



محاضرات مادة الكيمياء للصف الثاني عشر (الفصل الدراسي الأول)

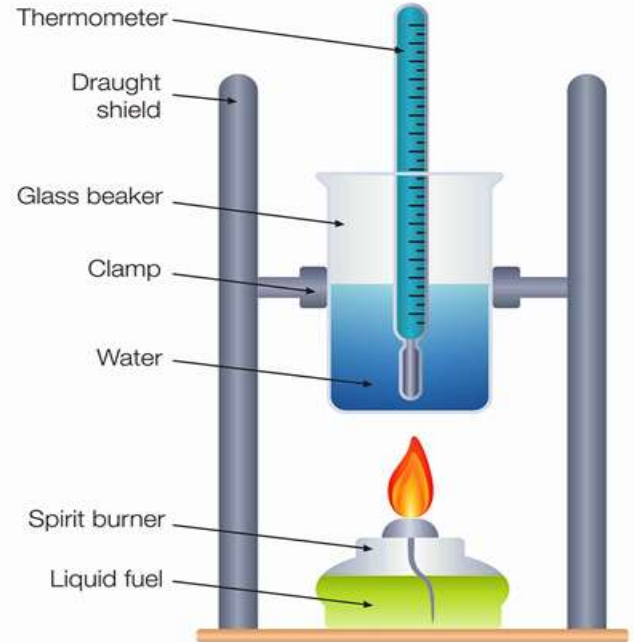
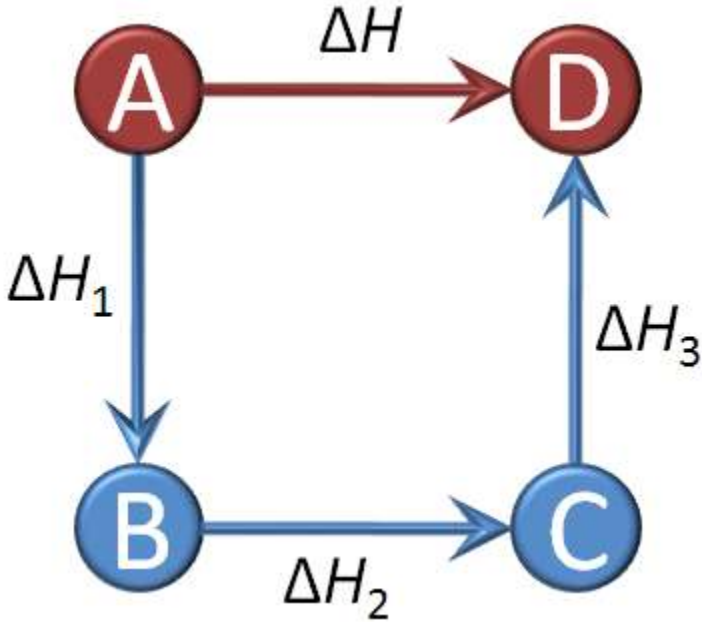
المحاضرة : الثامنة

المحتوى الحراري المولاري

التغير في المحتوى الحراري المولاري للانصهار والتجمد

المحتوى الحراري القياسي للتكوين

قانون هس



اعداد / أ. أيوب العويسي



98555079 , 91753932



WhatsApp

المحتوى الحراري المولاري

* المحتوى الحراري المولاري هو قيمة التغير في المحتوى الحراري المصاحب لتفاعل مول واحد من أي مادة ، ويرمز إليه بالرمز ΔH_x ، حيث تشير العلامة (x) إلى نوع التفاعل .
والجدول التالي يوضح بعض الأمثلة على أنواع المحتوى الحراري المولاري .

نوع المحتوى الحراري المولاري	الرمز	أمثلة
ذوبان solution	ΔH_{sol}	$NaCl_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$ $2 Na_{(s)} + 2 H_2O_{(l)} \longrightarrow 2 NaOH_{(aq)} + H_{2(g)}$
تكوين formation	ΔH_f	$C_{(g)} + 2 H_{2(g)} \longrightarrow CH_{4(g)}$
احتراق combustion	ΔH_{comb}	$Mg_{(s)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \longrightarrow MgO_{(s)}$ $C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)}$ $CH_{4(g)} + 2 O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} + 2 H_2O_{(l)}$
تعاادل neutralization	ΔH_{neut}	$NaOH_{(aq)} + HCl_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ $2 KOH_{(aq)} + H_2SO_{4(aq)} \longrightarrow K_2SO_{4(aq)} + 2 H_2O_{(l)}$
انصهار fusion	ΔH_{fus}	$H_2O_{(s)} \longrightarrow H_2O_{(l)}$
تجمد freezing	ΔH_{fr}	$H_2O_{(l)} \longrightarrow H_2O_{(s)}$
تبخر vaporization	ΔH_{vap}	$H_2O_{(l)} \longrightarrow H_2O_{(g)}$
تكثف condensation	ΔH_{cond}	$H_2O_{(g)} \longrightarrow H_2O_{(l)}$

ويمكن حساب قيمة التغير في المحتوى الحراري (ΔH) للتفاعل بمعلومية المحتوى الحراري المولاري (ΔH_x) من خلال العلاقة الآتية : $\Delta H = n \Delta H_x$ حيث أن عدد المولات يمكن الحصول عليها إما من خلال المعادلة الموزونة أو من العلاقات الرياضية التالية :

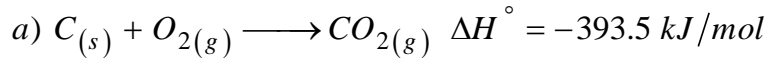
$$n = \frac{m}{Mr} , \quad n = M \times V_{(L)}$$

ومن دراستنا السابقة فإن : $\Delta H = -q$ أي أن العلاقة الرياضية تصبح كالآتي : $q = -n \Delta H_x$ وعند قياس المحتوى الحراري المولاري في الظروف القياسية فإنه يسمى بالمحتوى الحراري المولاري القياسي ويرمز إليه بالرمز ΔH_x° ، لتصبح العلاقات السابقة بالشكل التالي :

$$q = -n \Delta H_x^\circ \quad \Delta H^\circ = n \Delta H_x^\circ$$

متى تتساوى حرارة الاحتراق القياسية (ΔH_{comb}°) مع حرارة التكوين القياسية (ΔH_f°) ومتى تختلف؟

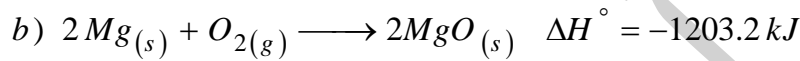
- تتساوى حرارة الاحتراق والتكوين عندما يحترق ويتكون نفس العدد من المولات :



$$\Delta H_{comb}^\circ(C) = \frac{\Delta H^\circ}{n} = \frac{-393.5}{1} = -393.5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(CO_2) = \frac{\Delta H^\circ}{n} = \frac{-393.5}{1} = -393.5 \text{ kJ/mol}$$

$$\therefore \boxed{\Delta H_{comb}^\circ(C) = \Delta H_f^\circ(CO_2)}$$



$$\Delta H_{comb}^\circ(Mg) = \frac{\Delta H^\circ}{n} = \frac{-1203.2}{2} = -601.6 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(MgO) = \frac{\Delta H^\circ}{n} = \frac{-1203.2}{2} = -601.6 \text{ kJ/mol}$$

$$\therefore \boxed{\Delta H_{comb}^\circ(Mg) = \Delta H_f^\circ(MgO)}$$

- تختلف حرارة الاحتراق عن حرارة التكوين عندما تكون أعداد المولات المحترقة والمتكونة مختلفة :

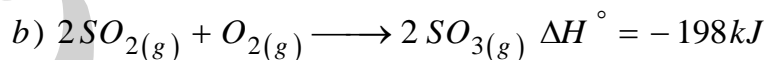
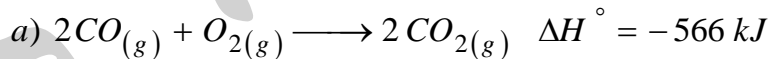


$$\Delta H_{comb}^\circ(N_2) = \frac{\Delta H^\circ}{n} = \frac{+68}{1} = +68 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(NO_2) = \frac{\Delta H^\circ}{n} = \frac{+68}{2} = +34 \text{ kJ/mol}$$

$$\boxed{\begin{aligned} \Delta H_{comb}^\circ(N_2) &= 2 \Delta H_f^\circ(NO_2) \\ \therefore \text{OR:} \\ \Delta H_f^\circ(NO_2) &= \frac{1}{2} \Delta H_{comb}^\circ(N_2) \end{aligned}}$$

ولكن هل تتساوى حرارة الاحتراق مع حرارة التكوين في المعادلات التالية :



في الحالة (a) : $\Delta H_f^\circ(CO_2) \neq -283 \text{ kJ/mol}$ **ولكن** $\Delta H_{comb}^\circ(CO) = \frac{\Delta H^\circ}{n} = \frac{-566}{2} = -283 \text{ kJ/mol}$

لأن CO_2 لم يتكون من عناصره الأولية.

في الحالة (b) : $\Delta H_f^\circ(SO_3) \neq -99 \text{ kJ/mol}$ **ولكن** $\Delta H_{comb}^\circ(SO_2) = \frac{\Delta H^\circ}{n} = \frac{-198}{2} = -99 \text{ kJ/mol}$

لأن SO_3 لم يتكون من عناصره الأولية.

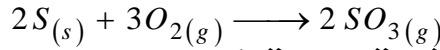
سؤال توضيحي (١) / يحترق الكبريت في وجود كمية كافية من غاز



فإذا كانت حرارة تكوين غاز ثالث أكسيد الكبريت (SO_3) تساوي

(-396 kJ/mol) ، فأجب عن الآتي :

أ) احسب كمية الحرارة الناتجة عند تكوين (2 mol) من (SO_3) حسب المعادلة التالية :



ب) احسب كمية الحرارة الناتجة عند تكوين (12 g) من (SO_3) ؟

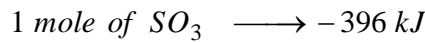
الحل

أ) باستخدام العلاقة التالية :

$$\Delta H^\circ = n \Delta H_f^\circ$$

$$\Delta H^\circ = 2 \times (-396) = -792 \text{ kJ}$$

أو من خلال النسبة المولية :



$$\therefore x = \Delta H^\circ = 2 \times (-396) = -792 \text{ kJ}$$

ب) نحسب عدد مولات (SO_3) المتكونة :

$$n(SO_3) = \frac{m}{Mr} = \frac{12}{80} = 0.15 \text{ mol.}$$

$$\Delta H^\circ = n \Delta H_f^\circ$$

$$\Delta H^\circ = 0.15 \times (-396) = -59.4 \text{ kJ}$$

سؤال توضيحي (٢) / يحترق سكر الجلوكوز ($C_6H_{12}O_6$) حسب المعادلة التالية :



أ) ما قيمة حرارة الاحتراق القياسية (ΔH_{comb}°) لسكر الجلوكوز ؟

ب) احسب كمية الحرارة الناتجة من احتراق (18 g) من سكر الجلوكوز ؟

ج) احسب كتلة سكر الجلوكوز التي تعطي عند احتراقها (1500 kJ) ؟

الحل

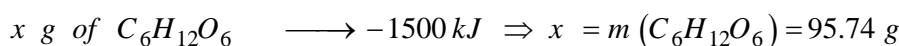
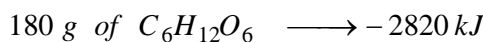
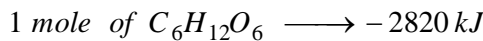
أ) نلاحظ أن المعادلة الموزونة تمثل احتراق مول واحد من سكر الجلوكوز ، لذلك فإن (ΔH°) هي نفسها (ΔH_{comb}°) أي أن :

$$\Delta H_{comb}^\circ (C_6H_{12}O_6) = -2820 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ = n \Delta H_{comb}^\circ \Rightarrow \Delta H^\circ = \frac{m}{Mr} \times \Delta H_{comb}^\circ = \frac{18}{180} \times (-2820) = -282 \text{ kJ} \quad \text{ب)}$$

$$\Delta H^\circ = n \Delta H_{comb}^\circ \Rightarrow \Delta H^\circ = \frac{m}{Mr} \times \Delta H_{comb}^\circ \quad \text{ج)}$$

$$m(C_6H_{12}O_6) = \frac{\Delta H^\circ \times Mr}{\Delta H_{comb}^\circ} = \frac{(-1500) \times 180}{(-2820)} = 95.74 \text{ g}$$



أو من خلال النسبة المولية :

سؤال توضيحي (٣) / عند ذوبان (10.7 g) من كلوريد الأمونيوم (NH_4Cl) في (80 g) من الماء في المسعر تنخفض درجة الحرارة من ($22.3^\circ C$) إلى ($14.5^\circ C$) ، احسب حرارة الذوبان المولارية (ΔH_{sol}) لكلوريد الأمونيوم ؟



الحل

- نحسب كمية الحرارة (q) المصاحبة لعملية الذوبان من العلاقة : $q = mc \Delta T$ حيث أن (m) تمثل مجموع كتلة الماء والملح ، حيث نعتبر أن الجمع هو الأصل عند حساب حرارة الذوبان ، ونستخدم السعة الحرارية النوعية للماء لأنها تساوي تقريبا السعة الحرارية النوعية للمحاليل المائية .

$$q = mc \Delta T$$

$$q = (80 + 10.7) \times 4.18 \times (14.5 - 22.3)$$

$$q = -2957.2 J = -2.9572 kJ$$

$$\Delta H = -q \Rightarrow \therefore \Delta H = +2.9572 kJ$$

$$\Delta H = n \Delta H_{sol} \Rightarrow \Delta H = \frac{m}{Mr} \times \Delta H_{sol}$$

$$\therefore Mr(NH_4Cl) = 14 + 4 \times 1 + 35.5 = 53.5 g/mol$$

$$\therefore \Delta H_{sol}(NH_4Cl) = \frac{\Delta H \times Mr}{m} = \frac{+2.9572 \times 53.5}{10.7} = +14.786 kJ/mol$$

سؤال توضيحي (٤) / المعادلة التالية توضح عملية ذوبان الصوديوم في الماء :



احسب درجة حرارة المحلول بعد إذابة (4.6 g) من الصوديوم في (90 g) من الماء عند درجة حرارة ($25^\circ C$) علما بأن السعة الحرارية النوعية للماء تساوي ($4.18 J/g \cdot ^\circ C$) ، مع عدم اهمال كتلة الصوديوم في الحساب ؟

الحل

من معادلة التفاعل نجد أن : $\Delta H^\circ = -150 kJ$

$$\Delta H_{sol}(Na) \frac{\Delta H}{n} = \frac{-150}{2} = -75 kJ/mol : (\Delta H_{sol})$$

نحسب كمية الحرارة (ΔH) المصاحبة لذوبان (4.6 g) من الصوديوم (Na) :

$$\Delta H = n \Delta H_{sol} \Rightarrow \therefore \Delta H = \frac{m}{Mr} \times \Delta H_{sol} = \frac{4.6}{23} \times (-75) = -15 kJ$$

$$\Delta H^\circ = -q \Rightarrow \therefore q = +15 kJ = +15000 J$$

$$q = mc \Delta T$$

$$15000 = (90 + 4.6) \times 4.18 \times \Delta T$$

$$\Delta T = 38^\circ C$$

$$\therefore T_2 = 38 + 25 = 63^\circ C$$

سؤال توضيحي (5) / خلطت كمية من محلول حمض الهيدروكلوريك (HCl) حجمها (50 mL) بتركيز (0.4 M) عند درجة حرارة (25.4 °C) مع كمية مماثلة لها في الحجم من محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز (0.4 M) عند

درجة حرارة (26.2 °C) فحدث بينهما التفاعل الآتي : $HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ فأصبحت درجة الحرارة بعد الخلط (28.54 °C) ، احسب حرارة التعادل المولارية (ΔH_{neut}) علما بأن السعة الحرارية النوعية للماء (4.18 J/g . °C) وكثافة المحلول (1 g/mL) ؟



- نحسب متوسط درجة الحرارة الابتدائية للمحلولين : $T_1 = \frac{25.4 + 26.2}{2} = 25.8^\circ C$

وبما ان كثافة المحلول هي نفسها كثافة الماء ، فإن كتلة كل من الحمض والقاعدة تساوي (50 g) .
- نحسب كمية الحرارة (q) المصاحبة للتعادل وذلك بجمع كتلة الحمض والقاعدة ، ونعوض بالسعة الحرارية النوعية للماء باعتبار أنها مساوية تقريبا للسعة الحرارية النوعية للمحلول :

$$\begin{aligned} q &= m_{(HCl + NaOH)} \times c_{H_2O} \times \Delta T \\ q &= (50 + 50) \times 4.18 \times (28.54 - 25.8) \\ q &= 1145.32 J = 1.14532 kJ \\ \therefore \Delta H &= -1.14532 kJ \end{aligned}$$

- نحسب عدد مولات الحمض والقاعدة :

$$n(HCl) = M \times V_{(L)} = 0.4 \times 0.05 = 0.02 \text{ mol}$$

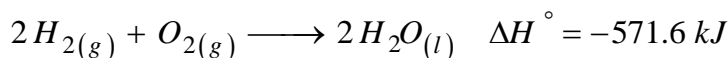
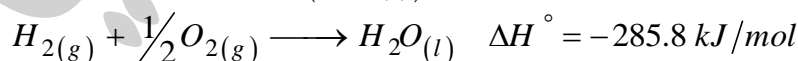
$$n(NaOH) = M \times V_{(L)} = 0.4 \times 0.05 = 0.02 \text{ mol}$$

∴ عدد مولات الحمض يساوي عدد مولات القاعدة ، لذلك نعوض بأحدها لحساب المحتوى الحراري المولاري للتعادل (ΔH_{neut}) :

$$\begin{aligned} \Delta H &= n \Delta H_{neut} \\ \therefore \Delta H_{neut} &= \frac{\Delta H}{n} = \frac{-1.14532}{0.02} = -57.266 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

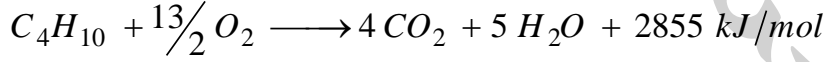
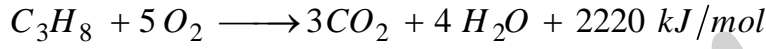
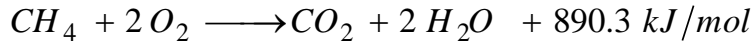
ملاحظات مهمة :

* كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة تتناسب مع كميات المواد المتفاعلة ، ولتوضيح ذلك نأخذ معادلة احتراق غاز الهيدروجين (H_2) لتكوين الماء السائل ($H_2O_{(l)}$) :



نلاحظ أن احتراق (1) مول من غاز الهيدروجين (H_2) يحرر كمية من الحرارة مقدارها (285.8 kJ) بينما عند احتراق (2) مول من غاز الهيدروجين (H_2) تتحرر كمية من الحرارة مقدارها (571.6 kJ) ، أي أن كمية الحرارة الناتجة من احتراق (2) من غاز الهيدروجين تكون ضعف كمية الحرارة الناتجة من احتراق (1) مول منه .

* كمية الحرارة المنطلقة من احتراق المركبات الهيدروكربونية تتناسب طردياً مع عدد ذرات الكربون ، ولتوضيح ذلك نأخذ معادلات احتراق كل من غاز الميثان (CH_4) والبروبان (C_3H_8) والبيوتان (C_4H_{10}):



نلاحظ أن كمية الحرارة الناتجة من احتراق مول واحد من غاز البيوتان أكبر مقارنةً بغازي الميثان والبروبان ، وذلك لأن عدد ذرات الكربون أكثر في حالة البيوتان .

ولكن إذا احترق (4 g) من كل من المركبات السابقة ، فمن يعطي كمية حرارة أكبر ؟

للإجابة على هذا السؤال يلزم حرارة الاحتراق المولارية (ΔH_{comb}) لكل مركب ، ولكن يمكننا التنبؤ بالإجابة من خلال حساب عدد مولات كل مركب :

$$n(CH_4) = \frac{m}{Mr} = \frac{4}{16} = 0.25 \text{ mol}$$

$$n(C_3H_8) = \frac{m}{Mr} = \frac{4}{44} = 0.091 \text{ mol}$$

$$n(C_4H_{10}) = \frac{m}{Mr} = \frac{4}{58} = 0.0689 \text{ mol}$$

نلاحظ أن عدد مولات غاز الميثان المحترقة أكبر ، لذلك فمن المتوقع أن يعطي كمية حرارة أكبر .
ولكن هل يمكننا أن نثبت ذلك حسابياً ؟

بالطبع يمكننا ذلك ، من خلال حساب قيمة (ΔH) بمعلومية قيم (ΔH_{comb}) لكل مركب والتعويض في

$$\Delta H = n \Delta H_{comb} \text{ : العلاقة الآتية :}$$

$$CH_4 \Rightarrow \Delta H = n \Delta H_{comb} = 0.25 \times (-890.3) = -225.575 \text{ kJ}$$

$$C_3H_8 \Rightarrow \Delta H = n \Delta H_{comb} = 0.091 \times (-2220) = -202.02 \text{ kJ}$$

$$C_4H_{10} \Rightarrow \Delta H = n \Delta H_{comb} = 0.0689 \times (-2855) = -196.71 \text{ kJ}$$

∴ كمية الحرارة الناتجة من احتراق من غاز الميثان تكون أكبر وهذا يتفق مع التنبؤ السابق .

مما سبق يمكن التوصل إلى الآتي : عند تساوي كتل المركبات المحترقة ، فإننا ننظر لعدد المولات لمعرفة من يعطي كمية حرارة أكبر ، ولكن عند تساوي عدد المولات المحترقة فإننا ننظر لعدد ذرات الكربون .



أسئلة إضافية

سـ (١) / عند ذوبان (8.6 g) من نترات البوتاسيوم (KNO_3) في (150 g) من الماء في المسعر تنخفض

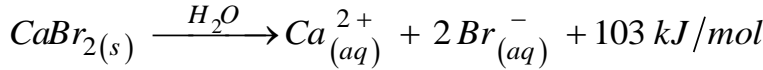
درجة الحرارة من ($25.3^\circ C$) إلى ($20.83^\circ C$) ، احسب حرارة الذوبان المولارية (ΔH_{sol}) لنترات

$$\text{جـ : } + 34.8 \text{ kJ/mol}$$

البوتاسيوم مع عدم اهمال كتلة الملح في الحساب ؟



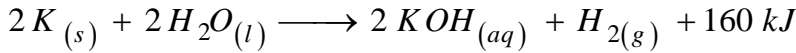
سـ (٢) / المعادلة التالية توضح عملية ذوبان بروميد الكالسيوم ($CaBr_2$) في الماء :



احسب درجة حرارة المحلول بعد إذابة (14 g) من بروميد الكالسيوم ($CaBr_2$) في (100 g) من الماء عند درجة حرارة ($20^\circ C$) علما بأن السعة الحرارية النوعية للماء تساوي ($4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ C$) ، مع عدم اهمال كتلة

المالح في الحساب ؛ جـ / $35.13^\circ C$

سـ (٣) / المعادلة التالية توضح عملية ذوبان البوتاسيوم (K) في الماء :



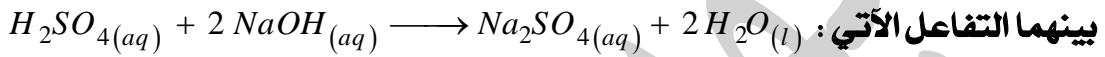
وعند إذابة (7.8 g) من البوتاسيوم في الماء عند درجة حرارة ($23^\circ C$) ارتفعت درجة حرارة المحلول لتصبح ($52.95^\circ C$) ، ما كتلة الماء المستخدمة بالجرام علما بأن السعة الحرارية النوعية للماء تساوي

جـ / 120 g

($4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ C$) ، مع عدم اهمال كتلة البوتاسيوم في الحساب ؛

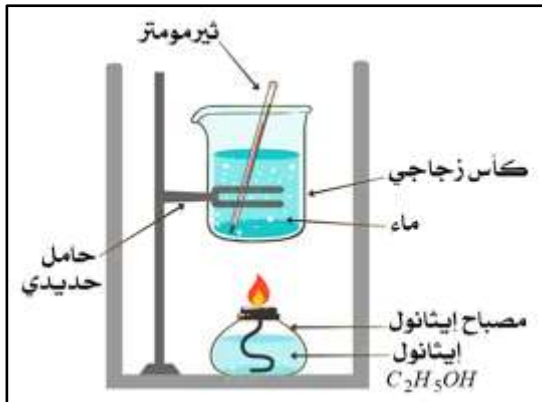
سـ (٤) / خلطت كمية من محلول حمض الكبريتيك (H_2SO_4) حجمها (300 mL) بتركيز

(0.3 M) مع (400 mL) من محلول هيدروكسيد الصوديوم ($NaOH$) بتركيز (0.2 M) فحدث



بينهما التفاعل الآتي : احسب المحتوى الحراري المولاري للتعاقل (ΔH_{neut}) فإذا علمت أن درجة الحرارة ارتفعت بمقدار ($3.5^\circ C$) ، احسب المحتوى الحراري المولاري للتعاقل (ΔH_{neut}) لكل من حمض الكبريتيك وهيدروكسيد الصوديوم ؛

جـ / $\Delta H_{neut} (NaOH) = -128 \text{ kJ/mol}$ ، $\Delta H_{neut} (H_2SO_4) = -256 \text{ kJ/mol}$



سـ (٥) / قامت مجموعة من طلبة الصف الثاني عشر بإجراء

تجربة احتراق الإيثانول ($C_2H_5OH_{(l)}$) كما هو موضح في

الرسم المقابل ، وحصلوا على النتائج المدونة في الجدول التالي :

كتلة الماء	كتلة الكأس	درجة حرارة الماء الابتدائية	درجة حرارة الماء النهائية	كتلة مصباح الإيثانول قبل الاستخدام	كتلة مصباح الإيثانول بعد الاستخدام
100 g	60 g	$20^\circ C$	$80^\circ C$	210 g	207.7 g

احسب حرارة الاحتراق القياسية (ΔH_{comb}°) للإيثانول علما بأن السعة الحرارية النوعية للماء تساوي

($4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ C$) والسعة الحرارية النوعية للزجاج تساوي ($0.5 \text{ J/g} \cdot ^\circ C$) ؛ جـ / -537.6 kJ/mol

سـ (٦) / إذا علمت أن حرارة احتراق البروبانول (C_3H_7OH) تساوي (-2021 kJ/mol) ، فإذا تم حرق

(3.0 g) من البروبانول لتسخين كمية من الماء بمقدار ($30.2^\circ C$) ، احسب كتلة الماء المستخدمة

بالكيلوجرام علما بأن السعة الحرارية النوعية للماء تساوي ($4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ C$) ؛ جـ / 0.8 kg

سـ (٧) / قام أحد الطلاب بتسخين كأس نحاسي كتلته (70 g) ويحتوي على (90 g) من الماء بدرجة

حرارة ($23^\circ C$) نتيجة احتراق غاز البروبان (C_3H_8) ، احسب كتلة غاز البروبان المستخدمة لرفع درجة

حرارة الماء إلى ($73^\circ C$) علما بأن حرارة الاحتراق القياسية للبروبان تساوي (-2220 kJ/mol) والسعة

الحرارية النوعية للماء ($4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ C$) وللنحاس ($0.378 \text{ J/g} \cdot ^\circ C$) ؛ جـ / 0.4 g

المحتوى الحراري المولاري للانصهار والتجمد

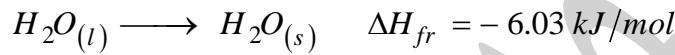
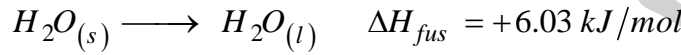
* المحتوى الحراري المولاري للانصهار هو كمية الحرارة التي يمتصها مول واحد من المادة الصلبة عند تحوله كلياً إلى الحالة السائلة في درجة حرارة ثابتة ، ويرمز إليه بالرمز ΔH_{fus} .

* المحتوى الحراري المولاري للتجمد هو كمية الحرارة التي يفقدها مول واحد من المادة السائلة عند تحوله كلياً إلى الحالة الصلبة في درجة حرارة ثابتة ، ويرمز إليه بالرمز ΔH_{fr} .
أي أن :

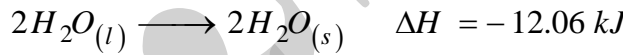
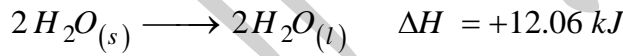
المحتوى الحراري المولاري للانصهار = - المحتوى الحراري المولاري للتجمد

$$\Delta H_{fus} = -\Delta H_{fr}$$

ولتوضيح ذلك نأخذ الأمثلة التالية :

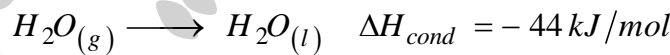
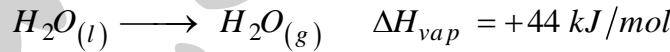


أي أن (1) مول (18 g) من الماء في الحالة الصلبة (الثلج) يجب أن يمتص كمية من الحرارة مقدارها (6.03 kJ) لكي يتحول كلياً إلى سائل ، ولتحويل (1) مول من الماء السائل إلى الحالة الصلبة (الثلج) يجب أن يفقد كمية من الحرارة مقدارها (6.03 kJ) ، وعند تحويل (2) مول أي ما يعادل (36 g) ستكون المعادلات كالآتي :



والجدير بالذكر أن درجة الحرارة تبقى ثابتة عند تغير الحالة الفيزيائية ، حيث أن قطعة الثلج بدرجة حرارة (0 °C) عندما تبدأ بالانصهار لا تتغير درجة حرارتها حتى تتحول كلياً إلى الماء السائل ، وهكذا الحال بالنسبة للماء السائل لا تتغير درجة حرارته عند تصلبه حتى يتحول كلياً إلى ثلج .

ويمكن تطبيق ما سبق على المحتوى الحراري المولاري للتبخير (ΔH_{vap}) والتكثف (ΔH_{cond}) :



سـ (١) / احسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل (12.6 g) من الماء السائل إلى ثلج علماً بأن المحتوى الحراري المولاري للتجمد (ΔH_{fr}) يساوي (- 6.03 kJ/mol) ؟
جـ / - 4.221 kJ

سـ (٢) / احسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل (32.4 g) من الثلج إلى سائل علماً بأن المحتوى الحراري المولاري للانصهار (ΔH_{fus}) يساوي (+ 6.03 kJ/mol) ؟
جـ / + 10.854 kJ

سـ (٣) / إذا كانت كمية الحرارة الممتصة عند انصهار (23.64 g) من الذهب تساوي (+ 1.584 kJ) ، احسب حرارة انصهار الذهب بوحدة (kJ/mol) وبوحدة (kJ/g) ؟
جـ / + 13.2 kJ/mol ، + 0.067 kJ/g

المحتوى الحراري المولاري القياسي للتكوين

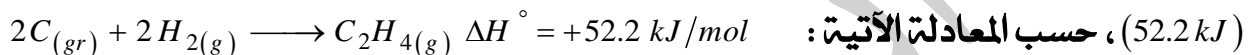
* المحتوى الحراري المولاري القياسي للتكوين (حرارة التكوين القياسية) : كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة عند تكوين مول واحد من المادة من عناصرها الأولية في الظروف القياسية ، ويرمز له بالرمز (ΔH_f°) .

فمثلا :

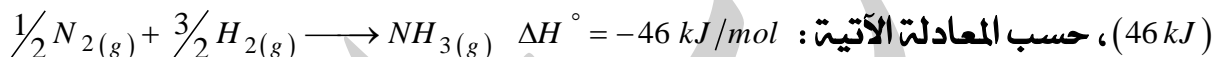
- حرارة التكوين القياسية لغاز الميثان $(CH_{4(g)})$ تساوي (-75 kJ/mol) ، أي أنه عند تكوين مول واحد من غاز الميثان من عناصره الأولية (الكربون والهيدروجين) تنطلق كمية من الحرارة مقدارها (75 kJ) ،



- حرارة التكوين القياسية لغاز الإيثيلين $(C_2H_{4(g)})$ تساوي $(+52.2 \text{ kJ/mol})$ ، أي أنه عند تكوين مول واحد من غاز الإيثيلين من عناصره الأولية (الكربون والهيدروجين) تمتص كمية من الحرارة مقدارها (52.2 kJ) ، حسب المعادلة الآتية :

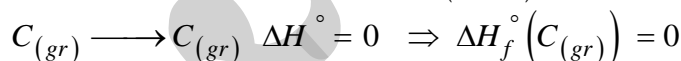


- حرارة التكوين القياسية لغاز الأمونيا $(NH_{3(g)})$ تساوي (-46 kJ/mol) ، أي أنه عند تكوين مول واحد من غاز الأمونيا من عناصره الأولية (النيتروجين والهيدروجين) تنطلق كمية من الحرارة مقدارها (46 kJ) ، حسب المعادلة الآتية :

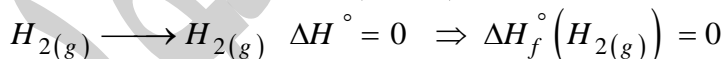


* حرارة التكوين القياسية للعناصر المنفردة في حالتها الفيزيائية الثابتة تحت الظروف القياسية تساوي صفرا ، لماذا ؟ لأنه لا يحدث تغير في المحتوى الحراري عند تكوين العنصر من نفسه ، فمثلا :

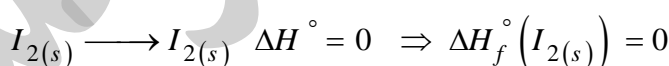
- حرارة التكوين القياسية للجرافيت $(C_{(gr)})$ تساوي صفر :



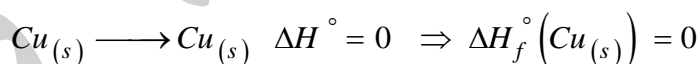
- حرارة التكوين القياسية لغاز الهيدروجين $(H_{2(g)})$ تساوي صفر :



- حرارة التكوين القياسية لليود الصلب $(I_{2(s)})$ تساوي صفر :

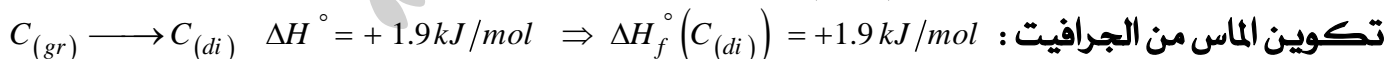


- حرارة التكوين القياسية للنحاس $(Cu_{(s)})$ تساوي صفر :

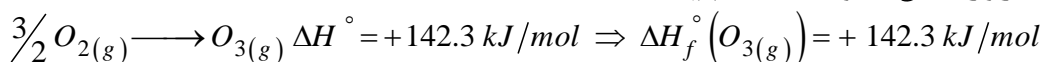


ولكن :

- حرارة التكوين القياسية للماس $(C_{(di)})$ لا تساوي صفر ، لأنه يوجد تغير في المحتوى الحراري عند تكوين الماس من الجرافيت :



- حرارة التكوين القياسية لغاز الأوزون $(O_{3(g)})$ لا تساوي صفر ، لأنه يوجد تغير في المحتوى الحراري عند تكوين الأوزون من غاز الأكسجين :



والجدول التالي يوضح حرارة التكوين القياسية لبعض المواد :

المادة	الحالة الفيزيائية	حرارة التكوين القياسية ΔH_f° (kJ/mol)
C	جرافيت (gr)	zero
C	ماس (di)	+1.9
CO ₂	غاز (g)	-393.5
H ₂ O	سائل (l)	-285.8
H ₂ O	بخار (g)	-241.8
CH ₄	غاز (g)	-75
C ₃ H ₈	غاز (g)	-104.7

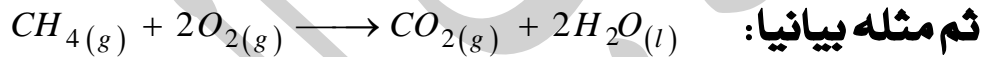
وللاطلاع على قيم إضافية لحرارة التكوين القياسية ، يرجى الرجوع إلى الكتاب المدرسي صفحة (١٠٥) .

* تستخدم حرارة التكوين القياسية لتحديد قيمة التغير في المحتوى الحراري لأي تفاعل ، وذلك من خلال

العلاقة التالية :

$$\Delta H^\circ = \sum n \Delta H_f^\circ (\text{Products}) - \sum n \Delta H_f^\circ (\text{Reactants})$$

سؤال توضيحي / احسب قيمة التغير في المحتوى الحراري (ΔH°) للتفاعل التالي،



الحل

- بالرجوع للجدول السابق نجد أن :

$$\Delta H_f^\circ (CH_4(g)) = -75 \text{ kJ/mol} , \Delta H_f^\circ (O_2(g)) = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ (CO_2(g)) = -393.5 \text{ kJ/mol} , \Delta H_f^\circ (H_2O(l)) = -285.8 \text{ kJ/mol}$$

- باستخدام العلاقة التالية :

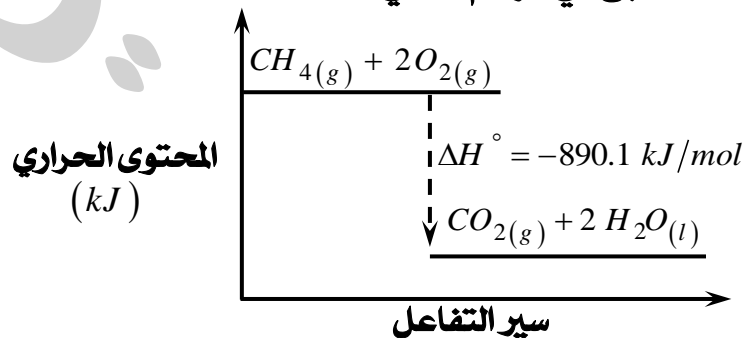
$$\Delta H^\circ = \sum n \Delta H_f^\circ (\text{Products}) - \sum n \Delta H_f^\circ (\text{Reactants})$$

$$\Delta H^\circ = [(-393.5) + (2 \times -285.8)] - [(-75) + (2 \times 0)]$$

$$\Delta H^\circ = (-965.1) - (-75) = -890.1 \text{ kJ/mol}$$

وهذه القيمة تمثل حرارة الاحتراق القياسية (ΔH_{comb}°) لغاز الميثان .

ويمكن توضيح سير التفاعل السابق في الرسم التالي :



علاقة حرارة التكوين القياسية بالثبات (الاستقرار الحراري)

- المركبات الناتجة من تفاعلات طاردة للحرارة تكون أكثر ثباتاً من المركبات الناتجة من تفاعلات ماصة للحرارة .

- بزيادة الحرارة المنطلقة يزيد الثبات الحراري .

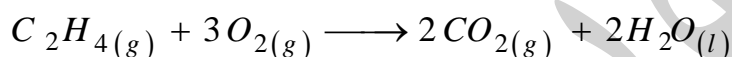
- بزيادة الحرارة الممتصة يقل الثبات الحراري .

ويمكن توضيح ذلك في المخطط التالي :



أسئلة إضافية

سـ (١) / احسب التغير في المحتوى الحراري (ΔH°) للتفاعل التالي ، ثم مثله ببيان :



جـ / -1410.8 kJ/mol

سـ (٢) / يحترق غاز البيوتان (C_4H_{10}) احتراقاً تاماً بوجود كمية كافية من غاز الأكسجين كالآتي :



جـ / -148 kJ/mol

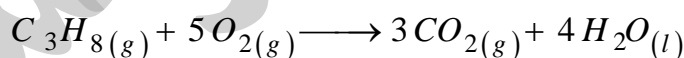
احسب حرارة التكوين القياسية لغاز البيوتان ؟

سـ (٣) / يستخدم غاز البروبان (C_3H_8) لتسخين الماء في عملية التدفئة في المناطق الباردة ، فإذا احترق

(4.4 g) من غاز البروبان في وجود كمية كافية من غاز الأكسجين ، احسب التغير في درجة الحرارة

إذا تم استخدام الحرارة الناتجة في تسخين (5 kg) من الماء ، علماً بأن السعة الحرارية النوعية للماء

تساوي ($4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$) ، وأن معادلة احتراق غاز البروبان هي كالآتي :



جـ / 10.6°C

سـ (٤) / تم حرق (3.2 g) من غاز الميثان (CH_4) لتسخين (2 kg) من الحديد بدرجة حرارة (26°C) ،

احسب درجة حرارة الحديد بعد التسخين علماً بأن حرارة الاحتراق القياسية لغاز الميثان تساوي

(-890.3 kJ/mol) والسعة الحرارية النوعية للحديد تساوي ($0.444 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$) ؟ جـ / 226.5°C

سـ (٥) / إذا علمت أن حرارة التكوين القياسية للمركبات (C_2H_4 , CO_2 , CH_4 , NO_2 , NO , NH_3)

بوحدة (kJ/mol) تساوي (46- , 90.3+ , 33.8+ , 75- , 393.5- , 52.2+) على الترتيب ، رتب هذه

المركبات ترتيباً تصاعدياً حسب ثباتها تجاه التحلل الحراري ؟

سـ (٦) / مستخدماً مخطط الطاقة ، اشرح لماذا تعتبر المركبات الناتجة من التفاعلات الطاردة للحرارة

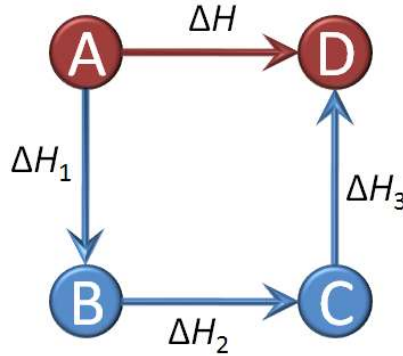
أكثر ثباتاً مقارنة بالمركبات الناتجة من التفاعلات الماصة للحرارة ؟

قانون هس

* يستخدم قانون هس عندما يصعب تحديد التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ، فمثلا عندما يحترق الكربون ينتج عنه غاز ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى غاز أول أكسيد الكربون كناتج جانبي والذي بدوره يتحول إلى غاز ثاني أكسيد الكربون بفعل الهواء الجوي ، وبالتالي لا يمكن تعيين قيمة التغير في المحتوى الحراري لهذا التفاعل نتيجة لوجود نواتج جانبية مصاحبة . بالإضافة إلى أن بعض التفاعلات تستغرق وقت طويل جدا لكي تكتمل ، فمثلا عملية تحول الجرافيت إلى ماس تحتاج زمن طويل جدا .

مما سبق ، قام العالم الروسي هس بإجراء العديد من التجارب العملية لحساب التغير في المحتوى الحراري ، وتوصل إلى أنه يمكن استخدام المعادلات الكيميائية الحرارية كمعادلات جبرية يمكن جمعها وطرحها وضرب طرفيها في معامل معين لتحديد قيمة التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما يمكن أن يحدث في عدة خطوات .

* نص قانون هس : قيمة التغير في المحتوى الحراري القياسي (ΔH°) لأي تفاعل كيميائي كمية ثابتة سواء تم التفاعل في خطوة واحدة أو عدة خطوات . ويمكن توضيح ذلك في المخطط التالي :



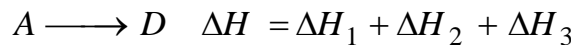
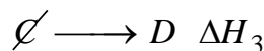
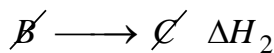
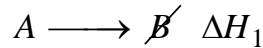
حيث يصعب تحديد التغير في المحتوى الحراري (ΔH) للتفاعل : $A \longrightarrow D \quad \Delta H = ?$ لذلك نستخدم عدة خطوات وهي :

١- الحصول على المركب (B) من المركب (A) : $A \longrightarrow B \quad \Delta H_1$

٢- الحصول على المركب (C) من المركب (B) : $B \longrightarrow C \quad \Delta H_2$

٣- الحصول على المركب (D) من المركب (C) : $C \longrightarrow D \quad \Delta H_3$

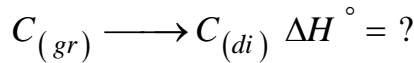
وعند جمع المعادلات السابقة نحصل على المعادلة المطلوبة ، كالآتي :



حيث :

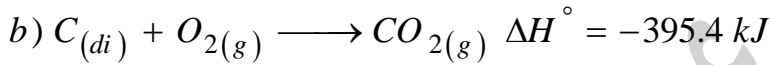
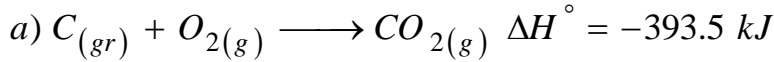
$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 - (\Delta H) = 0$$

سؤال توضيحي (١) / احسب قيمة التغير في المحتوى الحراري القياسي (ΔH°)



للتفاعل الآتي :

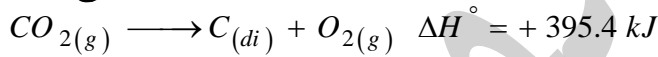
مستخدما المعادلات التالية :



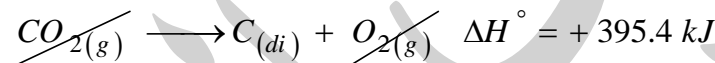
الحل

- لابد من معالجة المعادلتين (a) و (b) للحصول على المعادلة المطلوبة ، حيث نلاحظ أن الجرافيت ($C_{(gr)}$) في المعادلة الأساسية يوجد كمادة متفاعلة ، وفي المعادلة (a) يوجد كمادة متفاعلة أيضا وبنفس عدد المولات ، لذلك فإن المعادلة (a) تبقى كما هي : $C_{(gr)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H^\circ = -393.5 \text{ kJ}$

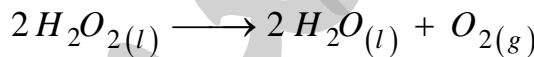
- في المعادلة الأساسية نلاحظ أن الماس ($C_{(di)}$) يوجد كمادة ناتجة ، وفي المعادلة (b) يوجد كمادة متفاعلة وبنفس عدد المولات ، لذلك نعكس المعادلة (b) مع تغيير إشارة ΔH° لتصبح المعادلة (b) كالآتي :



بجمع المعادلتين (a) و (b) :

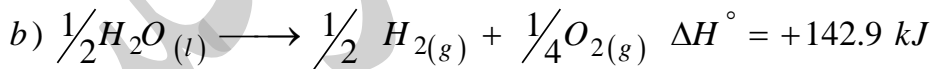
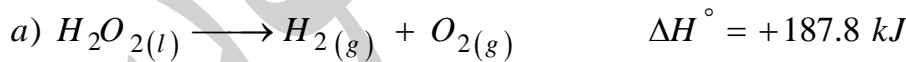


سؤال توضيحي (٢) / احسب قيمة التغير في المحتوى الحراري القياسي (ΔH°)



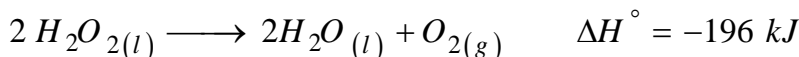
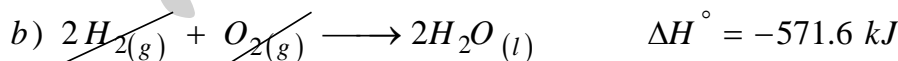
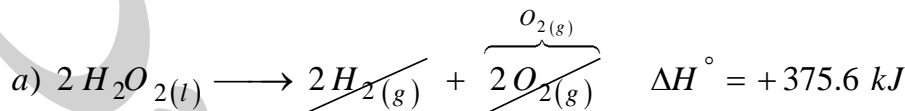
للتفاعل الآتي :

مستخدما المعادلات التالية :



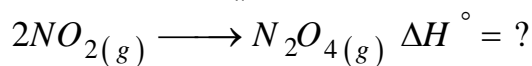
الحل

- للحصول على المعادلة الأساسية ، نضرب المعادلة (a) في (2) ، ونعكس المعادلة (b) ونضربها في (4) :



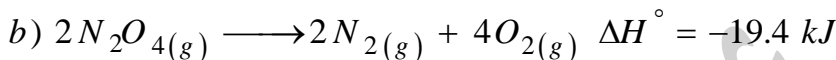
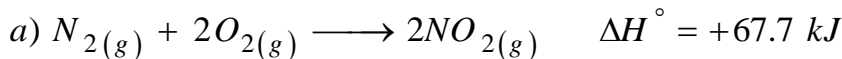
وتجدر الإشارة إلى أن المواد المتشابهة لا نعتمد عليها لتحديد الإجراء المناسب في الخطوات ، حيث نلاحظ في السؤال التوضيحي (٢) أن كلا من H_2 و O_2 توجد ضمن المعادلتين (a) و (b) ، لذلك يتم إجراء التعديلات المناسبة على المعادلتين بالنظر إلى كلا من H_2O و H_2O_2 .

سؤال توضيحي (٣) / احسب قيمة التغير في المحتوى الحراري القياسي (ΔH°)



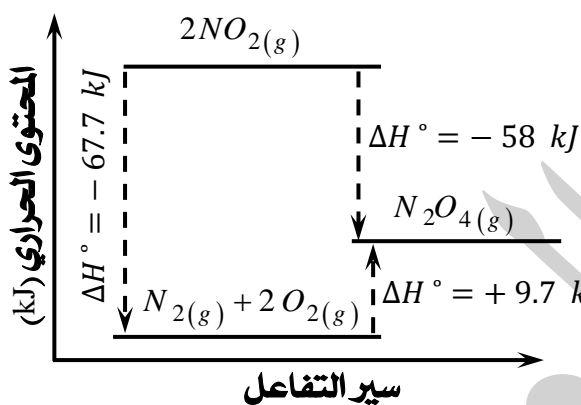
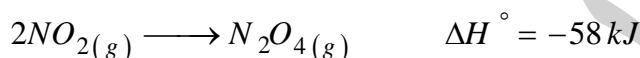
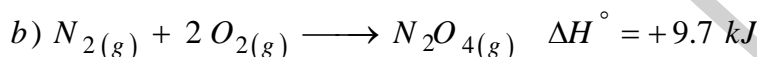
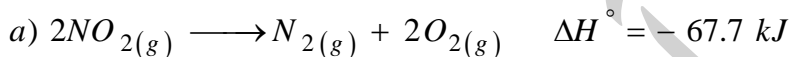
للتفاعل الآتي :

مستخدما المعادلات التالية :



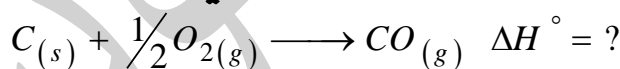
الحل

- نعكس المعادلة (a) ، ونعكس المعادلة (b) مع ضربها في $(\frac{1}{2})$:



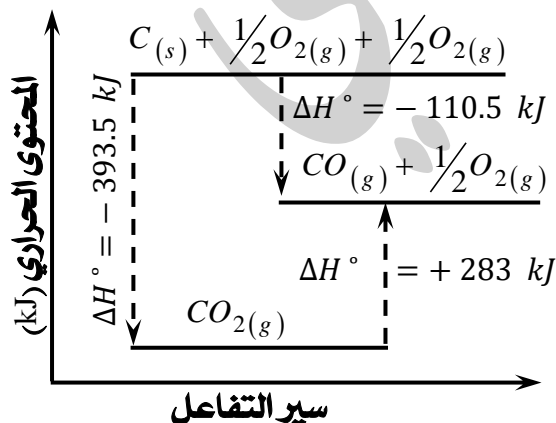
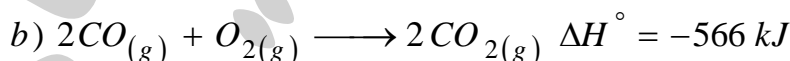
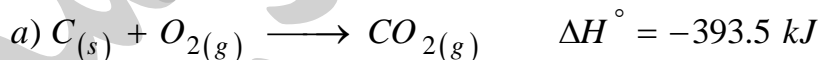
يمكن تمثيل المعادلات الكيميائية الحرارية السابقة في الشكل البياني المقابل ، ولتسهيل عملية التمثيل البياني ، نأخذ قيم ΔH° بغض النظر عن الإشارة ، حيث أن الإشارة السالبة (-) تدل على أن التفاعل طارد للحرارة والسهم يكون للأسفل (↓) أي أن المتفاعلات في الأعلى والنواتج في الأسفل ، والإشارة الموجبة (+) تدل على أن التفاعل ماص للحرارة والسهم يكون للأعلى (↑) أي أن المتفاعلات في الأسفل والنواتج في الأعلى ، ثم نأخذ أكبر قيمة وهي (67.7 kJ) نضعها أولا ، وحيث أنها بإشارة سالبة فإن المتفاعلات ستكون في أعلى المخطط والنواتج في أسفله ، ثم نأخذ القيمة التي تليها وهي (58 kJ) وهكذا إلى أن يتم التعبير عن جميع المعادلات الحرارية في الرسم البياني .

سؤال توضيحي (٤) / احسب قيمة التغير في المحتوى الحراري القياسي (ΔH°)



للتفاعل الآتي :

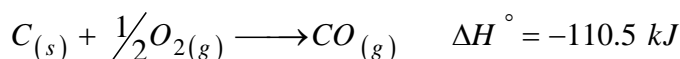
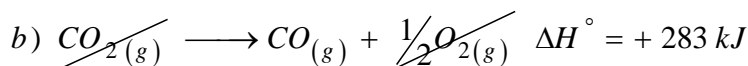
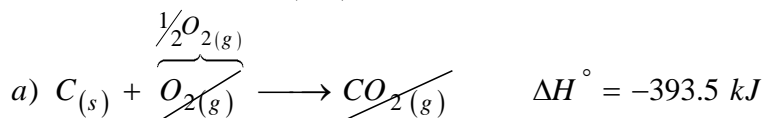
مستخدما المعادلات التالية :



الحل

- المعادلة (a) تبقى كما هي .

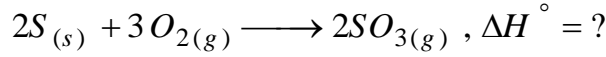
- نعكس المعادلة (b) ونضربها في $(\frac{1}{2})$.





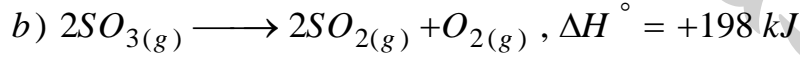
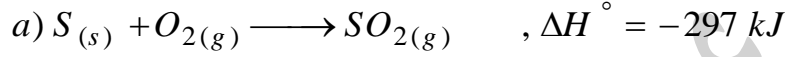
أسئلة إضافية

سـ (١) / احسب التغير في المحتوى الحراري القياسي (ΔH°) للتفاعل التالي ، ثم ارسم التمثيل البياني



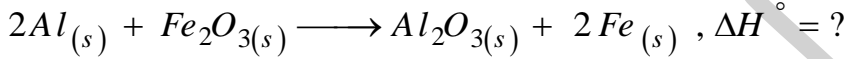
لجميع التفاعلات:

مستخدما المعادلات التالية:



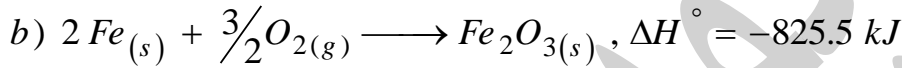
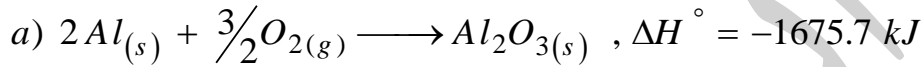
جـ / -792 kJ

سـ (٢) / احسب التغير في المحتوى الحراري القياسي (ΔH°) للتفاعل التالي ، ثم ارسم التمثيل البياني



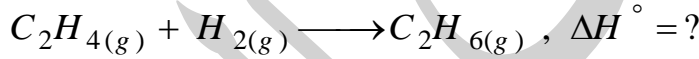
لجميع التفاعلات:

مستخدما المعادلات التالية:

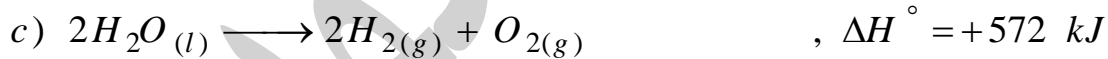
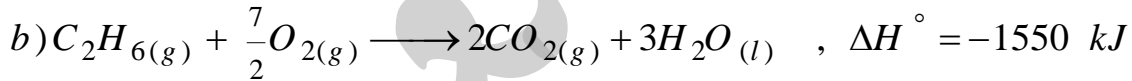
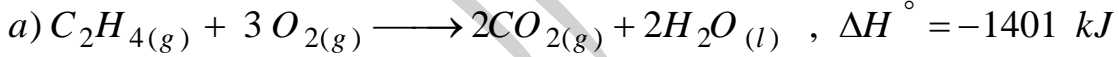


جـ / -850.2 kJ

سـ (٣) / احسب قيمة (ΔH°) للتفاعل التالي:

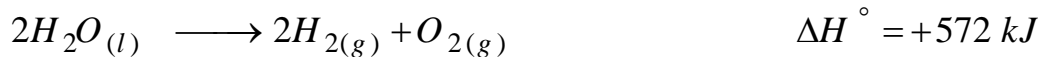
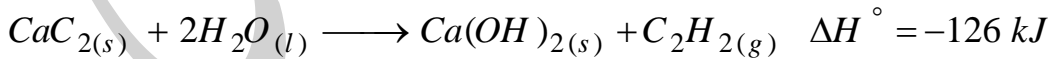
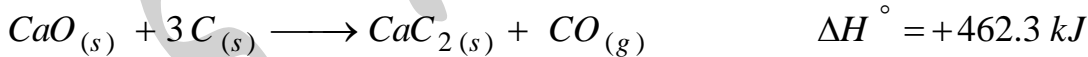
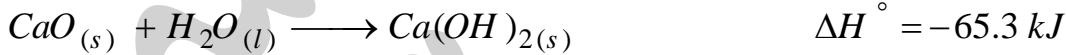


مستخدما المعادلات التالية:



جـ / -137 kJ

سـ (٤) / احسب حرارة التكوين القياسية (ΔH_f°) لغاز الأسيتلين (C_2H_2) مستخدما المعادلات التالية:



جـ / $+225.6 \text{ kJ}$