الباب الثالث

obeikandl.com

الباب الثالث

التفاعلات الكيميائية وقياس الاتحاد العنصري

Chemical Reactions and Stoichiometry

سنتطرق في هذا الباب لعملية حدوث التفاعلات الكيميائية من عناصرها الأولية وسنقوم بإجراء بعض العمليات الحسابية لمعرفة الصيغ الكيميائية للمواد والمركبات مع معرفة الصيغة الكيميائية من النسبة المئوية للعناصر. وسنتطرق أيضًا لبعض العمليات الحسابية لبيان معرفة الكميات المطلوبة لتمام التفاعل.

يحدث التفاعل الكيميائي. بالتقاء العناصر الأولية وتسمى بالمتفاعلات (reactants) وينتج عن ذلك ما يسمى بالنواتج (products) وعادةً ما تكون صفات المادة الناتجة مختلفة عن صفات المواد المتفاعلة مما يدل ويثبت على حدوث التفاعل. يصحب ذلك تغيير في اللون أو الرائحة أو تصاعد غازات. بعض التفاعلات يصحبها إنطلاق حرارة وتسمى بالتفاعلات طاردة الحرارة (exothermic reactions) وأخرى بالتفاعلات ممتصة للحرارة (endothermic reactions).

إن أنوع التفاعلات كثيرة منها، تفاعلات الأحماض، القواعد، تفاعلات الترسيب، تفاعلات الأكسدة – الاختزال، تفاعلات التراكب والتفاعلات النووية سيجيء تفاصيل كل هذه الأنواع في أبواب مفصلة في الكتاب.

3 - 1 التسمية للجزيئات والمركبات البسيطة

تنقسم المركبات إلى نوعين: مركبات عضوية (organic) والتي تتكون من ذرات كربون وهيدروجين ويجيء تفصيل تسميتها في باب منفصل والنوع الآخر هي المركبات غير العضوية (inorganic)

تنقسم المركبات غير العضوية إلى نوعين مركبات أيونية (ionic) وأخرى من عنصرين (binary) .

المركبات الأيونية:

تتكون من شقين الشق الموجب الكاتيوني (Cationic) وهذا الشق من المعادن والشق الآخر السالب الأنيوني (anionic) غير معدني الأصل.

يتكون الكاتيون من معدن واحد موجب مثل الصوديوم Na^+ أو الفضة Ag^+ . وبعض الأيونات تكون شحنتها ثنائية أو ثلاثية مثل النحاس Cu^{2+} والمغنيزيوم Mg^{2+} أو الألومنيوم Al^{3+} . وفي كثير من الأحيان يكون للمعدن أكثر من حالة موجبة مثل الحديد حيث يوجد حديد ثلاثي موجب (Fe^{3+}) وحديد ثنائي موجب (Fe^{2+}) وأيضًا القصدير الرباعي Sn^{4+} والقصدير الثنائي (Sn^{2+}) وهناك أيضًا كاتيونات موجبة متعددة الذرات كالأمونيوم (NH_4^+) .

أما الأنيون السالب الشحنة مثله كمثل الكاتيون له نوعان أحادي الذرة مثل الفلوريد F^- ، الكالوريد Cl^- ، البروميد (Br^-) واليوديد (I^-) وأحادي الذرة يمكن أن يكون ثنائي الشحنة مثل الأكسيد (O^{2-}) – oxide والكبريتيد (S^{2-}) – Sulfide والنيتريد (N^{2-}) – nitride–

والـوع الثاني من الأنيونات وهو الأنيون السالب متعدد الذرات (polyatomic anion) مـثل الكبـريتـات (SO_4^{2-}) sulfate– والنتـرات (NO_3^-) – nitrates–

والكربونات (CO_3^{2-}) – carbonates – والهيدروكسيدات ($O\bar{H}$) – hydroxide– والكلورت – (ClO_3^-) – chlorate والبـيـركلورات – (ClO_4^-) والبـيـرمنجنات (MnO_4^-) – permanganate – والبيكربونات (HCO_3^-) – bicarbonate – والكرومات (CrO_4^{2-}) – dichromate – والفوسفات (PO_4^{3-}) – phosphate.

المركبات ذات العنصرين:

تتكون من عنصـرين غـيـر مـعـدنيين بمشـاركـة ذرة واحـدة من كل نوع مـثل الهـيـدروكلوريك (hydrogen chloride) (HCl) وفي أغلب الأحـيـان تكون عـدد الذرات أكثر من واحدة للعنصر الواحد مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S) .
hydrogen Sulfide .

طريقة التسمية:

تسمى المركبات الأيونية بذكر الأنيون أولاً يتبعه ذكر الكاتيون بعكس الطريقة الانجليزية فنقول للمركبات :

* كـوريد الصوديوم NaCl Sodium chloride
* برميد البوتاسيوم (KBr) potassium Bromide

أي يـضع – يد في نهاية الإسم الأصلي للعنصر الأنيوني . أما العنصر الكاتيوني فيظل كما هو دون تغيير من أصل العنصر نفسه .

openkandl.com

* نترات الصوديوم $(NaNO_3)$ sodium nitrate

* كبريتات الكالسيوم $(CaSO_4)$ Calcium Sulfate

* كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) Sodium Carbonate

وهنا نسمي الأنيون متعدد الذرات قبل الكاتيون الموجب وفي حالة كربونات الصوديوم نستبدل الشحنات فنضع الرقم (2) للصوديوم لأن الكربونات (CO_3^{2-}) لها شحنة ثنائية سالبة ولا يظهر الرقم (1) للكربونات لأن الصوديوم (Na^+) له موجب أحادي.

* كلوريد الحديد الثنائي $FeCl_2$ ferrous chloride

* كلوريد الحديد الثلاثي $FeCl_3$ ferric chloride

ونظراً لأن للحديد كاتيون ثنائي وكاتيون ثلاثي فنكتب ذلك في نهاية رمز العنصر.

وعند تسمية المركبات الأيونية ذات العنصرين وعديد الذرات فنذكر عدد الذرات قبل العنصر كما يلي:

خماسي الأكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_5 dinitrogen pentaoxide

أكسيد النيتروجين NO nitrogen oxide

أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O dinitrogen oxide

إن بعض المركبات الأيونية ذات العنصرين لها أسماء شائعة بدلاً من التسمية أعلاه فمنها:

الماء H_2O water

obeikandi.com

النشـــادر	ammonia	NH_3
الهايدرازين	hydrazine	N_2H_4
أكسـيد النيتروجين	nitric oxide	NO
أكسـيد النيتروز	nitrous oxide	N_2O

3-2 معادلة التفاعل والصيغة الكيميائية:

Chemical Equation and Formula

تكتب معادلة التفاعل بوضع المتفاعلات في الجهة اليسرى والنواتج في الجهة اليمنى ويفصل بينهما علامة التساوي (=) أو بسهم لليسار (→) في التفاعلات غير الانعكاسية (irreversible) أو بسهمين باتجاهين(↔) في التفاعلات الانعكاسية (reversible). تكتب معادلة الرموز الكيميائية للجزيئات ثم يتبع ذلك وزن للمعادلة بحيث يكون مجموع الذرات الداخلة في التفاعل هي نفس مجموع الذرات للنواتج كما في المثال التالي:

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(L)} \qquad (3\text{-}1)$$

هيدروجين — أكسجين — ماء

حيث يتفاعل غاز الهيدروجين المتكون من ذرتي هيدروجين مع غاز الأكسجين المتكون من ذرتي أكسجين فينتج عن ذلك جزيئي ماء سائل والمتكون من ذرتي هيدروجين مع ذرة أكسجين واحدة. نلاحظ هنا أهمية كتابة الحالة الفيزيائية للمتفاعلات والنواتج وتكتب بحرف واحد بين قوسين بعد الرمز للجزيء فالغاز يرمز له بالحرف (g) اختصاراً لـ (gas) والسائل بالرمز (l) اختصاراً بـ(liguid) والمائي بالرمز (aq) اختصاراً لـ(aqueous).

obeikandl.com

يلاحظ في المعادلة (1-4) أن أربع ذرات هيدروجين تفاعلت مع ذرتي أكسجين لتعطي نفس العدد من الذرات كنواتج فيتم ذلك بوزن المعادلة بضرب الجزيئات بعدد كامل يكتب قبل الرمز للجزيء كما هو الحال للعدد (2) قبل جزيء الهيدروجين وهذا يتناسب مع قانون بقاء المادة والذي ينص على أن المادة لا تخلق ولا تفنى في التفاعل الكيميائي حيث يبقى المجموع الكلي للذرات ثابتًا لا يتغير بعد التفاعل.

3-3 وزن المعادلة الكيميائية:

لوزن المعادلة الكيميائية نتبع الخطوات التالية:

أ – اكتب المتفاعلات والنواتج.

ب – احسب المجموع لذرة من نوع واحد في المتفاعلات.

جـ – قدر المعامل الذي يمكن وضعه قبل الجزيء الذي يتكون من هذه الذرة بحيث يتساوى مجموع الذرات في نصفي المعادلة.

د – إذا تكرر وجود الذرة في أكثر من متفاعل واحد أو ناتج واحد فحاول وزن المعادلة باعتبار الذرات الأخرى والتي تظهر في جزيء واحد في كل من نصفي المعادلة.

وعند وزن المعادلة أدناه والتي تمثل احتراق مادة الأوكتان (octane) التي تُعد وقوداً يحترق في وفرة من الأكسجين حيث ينتج عنه الماء وثاني أكسيد الكربون كما يلي:

$$C_8H_{18}(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O \qquad (3-2)$$

نلاحظ هنا أن ذرة الأكسجين تظهر مرتين في النواتج فمن السهل أن نبدأ بوزن

obeikandi.com

ذرتي الكربون والهيدروجين. نلاحظ أن مجموع ذرات الكربون هي ثمان في المتفاعلات لذا نضع الرقم ثمانية كمعامل لجزيء ثاني أكسيد الكربون وبالمثل فإن الأوكتان يحتوي على ثماني عشرة ذرة هيدروجين لذا نضع الرقم تسعة كمعامل لجزيء الماء الذي يحتوي على ذرتين هيدروجين. وعند حساب ذرات الأكسجين في النواتج نجدها خمساً وعشرين ولذا إذا ضربنا جزئي الأكسجين في المتفاعلات في العدد $12\frac{1}{2}$ يصبح مجموع ذرات الأكسجين متساوية في نصفي المعادلة كما يلي:

$$C_8H_{18}(g) + 12\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 9H_2O \qquad (3\text{-}3)$$

3 - 4 النسبة المئوية للعناصر المكونة للجزيء:

إن حساب النسبة المئوية للعناصر المكونة للجزيء لها أهمية كبرى في تحديد الصيغة الكيميائية للجزيء ويمكن اتباع الخطوات التالية لذلك:

أ - يحسب الوزن الكلي للجزيء بالجرام ولذلك نجمع الأوزان الذرية مجتمعة.

ب- نحسب النسبة المئوية لكل ذرة بقسمة الوزن الذري على المجموع الكلي ونضربها في مائة

$$\text{النسبة المئوية} = \frac{\text{وزن العنصر}}{\text{الوزن الكلي}} \times 100$$

مثال 3 - 1 ❖ ❖ ❖

احسب النسبة المئوية لكل من الأكسجين والكربون في جزيء ثاني أكسيد الكربون (CO_2).

الحل:

obeikandl.com

الوزن الجزيئي الكلي = (12.01 + 2×16.0) بالجرام

= 44.01 جرام.

النسبة المئوية للكربون $= \frac{12.01}{44.01} \times 100 = 27.29\%$

النسبة المئوية للأكسجين $= \frac{32.0}{44.01} \times 100 = 72.71\ \%$

وبذلك يمكننا معرفة الصيغة الكيميائية من النسبة المئوية وذلك باتباع اخطوات التالية:

أ – نحسب عدد المولات لكل عنصر باعتبار أن الوزن الكلي للمادة هو 100 جرام.

ب– نحسب أصغر نسبة لمولات العناصر.

جـ– نحول نسبة المولات لتصبح نسبة للذرات وبالتالي يمكننا معرفة التركيب الجزيئي البسيط للمادة.

مثال 2 - 3 ❖ ❖ ❖

يتكون الفانيلين (vaniline) من 63.2% كربون و 5.26% هيدروجين و 31.6% أكسجين فما هو التركيب الجزيئي للفانيلين؟

الحل:

نعتبر أولاً أن الوزن الكلي للمادة 100 جرام وبالتالي يصبح لدينا 63.2 جرام كربون و 5.26 جرام هيدروجين و 31.6 جرام أكسجين ثم نحسب عدد مولات كل عنصر:

عدد مولات الكربون $= 63.2\text{g C} \times \frac{1\text{mol C}}{12.0\text{g C}} = 5.27$

obeikandl.com

عدد مولات الهيدروجين $5.26 = 5.26\ g\ H \times \frac{1\ mol\ H}{1.00\ g\ H}$

عدد مولات الأكسجين $1.98 = 31.6\ g\ O \times \frac{1\ mol\ O}{16.0\ g\ O}$

وهنا نقسم على العدد الأصغر من المولات لنحصل على النسبة

$$\frac{\text{مول كربون}}{\text{مول أكسجين}} \quad \frac{5.27\ mol\ c}{1.98\ mol\ o} = 2.66$$

$$\frac{\text{مول هيدروجين}}{\text{مول أكسجين}} \quad \frac{5.27\ mol\ H}{1.9\ mol\ o} = 2.66$$

* النسبة هي 2.66 مول كربون : 2.66 مول هيدروجين : 1 مول أكسجين

ولنحصل على نسبة صحيحة نضرب العدد 2.66×3 وتصبح النسبة هي :

8 كربون : 8 هيدروجين : 3 أكسجين

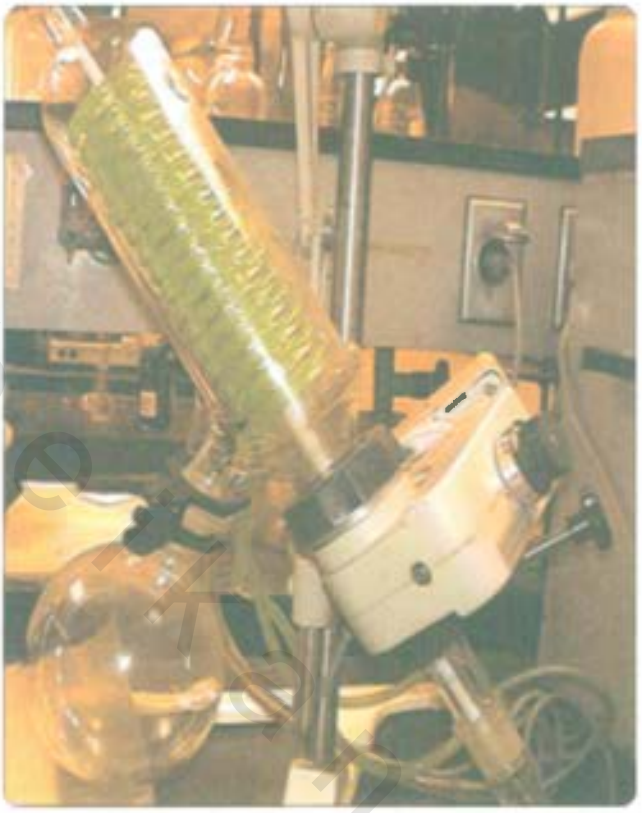
∴ التركيب الجزيئي للفانيلين :

$C_8H_8O_3$

3 - 5 العلاقة الوزنية ونسبة المردود من المعادلة الكيميائية:

إن المعادلة الموزونة لها أهمية قصوى في تحديد الكميات المطلوبة لإتمام التفاعل وفي بعض الأحيان يتطلب إضافة مادة متفاعلة بكميات أكبر من الأخرى لضمان التفاعل الكامل لتلك المادة، وعلى سبيل المثال لا الحصر، فإن احتراق الوقود يتم في وفرة زائدة من الأكسجين وذلك لضمان احتراقه كاملاً، وفي هذا المثال نسمى مادة الوقود هي المادة المحددة للتفاعل (limiting reactant) ومادة الأكسجين هي المادة الموجودة بالزيادة (in excess) . ومما يجدر ذكره هنا أن المادة المحددة للتفاعل هي التي تحدد لنا كمية المادة المنتجة أي النواتج والمثال التالي يوضح لنا هذه العملية .

obeikandl.com



مثال 3 - 3

❖ ❖ ❖

يتفاعل كبريتيد الهيدروجين (H_2S) في وجود الأكسجين مع الفضة فيفقد بذلك اللمعة والبريق بتحويله إلى كبريتيد الفضة (Ag_2S) كما في المعادلة التالية:

$$4Ag(s) + 2H_2S(g) + O_2(g) \rightarrow 2Ag_2S(s) + 2H_2O(l)$$

احسب كمية كبريتيد الفضة التي يمكن أن تنتج من خلط 1.022 جرام فضة مع 0.1500 جرام كبريتيد الهيدروجين و 0.1000 جرام أكسجين.

الحل:

نحسب عدد مولات كل مادة:

عدد مولات الفضة $1.022\ g \times \frac{1\ mol}{107.87} = 9.474 \times 10^{-3}$

عدد مولات كبريتيد الهيدروجين $0.1500 \times \frac{1\ mol}{34.076} = 4.4019 \times 10^{-3}$

عدد مولات الاكسجين $0.1000 \times \frac{1\ mol}{16.00} = 6.250 \times 10^{-3}$

من المعادلة أعلاه نحسب كمية كبريتيد الفضة الناتج من تفاعل كل من المولات السابقة:

من الفضة $9.474 \times 10^{-3}\ mol\ Ag \times \frac{2\ mol\ Ag_2S}{4\ mol\ Ag} = 4.737 \times 10^{-3}$

من كبريتيد الهيدروجين

$$4.4019 \times 10^{-3}\ mol\ H_2S \times \frac{2\ mol\ Ag_2S}{2\ mol\ H_2S} = 4.4019 \times 10^{-3}$$

من الاكسجين $6.250 \times 10^{-3}\ mol\ O_2 \times \frac{2\ mol\ Ag_2S}{1\ mol\ O_2} = 1.250 \times 10^{-2}$

من النتيجة يتضح أن أقل كمية منتجة من كبريتيد الفضة هي التي تنتج من تفاعل كبريتيد الهيدروجين وهي عبارة عن 4.4019×10^{-3} مول كبريتيد فضة حيث لا يمكن أن ينتج أكبر منها فتعد هي الناتج ويُعد كبريتيد الهيدروجين هو العامل المحدد للتفاعل.

وإذا أردنا أن نحسب كمية المادة المنتجة بالجرام

$$4.4019 \times 10^{-3}\ mol\ Ag_2S \times \frac{215.74g\ Ag_2S}{1\ mol\ Ag_2S}$$

$$= 0.9497\ g\ Ag_2S$$

obeikandl.com

من هنا يتضح أن الفضة والأكسجين هما المتفاعلان الموجودان بكميات زائدة فإذا أردنا أن نحسب كميتهما الزائدة نقوم بتحويل كمية كبريتيد الفضة الناتجة إلى كل من الفضة والأكسجين وذلك بالاستفادة من المعادلة الموزونة ونسبة المولات كما يلي:

عدد المولات الزائدة من الفضة =

$$4.4019\times10^{-3}\,\text{mol}\ Ag_2S\times\frac{4\,\text{mol}\,Ag}{2\,\text{mol}\ Ag_2S}=8.8038\times10^{-3}\,\text{mol}$$

∴ المولات الزائدة = المولات المضافة أولا – المولات المتفاعلة أصلاً =

$$9.474\times10^{-3}-8.8038\times10^{-3}=6.702\times10^{-4}\,\text{mol}$$

وبالجرام $=6.702\times10^{-4}\,\text{mol}\ Ag\times\frac{106.87\,\text{g}\ Ag}{1\,\text{mol}\ Ag}$

$$=0.07162\ \text{g}\ Ag$$

وبالمثل للأكسجين:

$$4.4019\times10^{-3}\ \text{mol}\ Ag_2S\times\frac{1\ \text{mol}\ O_2}{2\ \text{mol}\ Ag_2S}=2.201\times10^{-3}\ \text{mol}\ O_2$$

الزائد من الأكسجين بالمولات = المولات المضافة أولاً – المولات المتفاعلة

$$6.250\times10^{-3}-2.201\times10^{-3}=4.049\times10^{-3}\ \text{mol}\ O_2$$

الزائد من الأكسجين بالجرام $=4.049\times10^{-3}\,\text{mol}O_2\times\frac{16.0\,\text{g}\ O_2}{1\ \text{mol}\ O_2}$

$$=0.06478\,\text{g}\ O_2$$

obeikandl.com

أسئلة وتمارين

١- حُلِّل مركب ($KBrO_x$) حيث إن عدد (x) عدد مجهول فوجد أنه يحتوي على (47.8 %) من البروم فما هي قيمة المجهول (x) ؟

(الإجابة : x = 3)

٢- مركب يحتوي على كبريت (Sulfur) ونيتروجين (nitrogen) فوجد أن النسبة المئوية الكتلية للكبريت هي (69.6%) . اكتب الصيغة الجزيئية للمركب مع العلم بأن الكتلة الجزيئية تقع بين 150 و 200 جرام / مول .

(الإجابة : (S_4N_4))

٣- سمِّ هذا المركبات :

أ - $V_2(SO_4)_5$

ب- $KClO_4$

(الإجابة) :

أ - كبريتات الفنديوم الخماسي

Vanadium (V) Sulfate

ب- بيركلورات البوتاسيوم

(Potassium perchlorate)

٤- زن المعدلة التالية وحدد مكافئ الماء؟

$$NH_3 + O_2(g) \rightarrow NO_2(g) + H_2O(l)$$

(الإجابة : 6)

obeikandl.com

٥- احسب كتلة حمض الهيدروكلوريك (HCl) التي تتفاعل مع 5.00 جرام من ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2) حسب المعادلة التالية:

$$4HCl(aq) + MnO_2(s) \rightarrow 2H_2O(l) + MnCl_2(aq) + Cl_2(g)$$

(الإجابة = 8.39 جرام)

٦- أضف 0.30 مول من الزنك (Zn) إلى 0.52 مول حمض الهيدروكلوريك، احسب عدد مولات الهيدروجين الناتجة عن التفاعل:

$$Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$$

(الإجابة = 0.26 مول)

٧- تفاعل (0.2000) جرام من مركب عضوي مع كمية وفرة من الأكسجين فكان الناتج عبارة عن (0.2999) جرام ثاني أكسيد كربون (CO_2) و(0.0818) جرام ماء - ما هي الصيغة الجزيئية للمركب العضوي إذا كان تركيبه مكونٌ من كربون وهيدروجين وأكسجين.

(الإجابة = $C_2H_4O_3$)

٨- احسب عدد مولات الماء الناتجة مع (14.4) مول أمونيا (NH_3) في المعادلة التالية:

$$Ce\ O_3(aq) + 6NH_4Cl(s) \rightarrow 2Ce\ Cl_3(aq) + 3H_2O(l) + 6NH_3(g)$$

(الإجابة = 7.20)

٩- التفاعل:

$$2KClO_3(s) \rightarrow 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

obeikandl.com

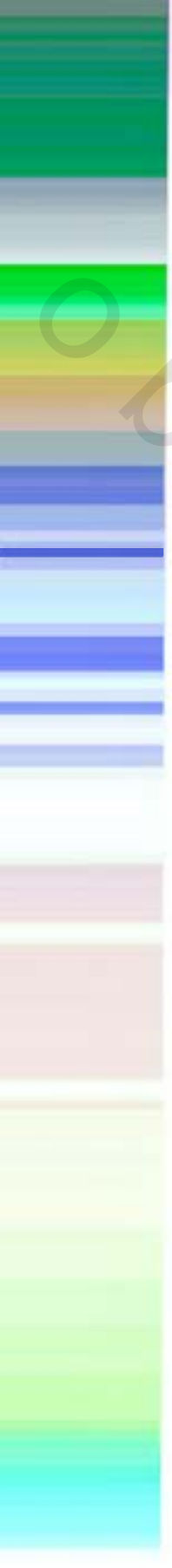
إذا نتج عن التفاعل أعلاه مقدار 1.46 جرام كلوريد بوتاسيوم، احسب الوزن بالجرام لمادة كلورات البوتاسيوم ($KClO_3$) الابتدائية علمًا بأن الحصيلة (yield) النهائية للتفاعل عبارة عن (80. 2%) .

(**الإجابة** = 2.99)

١٠- تُعد (CH_2O) هي أبسط صيغة للمركب، فإذا كان الوزن الجزيئي له هو 180.2 جراه / مول فما هي الصيغة الجزيئية للمركب.

(**الإجابة** : $(C_6H_{12}O_6)$

openkandl.com



obeikandl.com