1-2:الطاقة

طبيعة الطاقة

- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو انتاج حرارة و هي توجد عموما في صورؤة طاقة وضع و طاقة حركية.
- طاقة الوضع هي الطاقة التي تعتمد على تركيب أو موضع جسم ما.
- تعتمد طاقة الوضع للمادة على تركيبها الكيميائي.
- الطاقة الحركية ترتبط مباشرة مع حركة جسيمات المادة العشوائية و تتناسب مع درجة الحرارة..

قانون حفظ الطاقة

- في أي تفاعل كيميائي أو عملية فيزيائية يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر و لكنها لا تستحدث و لا تفنى.

طاقة الوضع الكيميائية

- طاقة الوضع الكيميائية هي: الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية للمادة.

الحرارة

- الحرارة هي الطاقة التي تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد و يرمز لها بالرمز q.
- عندما يفقد الجسم الساخن طاقة، تنخفض درجة حرارته. وعندما يمتص الجسم الأبرد طاقة ترتفع درجة حرارته.

قياس الحرارة

- السعر cal : كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ١ جرام من الماء النقي درجة سيليزية واحدة.
- يمكن قياس الحرارة الناتجة عن تكسير جزيئات الغذاء في الجسم بالسعرات الغذائية Cal.
- السعر الغذائي الواحد يساوي ١٠٠٠ سعر ، أي : 1Cal = 1000 cal (1kcal)

❖ تقاس الطاقة الحرارية وفقا للنظام الدولي للوحدات بالجول (J) . و السعر الواحد يعادل 4.184 جول.

الجدول 2-1 العلاقات بين وحدات الطاقة

العلاقة	معامل التحويل
$1\ J = 0.2390\ cal$	$\frac{1\ J}{0.2390\ cal}$ $\frac{0.2390\ cal}{1\ J}$
$1\ cal = 4.184\ J$	$\frac{1\ cal}{4.184\ J}$ $\frac{4.184\ J}{1\ cal}$
$1Cal = 1Kcal$	$\frac{1\ Cal}{1000\ cal}$ $\frac{1000\ cal}{1\ Cal}$

مثال 2-1

تحويل وحدات الطاقة إذا كانت وجبة إفطار مكونة من الحبوب وعصير البرتقال والحليب، تحتوي على 230 Cal من الطاقة، فعبِّر عن هذه الطاقة بوحدة الجول J.

1 تحليل المسألة

أعطيت كمية من الطاقة بوحدة السُّعر الغذائي Cal. عليك تحويل ذلك إلى سعرات cal، ثم إلى الجول J.

المعطيات

الطاقة = 230 Cal

المطلوب

الطاقة = ؟J

2 حساب المطلوب

حوّل Cal إلى cal.

$$230\ \cancel{\text{Cal}} \times \frac{1000\ \text{cal}}{1\ \cancel{\text{Cal}}} = 2.3 \times 10^5\ \text{cal}$$

طبق العلاقة 1 Cal = 1000 cal

حوّل cal إلى J

$$2.3 \times 10^5\ \text{cal} \times \frac{4.184\ \text{J}}{1\ \text{cal}} = 9.6 \times 10^5\ \text{J}$$

طبق العلاقة 1cal = 4.184 J

3 تقويم الإجابة

القيمة 10^5 إلى 10^6 متوقعة؛ لأن القيمة 10^2 Cal يجب ضربها في 10^3 لتحويلها إلى cal. ثم تضرب في عامل تحويل J الذي يساوي 4 تقريبًا. لذا الإجابة معقولة.

الحرارة النوعية

- الحرارة النوعية لأي مادة هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة **جرام واحد** من تلك المادة **درجة سيليزية واحدة**.
- الحرارة النوعية للملء تساوي **4.184** جول/جرام.°س.
- كلما كانت الحرارة النوعية للمادة **أقل** كانت سرعة تسخينها **أعلى**.

حساب الحرارة الممتصة أو المطلقة

- لحساب الطاقة الحرارة الممتصة أو المطلقة نستخدم العلاقة المبينة جانبا.

معادلة حساب الحرارة

$$q = c \times m \times \Delta T$$

q: الطاقة الحرارية الممتصة أو المطلقة

c: الحرارة النوعية للمادة

m: كتلة المادة بالجرام

ΔT: التغير في درجة الحرارة (°C) أو T النهائية – T الأولية $(T_f - T_i)$

مثال 2-2

حساب الحرارة النوعية عند بناء الجسور وناطحات السحاب تترك فراغات بين الدعامات الفولاذية لكي تتمدد وتنكمش عندما ترتفع أو تنخفض درجات الحرارة. إذا تغيرت درجة حرارة عينة من الحديد كتلتها 10.0 g من 50.4 °C إلى 25 °C وانطلقت كمية من الحرارة مقدارها 114 J، فما الحرارة النوعية للحديد؟

1 تحليل المسألة

لديك كتلة العينة، ودرجة الحرارة الابتدائية والنهائية، وكمية الطاقة المنطلقة. يمكنك حساب الحرارة النوعية للحديد بإعادة ترتيب المعادلة التي تربط بين هذه المتغيرات.

المعطيات

الطاقة المنطلقة = 114 J

كتلة الحديد = 10 g Fe

$T_i = 50.4°C$

$T_f = 25°C$

المطلوب

الحرارة النوعية للحديد = ؟ J/g °C

2 حساب المطلوب

احسب ΔT.

$\Delta T = 50.4\ °C - 25.0\ °C = 25.4\ °C$

اكتب معادلة لحساب كمية الحرارة

$q = c \times m \times \Delta T$

أوجد قيمة c

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T}$$

عوض q=114 J، m=10.0 g،

ΔT= 25.4 °C

$$c = \frac{114\ J}{(10.0\ g \times 25.4°C)}$$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

$c = 0.449\ J/g{\cdot}°C$

3 تقويم الإجابة

قيمة مقام المعادلة تساوي ضعفي قيمة البسط تقريبًا، إذن النتيجة النهائية تقارب 0.5، وهي معقولة. كما أن القيمة المحسوبة تساوي القيمة المسجلة للحديد في الجدول **2-2**.

الطاقة الشمسية

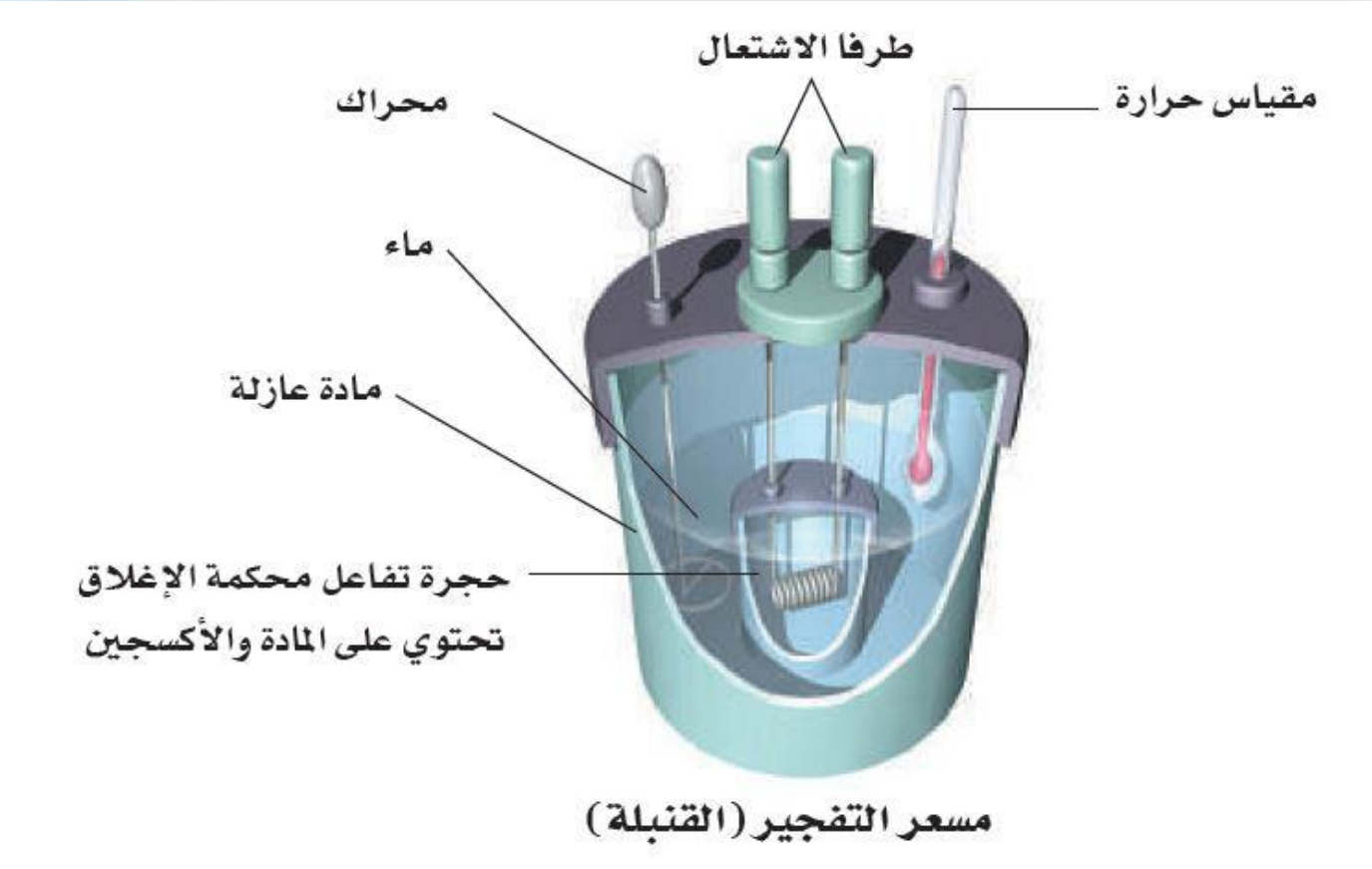
- يستغل الماء أحيانًا لأخذ الطاقة من الشمس؛ وذلك بسبب حرارته النوعية العالية.
- بعد أن تسخن أشعة الشمس الماء يمكن تدويره في البيوت والأماكن الأخرى لتدفئتها.

- يمكن أن تزود أشعة الشمس احتياجات العالم من الطاقة.
- إن تطوير الخلايا الكهروضوئية هو السبيل الواعد لاستعمال الطاقة الشمسية.
- تعمل هذه الخلايا تحول الإشعاع الشمسي مباشرة إلى كهرباء..

2-2: الحرارة

المسعر

- المسعر جهاز معزول حراريا يستخدم لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في أثناء عملية كيميائية أو فيزيائية
- توضع كمية معلومة من الماء في حجرة معزولة لكي تمتص الطاقة المنطلقة من التفاعل، أو لتزود الطاقة التي يمتصها التفاعل، ومن ثم يمكننا قياس التغير في درجة حرارة كتلة الماء.



مسعر التفجير (القنبلة)

تحديد الحرارة النوعية

- يمكن الحصول على نتائج مرضية لتجارب قياس الحرارة باستخدام مسعر مصنوع من البوليسترين.
- التفاعلات التي تحدث فيها تكون تحت ضغط ثابت.
- يمكن مسعر البوليستيرين لتحديد الحرارة النوعية لفلز ما.

مثال 2-3

استعمال الحرارة النوعية تمتص قطعة فلز كتلتها 4.68 g ما مقداره 256 J من الحرارة عندما ترتفع درجة حرارتها بمقدار 182°C. ما الحرارة النوعية للفلز؟ هل يمكن أن يكون الفلز أحد الفلزات القلوية الأرضية الموجودة في الجدول 2-2؟

1 تحليل المسألة

لديك كتلة الفلز، وكمية الحرارة التي اكتسبها، والتغير في درجة الحرارة. عليك حساب الحرارة النوعية. استخدم معادلة كمية الحرارة، واستخرج قيمة الحرارة النوعية c.

المعطيات

كتلة الفلز $m = 4.68\ g$

كمية الحرارة المكتسبة، $= ?\ J/(g \cdot °C)$

$\Delta T = 182°C$

المطلوب

الحرارة النوعية $c = ?\ J/g.°C$.

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كمية الحرارة q

$$q = c \times m \times \Delta T$$

حل المعادلة لإيجاد c

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T}$$

عوض $q = 256\ J$، $m = 4.68\ g$

$\Delta T = 182°C$

$$c = \frac{256\ J}{(4.68\ g)(182°C)} = 0.301\ J/(g.°C)$$

بالرجوع إلى الجدول 2-2 فإن الفلز هو الإسترانشيوم.

3 تقويم الإجابة

الكميات الثلاث المستخدمة في الحل تحوي ثلاثة أرقام معنوية، والإجابة تتكون من ثلاثة أرقام، وهذا صحيح. الحسابات صحيحة وتعطي الوحدة المتوقعة.

الطاقة الكيميائية و الكون

- تدرس الكيمياء الحرارية تغيرات الحرارة التي ترافق التفاعلات الكيميائية و تغيرات الحالة الفيزيائية.
- نظرا لأهمية الحرارة فقد تم تصميم بعض المنتجات لتعطي حرارة عند الطلب. فمثلا يمكن استخدام كمادة ساخنة لتدفئة الأيدي في الأيام الباردة.
- الحرارة الناتجة عن الكمّادة هي نتيجة للتفاعل الكيميائي التالي الذي يحدث داخلها:

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2\ (g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3\ (s)} + 1625\ kJ$$

- يطلق على الكمّادة و ما تحتويه من مواد باسم : النظام.
- النظام هو جزء معين من الكون يحتوي على التفاعل أو العملية التي تريد دراستها
- كل شيء في الكون غير النظام يسمى المحيط. لذلك يعرف الكون بأنه النظام مع المحيط.

الكون = النظام + المحيط

تابع الطاقة الكيميائية و الكون

- في التفاعل الطارد للحرارة يحدث انتقال للحرارة من النظام إلى المحيط.
- في التفاعل الماص للحرارة يحدث انتقال للحرارة من المحيط إلى النظام.

المحتوى الحراري و تغيراته

- يمكن قياس كمية الطاقة المكتسبة أو المفقودة للكثير من التفاعلات باستخدام المسعر عند ضغط ثابت.
- يرمز إلى الطاقة المنطلقة أو المتولدة من التفاعلات التي تحدث عند ضغط ثابت في بعض الأحيان بالرمز q_p .
- لتسهيل قياس أو دراسة تغيرات الطاقة التي ترافق تلك التفاعلات وضع الكيميائيون خاصية أسموها المحتوى الحراري.
- يعرّف المحتوى الحراري H بأنه مقدار الطاقة الحرارية المخزنة في مول واحد من المادة تحت ضغط ثابت.

تابع المحتوى الحراري و تغيراته

- لا يمكن قياس المحتوى الحرارى للمادة و لكن يمكن قياس التغير في المحتوى الحراري.
- التغير في المحتوى الحراري هو كمية الطاقة الممتصة أو المنطلقة من التفاعل الكيميائي.
- يسمى التغير في المحتوى الحراري : المحتوى الحراري للتفاعل أو حرارة التفاعل ΔH_{rxn} .
- ΔH_{rxn} : الفرق بين المحتوى الحراري للمواد التي توجد عند نهاية التفاعل H_{final} و المحتوى الحراري للمواد الموجودة في بداية التفاعل $H_{initial}$.

$$\Delta H_{rxn} = H_{final} - H_{initial}$$

- حيث ان المواد المتفاعلة **reactants** هي التي تكون عند بداية التفاعل و المواد الناتجة **products** هي التي تكون في نهاية التفاعل فإن المعادلة السابقة يمكن إعادة كتابتها كما يلي:

$$\Delta H_{rxn} = H_{products} - H_{reactants}$$

إشارة المحتوى الحراري

- في التفاعلات الطاردة للحرارة تكون $H_{reactants}$ أكبر من $H_{products}$ ، لذلك يكون التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الطاردة للحرارة سالبا دائما.
- في التفاعلات الماصة للحرارة تكون $H_{products}$ أكبر من $H_{reactants}$ ، لذلك يكون التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الماصة للحرارة موجبة دائما.
- التغير في المحتوى الحراري ΔH يساوي الحرارة المكتسبة أو المفقودة q_p في أي تفاعل أو عملية تحدث عند ضغط ثابت. ولأن جميع التفاعلات الواردة في هذا الفصل تحدث .عند ضغط ثابت يمكنك أن تفترض أن $\Delta H_{rxn} = q$

3-2: المعادلات الكيميائية الحرارية

كتابة المعادلات الكيميائية الحرارية

- المعادلات الكيميائية الحرارية هي المعادلات الكيميائية التي تكتب فيها قيم ΔH .
- عند كتابة المعادلة الكيميائية الحرارية يراعى أن تكون موزونة و تشمل الحالات الفيزيائية لجميع المواد المتفاعلة و الناتجة و التغير في المحتوى الحراري ΔH .

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \quad \Delta H_{comb} = -2808\ kJ$$

- حرارة الاحتراق ΔH_{comb} هو المحتوى الحراري الناتج عن احتراق مول واحد من المادة احتراقا كاملا ، و هو ما يعرف بالمحتوى الحراري القياسي.
- يرمز لتغير المحتوى الحراري القياسي بالرمز ΔH^o .

الجدول 3-2 حـرارة الاحتراق القياسية

المادة	الصيغة الكيميائية	ΔH°_{comb} kJ/mol
السكروز (سكر المائدة)	$C_{12}H_{22}O_{11(s)}$	−5644
الأوكتان (أحد مكونات البنزين)	$C_8H_{18(l)}$	−5471
الجلوكوز (سكر بسيط يوجد في الفواكه)	$C_6H_{12}O_{6(s)}$	−2808
البروبان (وقود غازي)	$C_3H_{8(g)}$	−2219
الميثان (وقود غازي)	$CH_{4(g)}$	−891

تغيرات الحالة

- حرارة التبخر المولارية ΔH_{vap} : الحرارة اللازمة لتبخر مول واحد من سائل.
- حرارة الانصهار المولارية ΔH_{fus} : الحرارة اللازمة لصهر مول واحد من سائل.
- لأن تبخر السائل وصهر المادة الصلبة عمليتان ماصتان للحرارة، تكون ΔH لكل من العمليتين موجبة.

الجدول 4-2 حرارة التبخر والانصهار القياسية

المادة	الصيغة الكيميائية	ΔH°_{vap} kJ/mol	ΔH°_{fus} kJ/mol
الماء	H_2O	40.7	6.01
الإيثانول	C_2H_5OH	38.6	4.94
الميثانول	CH_3OH	35.2	3.22
حمض الإيثانويك (الخل)	CH_3COOH	23.4	11.7
الأمونيا	NH_3	23.3	5.66

المعادلات الكيميائية الحرارية لتغيرات الحالة

- كميات الحرارة الطاردة في عمليتي التكثف و التجمد مساوية لكميات الحرارة الماصة في عمليتي التبخر و الانصهار و لكن تختلف في الإشارة.

$$\Delta H_{vap} = -\Delta H_{cond}$$
$$\Delta H_{fus} = -\Delta H_{solid}$$

$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)}$	$\Delta H_{vap} = 40.7\ kJ$
$H_2O_{(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$	$\Delta H_{cond} = -40.7\ kJ$
$H_2O_{(s)} \rightarrow H_2O_{(l)}$	$\Delta H_{fus} = 6.01\ kJ$
$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(s)}$	$\Delta H_{solid} = -6.01\ kJ$

مثال 2-4

الحرارة المنطلقة من تفاعل يستعمل المسعر في قياس الحرارة الناتجة عن تفاعلات الاحتراق؛ إذ يتم التفاعل في حجم ثابت يحوي أكسجينًا مضغوطًا ضغطًا عاليًا. ما كمية الحرارة الناتجة عن احتراق 54.0 g جلوكوز $C_6H_{12}O_6$ بحسب المعادلة الآتية:

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \qquad \Delta H_{comb} = -2808\ kJ$$

1 تحليل المسألة

لديك كتلة معروفة من الجلوكوز، ومعادلة احتراق الجلوكوز، و ΔH_{comb}. عليك تحويل جرامات الجلوكوز إلى مولات. ولأن الكتلة المولية للجلوكوز أكثر ثلاث مرات من كتلة الجلوكوز المحترق، يمكنك أن تتوقع أن الحرارة الناتجة ستكون أقل من ثلث ΔH_{comb}.

المعطيات

كتلة الجلوكوز $C_6H_{12}O_6 = 54.0\ g$

$\Delta H_{comb} = -2808\ kJ$

المطلوب

$q = ?\ kJ$

2 حساب المطلوب

حول جرامات $C_6H_{12}O_6$ إلى مولات $C_6H_{12}O_6$

اضرب في مقلوب الكتلة المولية $\frac{1\ mol}{180.18\ g}$

$$54.0\ \cancel{g\ C_6H_{12}O_6} \times \frac{1\ mol\ C_6H_{12}O_6}{180.18\ \cancel{g\ C_6H_{12}O_6}} = 0.300\ mol\ C_6H_{12}O_6$$

اضرب مولات $C_6H_{12}O_6$ في المحتوى الحراري للاحتراق، ΔH_{comb}

اضرب مولات الجلوكوز في $\frac{2808\ kJ}{1\ mol\ C_6H_{12}O_6}$

$$0.300\ \cancel{mol\ C_6H_{12}O_6} \times \frac{2808\ kJ}{1\ \cancel{mol\ C_6H_{12}O_6}} = 842\ kJ$$

3 تقويم الإجابة

الطاقة الناتجة أقل من ثلث ΔH_{comb}.

تفاعلات الاحتراق

- تفاعل الاحتراق هو تفاعل الوقود مع الأكسجين.
- عند احتراق مول واحد من الميثان ينتج طاقة مقدارها 891 كيلوجول.

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 891\ kJ$$

- عند احتراق مول واحد من الأوكتان ينتج طاقة مقدارها 5471 كيلوجول.

$$C_8H_{18(l)} + {}^{25}/_{2}O_{2(g)} \rightarrow 8CO_{2(g)} + 9H_2O_{(l)} + 5471\ kJ$$

- عند تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين ينتج طاقة مقدارها 286 كيلوجول.

$$H_{2(g)} + {}^{1}/_{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} + 286\ kJ$$

4-2: حساب التغير في المحتوى الحراري

قانون هس

- من المستحيل أحيانا او من غير العملي قياس التغير في المحتوى الحراري ΔH لتفاعل باستعمال المسعر.
- لذلك يلجأ الكيميائيون لطريقة نظرية لحساب التغير في المحتوى الحراري ΔH .
- و عليه يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري ΔH باستعمال قانون يعرف باسم قانون هس للجمع الحراري.
- قانون هس: حرارة التفاعل أو التغير في المحتوى الحراري ΔH تتوقف على طبيعة المواد الداخلة في التفاعل و المواد الناتجة منه و ليس على الخطوات أو المسار الذي يتم فيه التفاعل.

مثال 2-5

قانون هس: استعمل المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b أدناه لإيجاد ΔH لتحلّل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، وهو مركب له عدة استعمالات، منها إزالة لون الشعر، وتزويد محركات الصواريخ بالطاقة.

$$2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$$

a. $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -572\ kJ$

b. $H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{2(l)} \qquad \Delta H = -188\ kJ$

1 تحليل المسألة

لديك معادلتان كيميائيتان وتغير المحتوى الحراري لكل منهما. وهاتان المعادلتان تحتويان على جميع المواد الموجودة في المعادلة المطلوبة.

المعطيات

$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -572\ kJ$

$H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{2(l)} \quad \Delta H = -188\ kJ$

المطلوب

$\Delta H = ?\ kJ$

2 حساب المطلوب

H_2O_2 هو مادة متفاعلة

اعكس المعادلة b وغيّر إشارة ΔH

$$H_2O_{2(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + O_{2(g)} \qquad \Delta H = 188\ kJ$$

يلزم 2 mol من H_2O_2

اضرب المعادلة b بعد عكسها في 2 لتحصل على المعادلة c

c. $2H_2O_{2(aq)} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2O_{2(g)}$

اضرب 188 kJ في 2 لتحصل على ΔH للمعادلة c

$$\Delta H = 188\ kJ \times 2 = 376\ kJ$$

اكتب المعادلة c متضمنة ΔH

c. $2H_2O_{2(aq)} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2O_{2(g)} \qquad \Delta H = 376\ kJ$

اجمع المعادلة a مع المعادلة c، واحذف كل حدّين موجودين على طرفي المعادلة المدمجة. اجمع المحتوى الحراري للمعادلتين a و c.

اكتب المعادلة a

a. $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -572\ kJ$

اكتب المعادلة c

c. $2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2O_{2(g)} \qquad \Delta H = 376\ kJ$

اجمع المعادلتين a و c

$$2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)} \qquad \Delta H = -196\ kJ$$

3 تقويم الإجابة

ينتج عن جمع المعادلتين معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في محتواه الحراري.

حرارة التكوين القياسية

- يسجل العلماء ويستعملون التغيرات في المحتوى الحراري فقط في التفاعل الذي يتكون فيه المركب من عناصره في حالاتها القياسية؛ عند ضغط جوي واحد ودرجة حرارة 25 سيليزية .
- الحديد مثلاً صلب، والزئبق سائل، والأكسجين غاز ثنائي الذرة في الحالة القياسية.
- يسمى التغير في المحتوى الحراري ΔH للتفاعل السابق باسم المحتوى الحراري للمركب أو حرارة التكوين القياسية للمركب ΔH_f°.
- حرارة التكوين القياسية للمركب ΔH_f° : التغير في المحتوى الحراري الذي يرافق تكوين مول واحد من المركب في الظروف القياسية من عناصره في حالاتها القياسية.
- مثال:

$$S_{(s)} + {}^3/_2O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)} \qquad \Delta H_f^\circ = -396\ kJ$$

ما مصدر حرارة التكوين

❖ العناصر في حالاتها القياسية يكون لها ΔH_f° تساوي صفرا كيلوجول/مول.

إيجاد حرارة التكوين بالتجارب المخبرية

❖ عند قياس حرارة التكوين لثاني أكسيد النيتروجين في المختبر و جد أن قيمة ΔH_f° تساوي +33.2 كيلوجول/مول.

$$^1/_2N_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow NO_{2(g)} \qquad \Delta H_f^\circ = +33.2\ kJ$$

❖ عند قياس حرارة التكوين لثالث أكسيد الكبريت في المختبر و جد أن قيمة ΔH_f° تساوي –396 كيلوجول/مول.

$$S_{(s)} + {}^3/_2O_{2(g)} \longrightarrow SO_{3(g)} \qquad \Delta H_f^\circ = -396\ kJ$$

❖ لـذلك يمكـن ترتيـب حرارة التكوين القياسية المقاسة لبعض المركبات في جـدول بحيـث التفـاعلات الماصـة للحرارة تكون في أعلى الجدول (قيمة موجبة) و التفـاعلات الطـاردة للحـرارة أدنى الجـدول (قيمـة سـالبة)كمـا هـو مبين في الجدول جانبا:

الجدول 5-2 حرارة التكوين القياسية

المركب	معادلة التكوين	ΔH_f° (kJ/mol)
$H_2S_{(g)}$	$H_{2(g)} + S_{(s)} \rightarrow H_2S_{(g)}$	−21
$HF_{(g)}$	$\frac{1}{2}H_{2(g)} + \frac{1}{2}F_{2(g)} \rightarrow HF_{(g)}$	−273
$SO_{3(g)}$	$S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)}$	−396
$SF_{6(g)}$	$S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)}$	−1220

استعمال حرارة التكوين القياسية

- يمكن استعمال حرارة التكوين القياسية ΔH_f° للمواد لحساب حرارة التفاعل القياسية ΔH°_{rxn} لكثير من التفاعلات في ظل الظروف القياسية باستعمال قانون هس.
- كيف يمكن حساب ΔH°_{rxn} لسادس فلوريد الكبريت SF_6 الذي ينتج من التفاعل التالي:

$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)} \quad \Delta H^\circ_{rxn} = ?$$

الخطوة 1 ارجع إلى الجدول **5–2** لتجد معادلة تفاعل تكوين كل من المركبات الثلاثة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية ΔH°_{rxn}.

a. $\frac{1}{2}H_{2(g)} + \frac{1}{2}F_{2(g)} \rightarrow HF_{(g)}$ $\Delta H_f^\circ = -273\ kJ$

b. $S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)}$ $\Delta H_f^\circ = -1220\ kJ$

c. $H_{2(g)} + S_{(s)} \rightarrow H_2S_{(g)}$ $\Delta H_f^\circ = -21\ kJ$

الخطوة 2 المعادلتان **a** و **b** تصفان تكوُّن الناتجين HF و SF_6 في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية ΔH°_{rxn}، لذا استعمل المعادلتين **a** و**b** كما هما.

المعادلة **c** تصف تكوُّن H_2S، ولكن H_2S هو أحد المواد المتفاعلة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية. لذا اعكس المعادلة **c** وغيّر إشارة ΔH°_{rxn} فيها.

$$H_2S_{(g)} \rightarrow H_{2(g)} + S_{(s)} \qquad \Delta H^\circ_f = 21\ kJ$$

الخطوة 3 تحتاج إلى 2 mol من HF. لذلك اضرب المعادلة **a** في 2.

$$H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = 2(-273) = -546\ kJ$$

الخطوة 4 اجمع معادلات التفاعلات الثلاث، واجمع قيم حرارة التكوين القياسية.

$$\cancel{H_{2(g)}} + F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} \qquad \Delta H_f^\circ = -546\ kJ$$

$$\cancel{S_{(s)}} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)} \qquad \Delta H_f^\circ = -1220\ kJ$$

$$H_2S_{(g)} \rightarrow \cancel{H_{2(g)}} + \cancel{S_{(s)}} \qquad \Delta H_f^\circ = 21\ kJ$$

$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_{rxn} = -1745\ kJ$$

معادلة التجميع

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f\,(\text{products})} - \Sigma \Delta H^\circ_{f(\text{reactants})}$$

ΔH°_{rxn} تمثل حرارة التفاعل القياسية، و Σ تمثل مجموع الحدود.

و يمكن تطبيق معادلة التجميع على تفاعل كبريتيد الهيدروجين مع الفلور.

$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)}$$

$$\Delta H°_{rxn} = [(2)\Delta H°_f (HF) + \Delta H°_f(SF_6)] - [\Delta H°_f(H_2S) + (4)\Delta H°_f(F_2)]$$

$$\Delta H°_{rxn} = [(2)(-273\ kJ) + (-1220\ kJ)] - [-21\ kJ + (4)(0.0\ kJ)]$$

$$\Delta H°_{rxn} = -1745\ kJ$$

مثال 2-6

إيجاد تغير المحتوى الحراري من حرارة التكوين القياسية استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH°_{rxn} لتفاعل احتراق الميثان.

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

1 تحليل المسألة

لديك معادلة والمطلوب أن تحسب التغير في المحتوى الحراري. يمكن استعمال العلاقة الرياضية:

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f\,(products)} - \Delta H^\circ_{f\,(reactants)}$$

المعطيات

$\Delta H^\circ_f (CO_2) = -394\ kJ$

$\Delta H^\circ_f (H_2O) = -286\ kJ$

$\Delta H^\circ_f (CH_4) = -75\ kJ$

$\Delta H^\circ_f (O_2) = 0.0\ kJ$

المطلوب

$\Delta H^\circ_{rxn} = ?\ kJ$

2 حساب المطلوب

استعمل العلاقة الرياضية:

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f\,(products)} - \Sigma \Delta H^\circ_{f\,(reactants)}$$

عوض عن المواد الناتجة بـ CO_2، H_2O وعن المواد المتفاعلة بـ CH_4،O_2. واضرب كلًّا من H_2O، و O_2 في 2

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [\Delta H^\circ_f(CO_2) + (2)\Delta H^\circ_f(H_2O)] - [\Delta H^\circ_f(CH_4) + (2)\Delta H^\circ_f(O_2)]$$

عوض في قيم حرارة التكوين في المعادلة

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [(-394\ kJ) + (2)(-286\ kJ)] - [(-75\ kJ) + (2)(0.0\ kJ)]$$

احتراق 1mol من CH_4 يعطي 891 kJ

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [-966kJ] - [-75kJ] = -966kJ + 75kJ = -891kJ$$

3 تقويم الإجابة

القيمة التي تم حسابها هي القيمة المعطاة في الجدول **3-2** نفسها.