**المجـــال: المـــــادة وتحولاتـــها**

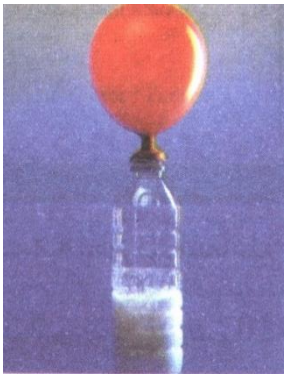
**الوحدة العاشرة: المقاربـــة الكمية لتحول كيميائي**

**الموضوع: مفهوم التقدم لتفاعل كيميائي وحصيلة المادة** | **المدة: 2+2 سا**

## 1. تجربـة:

نضع داخل قارورة بلاستيكية 60 mL من خل تركيزه $1\ \text{mol}.L^{-1}$، ونضع من جهة أخرى داخل بالونة مطاطة الكتلة $m = 4\text{g}$ من كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية $KHCO_3$.

- باستخدام ورق الـ $pH$، هل المحلول الابتدائي (الخل) حمضي أم قاعدي؟
- ماذا تشاهد بعد إضافة كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية إلى حمض الخل؟
- عند إضافة $m = 4\text{g}$ ، هل تتبقى منها في القارورة البلاستيكية؟
- باستخدام ورق الـ $pH$ ، هل المحلول النهائي حمضي أم قاعدي؟
- كيف تفسر ذلك؟
- اكتب معادلة التفاعل الكيميائي الحادث.



**تحليل التجربة:**

- المحلول الابتدائي حمضي عند استخدام ورق الـ pH.
- نلاحظ حدوث فوران وانتفاخ البالونة المطاطية بالغاز المنطلق من هذا التفاعل.
- اختفاء الجسم الصلب كليا في نهاية التحول الكيميائي.
- المحلول النهائي حمضي عند استخدام ورق الـ pH أو جهاز الpH متر.
- التفسير:

تدل حموضة المحلول على أنه يحتوي على حمض الخل أي أن هذا الأخير لم يتفاعل كليا، في حين احتفت كليا مادة كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية.

- معادلة التفاعل:

$$KHCO_{3(s)} + HA_{(aq)} \rightarrow CO_{2(g)} + KA_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

## 2. الدراسـة الكميـة:

- **الحالة الابتدائية:**

- كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية:

$$n_{KCO_3} = \frac{m_{KCO_3}}{M_{KCO_3}} = \frac{4}{99} = 0{,}04\ mol$$

$$\boxed{n_{KCO_3} = 0{,}034\ mol}$$

- حمض الخل:

$$n_{HA} = C.V = 1.60.10^{-3} = 0{,}06\ mol$$

$$\boxed{n_{HA} = 0{,}06\ mol}$$

| معادلة التفاعل | $KHCO_{3(s)} + HA_{(aq)} \rightarrow CO_{2(g)} + KA_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| الحالة الابتدائية $(mol)$ | 0,04 | 0,06 | 0 | 0 | |

**ملاحظة:**

الماء هو المذيب وكمية مادته كبيرة لذلك لا نشير له في الجدول.



http://www.physique48dz.weebly.com/

- **خلال التحول:**

عندما يكون التحول الكيميائي جاريا، نقول عن التفاعل أنه يتقدم.

نرمز لكمية مادة ثنائي أكسيد الكربون الناتجة عن التفاعل بـ $x$. ومنه:

- تشكل أيضا $x(mol)$ من $KA$.
- استهلك $x(mol)$ من $KCO_3$ وكمية كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية المتبقية: $(0,04 - x)mol$
- استهلك $x(mol)$ من $HA$ وكمية حمض الخل المتبقية: $(0,06 - x)mol$

| معادلة التفاعل | $KHCO_{3_{(s)}} + HA_{(aq)} \rightarrow CO_{2_{(g)}} + KA_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| الحالة الابتدائية $(mol)$ | $0,04$ | $0,06$ | $0$ | $0$ | |
| خلال التحول $(mol)$ | $0,04 - x$ | $0,06 - x$ | $x$ | $x$ | |

- **الحالة النهائية:**

عندما يكون التحول الكيميائي جاريا. تتزايد قيمة $x$ من الصفر إلى قيمة عظمى $x_{max}$ الموافقة إلى نهاية التفاعل أي الموافقة إلى اختفاء أحد المتفاعلين.

| معادلة التفاعل | $KHCO_{3_{(s)}} + HA_{(aq)} \rightarrow CO_{2_{(g)}} + KA_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| الحالة الابتدائية $(mol)$ | $0,04$ | $0,06$ | $0$ | $0$ | |
| الحالة الانتقالية $(mol)$ | $0,04 - x$ | $0,06 - x$ | $x$ | $x$ | |
| الحالة النهائية $(mol)$ | $0,04 - x_{max}$ | $0,06 - x_{max}$ | $x_{max}$ | $x_{max}$ | |

## 3. تعريفات:

**3-1. مفهوم التقدم:** التقدم $x$ لتفاعل كيميائي هو مقدار يعبر عنه بالـ$(mol)$ يسمح بتعيين كمية مادة المتفاعلات والنواتج في كل لحظة لجملة كيميائية أثناء تطورها.

**3-2. جدول تقدم التفاعل:** هو عبارة عن جدول وصفي للجملة يمكن من خلاله لتناول الحصيلة الكمية من حالة ابتدائية إلى حالة نهائية مرورا بحالة انتقالية لحظية.

**3-2. التقدم الأعظمي والتقدم النهائي:**

- **التقدم الأعظمي $x_{max}$:** هو أصغر قيمة للتقدم $x$ التي من أجلها تكون كمية مادة أحد المتفاعلين معدومة (نظريا).
- **التقدم النهائي $x_f$:** هو قيمة التقدم $x$ عند انتهاء التفاعل (تجريبيا).

ملاحظة:

- إذا كان: $x_{max} = x_f$ ← تفاعل تام
- إذا كان: $x_{max} > x_f$ ← تفاعل غير تام

**3-3. المتفاعل المحد:** هو الذي تنعدم كمية مادته عندما يكون التقدم أعظميا.

**3-4. المزيج الستوكيومتري:** عندما تختفي المتفاعلات نهائيا أي أن كمية مادة كل منها تنعدم في نهاية التفاعل. عندها تتحقق العلاقة التالية:

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

$$\boxed{\frac{n_A}{a} = \frac{n_B}{b} = \frac{n_C}{c} = \frac{n_D}{d}}$$

## 4. إيجاد التقدم النهائي:

باستخدام نتائج التجربة السابقة.

| معادلة التفاعل | $KHCO_{3_{(s)}} + HA_{(aq)} \rightarrow CO_{2_{(g)}} + KA_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حالة الجملة | التقدم | | | | | |
| الحالة الابتدائية $(mol)$ | 0 | 0,04 | 0,06 | 0 | 0 | |
| الحالة الانتقالية $(mol)$ | $x$ | $0,04 - x$ | $0,06 - x$ | $x$ | $x$ | |
| الحالة النهائية $(mol)$ | $x_{max}$ | $0,04 - x_{max}$ | $0,06 - x_{max}$ | $x_{max}$ | $x_{max}$ | |

- نفرض أن $KCO_3$ هو المتفاعل المحد:

$$0,04 - x_{\max(1)} = 0 \Rightarrow \boxed{x_{\max(1)} = 0,04\ mol}$$

- نفرض أن $HA$ هو المتفاعل المحد:

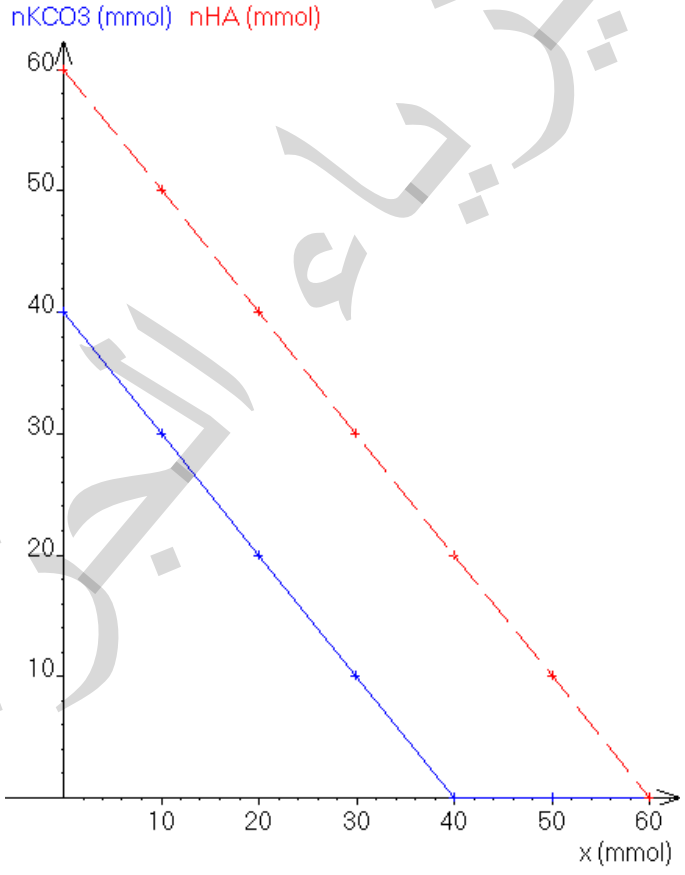
$$0,06 - x_{\max(2)} = 0 \Rightarrow \boxed{x_{\max(2)} = 0,06\ mol}$$

بما أن $x_{\max(1)} < x_{\max(2)}$ فإن: $\boxed{x_{\max} = 0,04\ mol}$

وهو $KCO_3$ المتفاعل المحد.

## 5. التفسير البياني:

**مثال 01: تفاعل كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية مع حمض الخل (التجربة السابقة)**




**مثال 02: تفاعل الزنك $Zn_{(s)}$ مع ثنائي الأكسجين $O_{2_{(g)}}$**

يحترق الزنك في ثنائي الأكسجين بلهب أخضر ويتشكل أكسيد الزنك $ZnO$.

ندخل 2,62 g من الزنك في دورق يحتوي على $448\ mL$ من ثنائي الأكسجين (الشروط النظامية).



http://www.physique48dz.weebly.com/

- معادلة التفاعل:

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

- الحالة الابتدائية:

- **الزنك:**

$$n_{Zn} = \frac{m_{Zn}}{M_{Zn}} = \frac{2,62}{65,4} = 0,04\ mol$$

- **ثنائي الأوكسجين:**

$$n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_M} = \frac{0,448}{22,4} = 0,02\ mol$$

- جدول تقدم التفاعل:

| معادلة التفاعل | $2Zn_{(s)}$ | $+ O_{2(g)}$ | $\rightarrow 2ZnO_{(s)}$ | |
|---|---|---|---|---|
| حالة الجملة | التقدم | | | |
| الحالة الابتدائية $(mol)$ | 0 | 0,04 | 0,02 | 0 |
| الحالة الانتقالية $(mol)$ | $x$ | $0,04 - 2x$ | $0,02 - x$ | $2x_{max}$ |
| الحالة النهائية $(mol)$ | $x_{max}$ | $0,04 - 2x_{max}$ | $0,02 - x_{max}$ | $2x_{max}$ |

- تحديد المتفاعل المحد:

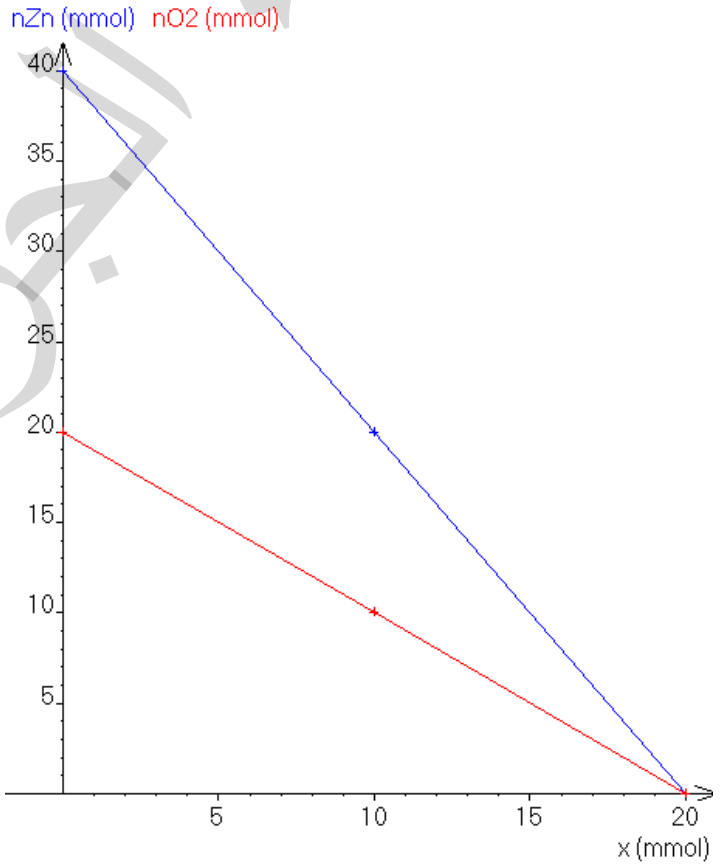
- نفرض أن $Zn$ هو المتفاعل المحد:

$$0,04 - 2x_{max(1)} = 0 \Rightarrow \boxed{x_{max(1)} = 0,02\ mol}$$

- نفرض أن $HA$ هو المتفاعل المحد:

$$0,02 - x_{max(2)} = 0 \Rightarrow \boxed{x_{max(2)} = 0,01\ mol}$$

بما أن $x_{max(1)} = x_{max(2)}$ فإنه لا يوجد متفاعل محد (المزيج ستوكيومتري).





http://www.physique48dz.weebly.com/

## 6. تطبيقات:

**تطبيق:**

يعطي الاحتراق التام لغاز البروبان $C_3H_8$ في وجود ثنائي الأكسجين $O_2$ غاز ثنائي أكسيد الكربون $CO_2$ والماء $H_2O$.

1. أكتب معادلة التفاعل مع ضبط الأعداد الستوكيومترية في المعادلة.
2. نفاعل 5,5 g من البروبان مع 1,6 g من ثنائي الأكسجين.
   - أ- أنجز جدول تقدم التفاعل.
   - ب- ما هو المتفاعل المحد؟
   - ت- ما هو تركيب الجملة الكيميائية في الحالة النهائية؟
3. أرسم المنحنيات البيانية التالية: $n_{H_2O} = f(x)$ $n_{O_2} = f(x)$ $n_{CO_2} = f(x)$ $n_{C_3H_8} = f(x)$

**يعطى:**

$$M(C) = 12\ \text{g.}mol^{-1} \quad M(O) = 16\ \text{g.}mol^{-1} \quad M(H) = 1\ \text{g.}mol^{-1}$$

موقع فيزياء الجزائر