لتفاعل معيّن يساوي محتوى التفاعل المنعكس في المقدار، ويخالفه في الإشارة، لذا يتم قلب المعادلة الثالثة؛ لأنّ الميثان $CH_4$ موجود كمادة ناتجة في المعادلة المطلوب حساب حرارة التفاعل لها،لتصبح المعادلة كما يأتي:

$$CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} : \Delta H = +890.4 \text{ KJ}$$

فتكون حرارة التفاعل الكليّة $= \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ بعد التعديل.

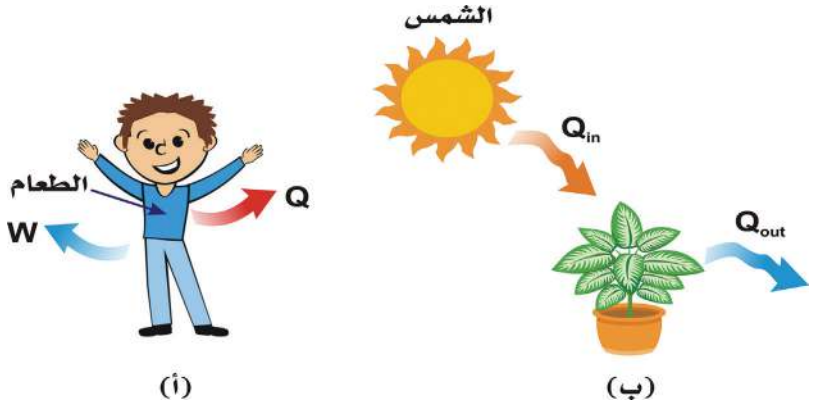
حرارة التفاعل $\Delta H = (-393.5) + (-571.6) + (+890.4) = -74.7$ كيلو جول.

**سؤال** احسب حرارة التفاعل القياسية للتفاعل $2Al_{(s)} + Fe_2O_{3(s)} \longrightarrow 2Fe_{(s)} + Al_2O_{3(s)}$ باستخدام المعادلتين الآتيتين:

$$2Al_{(s)} + 3/2\ O_{2(g)} \longrightarrow Al_2O_{3(s)} : \Delta H^\circ = -1669.8\ KJ$$

$$2Fe_{(s)} + 3/2\ O_{2(g)} \longrightarrow Fe_2O_{3(s)} : \Delta H^\circ = -822.2\ KJ$$

**سؤال** بعد دراستك هذه الوحدة، يشكل الانسان والنبات نظامًا مفتوحًا مع البيئة المحيطة، فكيف يتم تبادل المادة والطاقة بين الأنظمة والبيئة المحيطة؟




## المشاريع العلمية:

بعد دراستك هذه الوحدة، يمكن تنفيذ أحد المشاريع الآتية:

### أولًا: مشروع الأكياس الحرارية والباردة:

كتابة بحث عن أكياس التبريد والتسخين، مبينًا كيف تستغل المصانع التغييرات الفيزيائية والكيميائية الطاردة للطاقة لإنتاج الأكياس الحراريّة، والماصّة للطاقة في إنتاج الأكياس الباردة، متضمنًا: أنواعها، وآلية عملها، والمعادلات الكيميائية الحراريّة الموزونة للتغيرات التي تحدث في كل منها، والمقارنة مع بدائلها المقترحة.

## ثانيًا: مشروع المسعر الحراري:

تصميم مسعر من مواد البيئة المحلية، واستخدامه في قياس حرارة تفاعل حمض الخل مع كربونات الصوديوم.

## ثالثًا: مشروع الوقود الحيوي (علم الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة):

كتابة تقرير مفصَّل عن أنواع الوقود الحيوي من حيث:
المواد المستخدمة، ومدى توافرها، وفوائدها، ومضارها، ومقارنتها بالوقود الأحفوري، ومخاطر استخدامه.

## رابعًا: مشروع الطاقة الشمسية:

تتطلع المجتمعات الإنسانية الحديثة إلى اعتماد الطاقة الشمسية كأحد بدائل الطاقة الناتجة عن البترول، من خلال تحويل طاقة الضوء إلى طاقة حرارية، بوساطة تخزينها في تفاعل كيميائي ماصّ للحرارة، لاستخدامها عند الحاجة.
أكتب تقريرًا علميًّا يتضمن ما يأتي:

1- أهم التفاعلات الماصّة التي تستخدم لهذا الغرض.
2- كيف يتم عكس التفاعل، واستغلال الطاقة المخزنة؟
3- محاسن هذه الطريقة، ومحاذيرها.

# الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع

## كائنات تُنتِج طاقة

الصرصور القاذف

نبات زنبق الفودو

قنديل البحر

### الصرصور القاذف:

عندما يشعر الصرصور بالخطر، يُخرِج كمية من سائل محلول مائي، يتكوّن من مادتي الهيدروكينون $C_6H_4(OH)_2$، وفوق أكسيد الهيدروجين $H_2O_2$ المتمثل في التفاعل الطارد للحرارة الآتي:

$$C_6H_4(OH)_{2(aq)} + H_2O_{2(aq)} \longrightarrow C_6H_4O_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

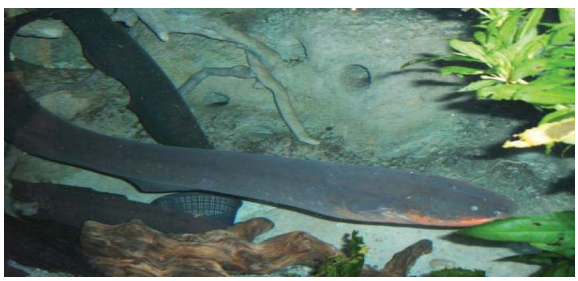
حيث إنّ كمية الحرارة الكبيرة المنبعثة تكفي لتسخين المخلوط لدرجة الغليان.

### نبات زنبق الفودو:

يُعَدُّ زنبق الفودو أحد أنواع من النباتات المولدة للحرارة، ويحظى هذا النوع باهتمام خاصّ من علماء الأحياء؛ لأنّه يوفّر فرصًا لدراسة التفاعلات الأيضية التي تُعَدُّ غير ملحوظة نوعًا ما في أنواع النباتات العادية؛ بسبب قدرته على توليد الطاقة أثناء نشاطه الأيضي، فقد تصل حرارة زهرة هذا النبات إلى 15 درجة مئوية أعلى من درجة البيئة المحيطة.

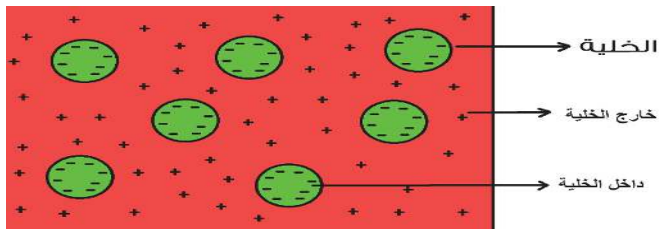
### سمكة الإنقليس الرّعّاد:

تُنتج جميع الخلايا الحيّة شحنات كهربائيّة حولها؛ بسبب ترشيحها لبعض العناصر المعدنية الموجبة، مثل الصوديوم والبوتاسيوم خلال غشائها



سمكة الإنقليس الرّعّاد

الخارجي؛ ما يجعل المحيط الخارجي للخليّة موجب الشحنة، مقارنة مع داخلها سالب الشحنة، وهذا الفرق في الشحنات يُنتج فرقًا في الجهد الكهربائي، لكنه قليل يقدر بحوالي 0.065 فولت.




وتستفيد سمكة الإنقليس من هذه الخاصية من خلال توصيل خلاياها لتصبح كأنها مجموعة من البطاريات الموصولة على التوالي؛ ما يرفع فرق الجهد إلى حوالي 600 فولت، بحيث يجعلها قادرة على إصابة فريستها بالشلل، وعدم القدرة على الحركة.

# أسئلة الوحدة

**السُّؤال الأول:** اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1 أي من الآتية تمثل نظامًا معزولًا؟

أ) ميزان حرارة زئبقي. ب) مصباح كهربائي.

ج) تيرموس مغلق. د) كأس قهوة ساخن.

2 ما المعادلة التي يكون التغيّر في المحتوى الحراري لها مساويًا لحرارة التكوين المولية $\Delta H_f^\circ$ للناتج؟

أ) $3Mg_{(s)} + N_{2(g)} \longrightarrow Mg_3N_{2(s)}$ ب) $2C_{(S)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2CO_{(g)}$

ج) $2Ca_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2CaO_{(s)}$ د) $C_2H_{2(g)} + H_{2(S)} \longrightarrow C_2H_{4(l)}$

3 أي من الآتية تمثل وحدة الحرارة النوعيّة؟

أ) جول/ ْس. ب) جول/مول. ج) جول/غم.ْس. د) جول.

4 إذا علمت أنّ حرارة التكوين المولية لِـ $Al_2O_3$ تساوي – 1676 كيلو جول/مول، فما قيمة $\Delta H^\circ$ للتفاعل الآتي: $2Al_2O_{3(s)} \longrightarrow 4\ Al_{(s)} + 3O_{2(g)}$ بوحدة كيلو جول؟

أ) $-3352$ ب) $-838$ ج) 838 د) 3352

5 إذا حدثت التفاعلات الآتية في الظروف القياسيّة:

$$N_{2(g)} + 2O_{2(g)} \longrightarrow 2NO_{2(g)} : \Delta H^\circ = -90\ KJ$$

$$NO_{(g)} + ½\ O_{2(g)} \longrightarrow NO_{2(g)} : \Delta H^\circ = -11\ KJ$$

فما حرارة تكوين NO بوحدة كيلو جول/ مول؟

أ) $-78$ ب) 78 ج) $-34$ د) $-101$

**السُّؤال الثاني:** ما الفرق بين كل من:

1 حرارة التفاعل $\Delta H^{\circ}$ وحرارة التكوين $\Delta H_f$ .

2 دالّة الحالة ودالّة المسار.

3 النظام المغلق والنظام المعزول.

**السُّؤال الثالث:** لديك التفاعل الآتي: $2Na_2O_{2(s)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow 4NaOH_{(s)} + O_{2(g)}$

1 احسب حرارة التفاعل القياسية، باستخدام جدول حرارة التكوين القياسيّة، علماً أن حرارة التكوين القياسية لِـ $Na_2O_{2(s)}$ تساوي -504.5 كيلو جول/مول.

2 ما مقدار الطاقة المصاحبة بالكيلو جول عندما يتفاعل 25 غم من $Na_2O_2$، علمًا أنّ كتلته المولية تساوي 78 غم/مول؟

**السُّؤال الرابع:** احسب حرارة التفاعل الآتي: $B_2H_{6(g)} + 3O_{2(g)} \longrightarrow B_2O_{3(s)} + 3H_2O_{(g)}$ $\Delta H$ ..... باستخدام المعادلات الآتية:

$$2B_{(s)} + 3/2\ O_{2(g)} \longrightarrow B_2O_{3(s)} \quad :\Delta H = -1273\ KJ$$
$$H_{2(g)} + 1/2\ O_{2(g)} \longrightarrow H_2O_{(l)} \quad :\Delta H = -286\ KJ$$
$$H_2O_{(l)} \longrightarrow H_2O_{(g)} \quad :\Delta H = 44\ KJ$$
$$2B_{(s)} + 3H_{2(g)} \longrightarrow B_2H_{6(g)} \quad :\Delta H = 36\ KJ$$

**السُّؤال الخامس:** إذا كانت حرارة التفاعل القياسيّة للمعادلة الآتية:

$$3H_{2(g)} + N_{2(g)} \longrightarrow 2NH_{3(g)} : \Delta H^{\circ} = -92.38\ KJ$$

فما حرارة التفاعل القياسية للمعادلتين الآتيتين؟

$$6H_{2(g)} + 2\ N_{2(g)} \longrightarrow 4NH_{3(g)} : \Delta H^{\circ} = \ldots\ldots\ KJ$$
$$3/2H_{2(g)} + 1/2\ N_{2(g)} \longrightarrow NH_{3(g)} : \Delta H^{\circ} = \ldots\ldots\ KJ$$

**السُّؤال السادس:** احسب مقدار التغيّر في درجة الحرارة عند معادلة 50 مل من محلول حمض الهيدروكلوريك، تركيزه 1 مول/لتر، مع 50 مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم، تركيزه 1 مول/لتر، والممثلة بالمعادلة الآتية:

$$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

إذا تمّ التفاعل في الظروف القياسيّة، وكانت كميّة الحرارة المصاحبة للتفاعل تساوي 2.9 كيلو جول، والحرارة النوعيّة للمحلول 4.18 جول/غم.ْس، وكثافة المحلول 1.02 غم/سم$^3$.

**السُّؤال السابع:** صنّف الأنظمة الآتية إلى مفتوح، ومغلق، ومعزول:

1. حساء طعام في قارورة تيرموس مغلقة.
2. الطالب في غرفة نومه.
3. الهواء في كرة التنس.

**السُّؤال الثامن** أقيّم ذاتي:

أقرأ كل عبارة من العبارات الآتية، ثم أضع إشارة ( ✓ ) في المكان المناسب:

| الرقم | العبارة | دائماً | أحياناً | نادراً |
|---|---|---|---|---|
| .1 | أستطيع حساب حرارة التفاعل باستخدام جداول حرارة التكوين المولية. | | | |
| .2 | استطيع قياس حرارة التعادل عملياً. | | | |
| .3 | أستطيع التمييز بين أنواع الأنظمة الحرارية. | | | |
| .4 | أستطيع توظيف قانون هس لحساب حرارة التفاعل. | | | |

## المشروع

المشروع: شكل من أشكال منهج النشاط؛ يقوم الطلبة (أفراداً أو مجموعات) بسلسلة من ألوان النشاط التي يتمكنون خلالها من تحقيق أهداف ذات أهمية للقائمين بالمشروع.
ويمكن تعريفه على أنه: سلسلة من النشاط الذي يقوم به الفرد أو الجماعة لتحقيق أغراض واضحة ومحددة في محيط اجتماعي برغبة ودافعية.

### ميزات المشروع:

1. قد يمتد زمن تنفيذ المشروع لمدة طويلة ولا يتم دفعة واحدة.
2. ينفّذه فرد أو جماعة.
3. يرمي إلى تحقيق أهداف ذات معنى للقائمين بالتنفيذ.
4. لا يقتصر على البيئة المدرسية وإنما يمتد إلى بيئة الطلبة لمنحهم فرصة التفاعل مع البيئة وفهمها.
5. يستجيب المشروع لميول الطلبة وحاجاتهم ويثير دافعيّتهم ورغبتهم بالعمل.

### خطوات المشروع:

**أولاً: اختيار المشروع: يشترط في اختيار المشروع ما يأتي:**

1. أن يتماشى مع ميول الطلبة ويشبع حاجاتهم.
2. أن يوفّر فرصة للطلبة للمرور بخبرات متنوعة.
3. أن يرتبط بواقع حياة الطلبة ويكسر الفجوة بين المدرسة والمجتمع.
4. أن تكون المشروعات متنوعة ومترابطة وتكمل بعضها البعض ومتوازنة، لا تغلّب مجالاً على الآخر.
5. أن يتلاءم المشروع مع إمكانات المدرسة وقدرات الطلبة والفئة العمرية.
6. أن يُخطّط له مسبقاً.

**ثانياً: وضع خطة المشروع:**

يتم وضع الخطة تحت إشراف المعلم حيث يمكن له أن يتدخّل لتصويب أي خطأ يقع فيه الطلبة.

**يقتضي وضع الخطة الآتية:**

1. تحديد الأهداف بشكل واضح.
2. تحديد مستلزمات تنفيذ المشروع، وطرق الحصول عليها.
3. تحديد خطوات سير المشروع.
4. تحديد الأنشطة اللازمة لتنفيذ المشروع، (شريطة أن يشترك جميع أفراد المجموعة في المشروع من خلال المناقشة والحوار وإبداء الرأي، بإشراف وتوجيه المعلم).
5. تحديد دور كل فرد في المجموعة، ودور المجموعة بشكل كلّي.

## ثالثاً: تنفيذ المشروع:

مرحلة تنفيذ المشروع فرصة لاكتساب الخبرات بالممارسة العملية، وتعدّ مرحلة ممتعة ومثيرة لما توفّره من الحرية، والتخلص من قيود الصف، وشعور الطالب بذاته وقدرته على الإنجاز حيث يكون إيجابياً متفاعلاً خلّاقاً مبدعاً، ليس المهم الوصول إلى النتائج بقدر ما يكتسبه الطلبة من خبرات ومعلومات ومهارات وعادات ذات فائدة تنعكس على حياتهم العامة.

### دور المعلم:

1. متابعة الطلبة وتوجيههم دون تدخّل.
2. إتاحة الفرصة للطلبة للتعلّم بالأخطاء.
3. الابتعاد عن التوتّر مما يقع فيه الطلبة من أخطاء.
4. التدخّل الذكي كلما لزم الأمر.

### دور الطلبة:

1. القيام بالعمل بأنفسهم.
2. تسجيل النتائج التي يتم التوصل إليها.
3. تدوين الملاحظات التي تحتاج إلى مناقشة عامة.
4. تدوين المشكلات الطارئة (غير المتوقعة سابقاً).

## رابعاً: تقويم المشروع: يتضمن تقويم المشروع الآتي:

1. الأهداف التي وضع المشروع من أجلها، ما تم تحقيقه، المستوى الذي تحقّق لكل هدف، العوائق في تحقيق الأهداف إن وجدت وكيفية مواجهة تلك العوائق.
2. الخطة من حيث وقتها، التعديلات التي جرت على الخطة أثناء التنفيذ، التقيّد بالوقت المحّدد للتنفيذ، ومرونة الخطة.
3. الأنشطة التي قام بها الطلبة من حيث، تنوّعها، إقبال الطلبة عليها، توافر الإمكانات اللازمة، التقيد بالوقت المحدد.
4. تجاوب الطلبة مع المشروع من حيث، الإقبال على تنفيذه بدافعيّة، التعاون في عملية التنفيذ، الشعور بالارتياح، إسهام المشروع في تنمية اتجاهات جديدة لدى الطلبة.

**يقوم المعلم بكتابة تقرير تقويمي شامل عن المشروع من حيث:**

- أهداف المشروع وما تحقّق منها.
- الخطة وما طرأ عليها من تعديل.
- الأنشطة التي قام بها الطلبة.
- المشكلات التي واجهت الطلبة عند التنفيذ.
- المدة التى استغرقها تنفيذ المشروع.
- الاقتراحات اللازمة لتحسين المشروع.

# المراجع

## مراجع عربية مقترحة:


1- د. إبراهيم صادق الخطيب، ود. مصطفى تركي إعبيد، **الكيمياء العامة**، الطبعة الرابعة، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، (2011).

2- جيمس برادي، جيرارد هيومستون، **الكيمياء العامة- المبادئ والبنية**، الجزء الثاني، ترجمة سليمان سعسع، ومأمون الحلبي، مركز الكتب الاردني، عمان، (1992).

3- د. حسن أحمد شحاتة، ود. محمد فكري الهادي، **أساسيات الكيمياء الفيزيائية**، الطبعة الثالثة، مكتبة الدار العربية للكتاب، (2011).


## مراجع أجنبية مقترحة:


1. Karen C. Timberlake, **Chemistry: An introduction to general, organic, and biological chemistry**, 12th edition, Timberlake, Karen C (2015).
2. Martin S. Silberberg, **Principles of General Chemsitry**, 2nd edition, McGraw-Hill, (2010).
3. Neil D. Jespersen, James E. Brady, Alison Hyslop, **Chemistry: The molecular Nature of Matter**, 6th edition. John Wiley & Sons, (2012).
4. Rymond Chang, **General Chemistry: the essential concepts**, 5th edition, McGraw-Hill Companies, (2008).
5. Raymond Chang, Jason Overby, **General Chemsitry**, 6th edition, McGraw-Hill, (2010).
6. Steven D. Gmmon, **General Chemistry**, 9th edition, Houghton Mifflin Company, (2009).
7. Steven S. Zumdahl, Susan A. Zumdahl, **Chemistry**, 6th edition. Houghton Mifflin Company, (2003).
8. Theodore L. Brown, Eugene H. LeMay, Bruce E. Bursten, Catherine J. Murphy, Patrick M. Woodward, Mathew W. Stoltzfus, **Chemsity: The Central Science**, 13th edition. Pearson Education, Inc, (2015).

## لجنة المناهج الوزارية:

| | | |
|---|---|---|
| د. صبري صيدم | أ. ثروت زيد | د. شهناز الفار |
| د. بصري صالح | أ. عزام أبو بكر | د. سمية النخّالة |
| م. فواز مجاهد | أ. علي مناصرة | م. جهاد دريدي |

## اللجنة الوطنية لوثيقة الكيمياء:

| | | | |
|---|---|---|---|
| أ.د. عماد عودة | د. سعيد الكردي | أ. فراس ياسين | أ. مي ابو عصبة |
| أ. صالح الشلالفة | أ. حسن حمامرة | أ. إبراهيم رمضان | أ. فضيلة طينة |

## المشاركون في ورشات عمل الجزء الأول من كتاب الكيماء للصف الحادي العشر:

| | | | |
|---|---|---|---|
| د. حجازي أبو علي | د. رائد معالي | أ. فراس ياسين | أ. عمار أبو عصبة |
| أ. صالح الشلالفة | أ. مي أبو عصبة | أ. فضيلة طينة | أ. حسن حمامرة |
| أ. جمال مسالمة | أ. إبراهيم رمضان | أ. ناصر عودة الله | أ. أحمد العموري |
| أ. محمود المصري | أ. نورة شوخة | أ. ياسر أبو عليا | أ. رولا جرار |
| أ. رنا الهدمي | أ. خالد أبو ناصر | أ. هبة منصور | أ. بهاء الدين ضاهر |
| أ. بلال حنيحن | أ. رهام هماش | أ. هدى سويدان | أ. نعيمة بني عودة |
| أ. ياسر عمراني | أ. حكم أبو شملة | أ. أحمد أبو دقة | أ. سها الجبور |
| أ. رندة حلس | أ. أحمد أبو جريبان | أ. بهاء عرفات | أ. سليم زين الدين |
| أ. طارق الحداد | أ. سهيل مسلم | أ. إياد النبيه | |

**تَمَّ بِحَمْدِ الله**