

الباب الأول

الحسابات الصناعية

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الأول

الحسابات الصناعية

Industrial Calculations

أ- المقدمة

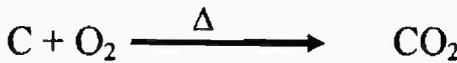
إن موضوع الحسابات فى التفاعلات الكيمائية فى حقل الكيمياء الصناعية هو دراسة موازنات المادة وموازنات الطاقة والقوانين الكيمائية للأوزان المتكافئة كما تطبق فى العمليات الصناعية .

وتعتمد موازنة المادة على قانون بقاء المادة الذى ينص على أن مجموع كتلة المواد الداخلة عملية ما فى فترة محددة من الزمن يجب ان يساوى كتلة جميع المواد الخارجة زائدا أى تراكم (Accumulation) قد يحدث فى العملية . فإذا زود فرن فارغ بمائة كجم من الفحم والهواء ، فمجموع المنتجات الغازية زائدا الرماد والمواد المتخلفة الباقية فى الفرن يجب أن يساوى مائة كجم.

وقانون بقاء الطاقة هو الأساس لموازنة الطاقة ، والذى بمقتضاه يمكن تحويل الطاقة من شكل الى آخر ولكن لا يمكن اتلافها مطلقاً . فإذا وضعت كتلة من الفحم فى فرن وكان يحتوى على كمية من الطاقة مقاسة بدرجة

حرارته ومحتوى حرارة الاحتراق الذاتية ، وإذا لم يكن هناك فقدان حرارى للمحيط ، فيجب أن تظهر نفس الكمية من الطاقة فى منتجات الاحتراق من الغازات والمواد الصلبة . فقسم من هذه الطاقة يمكن ان يظهر كحرارة محسوسة (Heat Sensible) ناتجة من درجة حرارة منتجات الاحتراق وقسم منها كطاقة ذاتية ناتجة من عدم اكتمال الاحتراق .

والقوانين الكيميائية للأوزان المتكافئة تعبر عن النسب الوزنية لاتحاد المواد التى تعانى تغيرات كيميائية . فعندما يحترق الكربون الذى فى الفحم الى ثانى أوكسيد الكربون ، يمكن التعبير عن التفاعل الكيميائى كما يلى:



وبمقتضى هذه المعادلة ، كتلة ذرية من الكربون يمكنها الاتحاد مع كتلة جزيئية من الاوكسجين لتكوين كتلة جزيئية من ثانى أوكسيد الكربون . ويمكن التعبير عنها بوحدات فعلية للكتلة باستعمال الكتل الذرية والجزيئية للمواد المشمولة . فيمكن القول ان 12 جم من الكربون تتحد مع 32 جم من الاوكسجين لتكوين 44 جم من ثانى أوكسيد الكربون.

النظام الدولى للوحدات:

توصف جميع الأنظمة الفيزيائية عادة سواء كانت فى حركة أو سكون بواسطة مقاييس معينة . والكميات الأولية كالطول والوقت تعرف وتستعمل كأساس للقياسات . والكميات الثانوية كالكتافة واللزوجة تعرف بواسطة الكميات الأولية . وتسمى الكميات الأولية الأبعاد . ووحدات القياس للتعبير عن الأبعاد تختلف باختلاف الأنظمة المتبعة للوحدات .

والنظام الدولي للوحدات (System international) والذي يسمى اختصاراً SI هو النظام الدولي المتفق عليه في الوقت الحاضر . وقد أخذ هذا النظام يحل محل نظام الوحدات الهندسي الانجليزي ونظام سم-جم - ثانية كما بالجدولي التالي :

الوحدات الأساسية للابعاد بمقتضى هذا النظام هي :

الكتلة	كيلو جرام	كجم
الطول	متر	م
الزمن	ثانية	ثانية
درجة الحرارة	كلفن	ك
كمية المادة	مول	مول
شدة التيار	أمبير	أمبير
شدة الاضاءة	شمعة	شمعة

وتكون هذه الوحدات الأساس للنظام الدولي للوحدات .

وتوجد عدة كميات ثانوية اشتقت وحداتها من الوحدات الأساسية المذكورة اعلاه واعطيت اسماء خاصة للسهولة ، الا ان هذه الاسماء ليست أساسية لنظام الوحدات . ومن هذه الكميات الثانوية والتي لها أهمية في الحقل الهندسى القوة والضغط والطاقة والقدرة .

القوة تساوى الكتلة × معدل تغير السعة ويعبر عنها (كجم (م)/(ثانية) بالوحدات الأساسية . وقد اعطى اسم نيوتن لهذه المركب من الوحدات .

$$\text{نيوتن} = (\text{كجم}) (\text{م}) / (\text{ثانية})^2$$

ويعرف الضغط بالقوة المسلطة على وحدة المساحة ، ويمكن التعبير عنه كجم/(م) (ثانية)² أو نيوتن/م² ، ويطلق اسم باسكال على هذا التركيب من الوحدات .

$$\text{باسكال} = \text{كجم} / (\text{م}) (\text{ثانية})^2 = \text{نيوتن} / \text{م}^2$$

غير ان وحدة الضغط الشائع استعمالها هي البار وهى ليست فى الحقيقة من عائلة النظام الدولي للوحدات ولكنها شاملة الاستعمال فى الممارسات الصناعية .

$$\text{بار واحد} = 100.000 \text{ باسكال}$$

وقيمة البار قريبة جدا من الضغط الجوى القياسى حيث :

بار واحد = 0.986923 ضغط جوى قياسي
أو ضغط جوى قياسي 1.01325 بار

الشغل يساوى القوة × المسافة أو الضغط × تغير الحجم ووحدة الشغل
أو الطاقة نيوتن - متر وتسمى جول وهى الوحدة الوحيدة المعترف بها دولياً
لأى نوع من الطاقة.

جول = نيوتن - متر

والقدرة هى معدل الشغل لوحدة زمن ووحدتها جول / ثانية وتسمى
وات (Watt) .

وات = جول/ثانية

ومن الخصائص الجيدة للنظام الدولى للوحدات استعمال المضاعفات
والاجزاء العشرية للوحدات باستعمال كلمات معينة سابقة (Prefixes)
للوحدات مثل كيلو بار ويساوى 1000 بار وميكرومتر ويساوى 10^{-6} متر.
والجدول التالى يبين الكلمات السابقة للوحدات فى النظام الدولى لتحويلها
الى مضاعفات أو أجزاء عشرية لها.

الوحدات الأساسية للوحدات فى النظام الدولى					
الكلمة السابقة		المعامل	الكلمة السابقة		المعامل
Deka	ديكا	10^1	Atto	اتو	10^{-18}
Hecto	هيكنتو	10^2	Femto	فيمتو	10^{-15}
Kilo	كيلو	10^3	Pico	بيكو	10^{-12}

Mega	ميكا	10^6	Nano	نانو	10^{-9}
Giga	جيكا	10^9	Micro	مايكرو	10^{-6}
Tera	تيرا	10^{12}	Milli	ملي	10^{-3}
			Centi	سنتي	10^{-2}
			Deci	دسي	10^{-1}

عندما يرفع مضاعف الوحدة أو جزء الوحدة العشري فالقوة تشمل كل المضاعف أو الجزء وليس الوحدة فقط . 1 دسم³ حجم مكعب ضلعه 1 دسم أو 0.1 م ويساوي الحجم 0.001م³ (وليس 0.1م³).

النظام الهندسي الإنجليزى والنظام المترى للوحدات

ان النظام الدولى للوحدات اخذ يحل تدريجيا الآن محل النظام الهندسى الانجليزى والنظام المترى أى نظام سم- جم - ثانية للوحدات ، إلا أنهما لا يزالان سائدين فى الكتب والمصادر الهندسية فى الوقت الحاضر . ولذلك يصبح من الضرورى لدراسة الكيمياء الصناعية والهندسة الكيميائية معرفة تحويل الوحدات من نظام الى آخر والجدول التالى يبين أهم الوحدات للأنظمة الثلاثة.

أهم الوحدات للأنظمة الثلاثة للوحدات						
درجة الحرارة	الطاقة	القوة	الكتلة	الزمن	الطول	
كلفن	جول	نيوتن	كيلو جرام	ثانية	متر	النظام الدولى
فهرنهايت أو	وحدة حرارية	قوة	كتلة باوند	ثانية	قدم	النظام الهندسى

الانجليزى				باوند	بريطانية أو (قوة حصانية) (ساعة)	رانكين
نظام سم-جم-ثانية	سنمتر	ثانية	جرام	داين	أرك أو جول أو سرعة حرارية	مئوية أو كلفن

ويبين الجدول التالى العلاقة بين قيم وحدات النظام الدولى وقيم
وحدات النظامين الهندسى الانجليزى والمترى (سم - جم - ثانية)

العلاقة بين قيم النظام الدولي وقيم وحدات النظام الهندسى
الانجليزى ونظام سم - جم - ثانية (المترى)

الكمية	التحويل
الطول	1 م = 100 سم = 3.2808 قدم = 39.37 أنج
الكتلة	1 كجم = 1000 جم = 2.2046 كتلة باوند
القوة	1 نيوتن = 1 (كجم)(م)/(ثانية) ² = 10 ⁵ داين = 0.2248 قوة باوند
الضغط	1 باسكال = 1 نيوتن / م ² = 10 داين / سم ² = 1.4054 × 10 ⁻⁴ قوة باوند / أنج ² = 1 × 10 ⁵ بار
الحجم	1 م ³ = 10 ⁶ سم ³ = 1000 لتر (د سم ³) = 35.3147 قدم ³ = 264.172 كالون أمريكى
الكثافة	1 كجم / م ³ = 1 جم / دسم ³ = 0.001 جم / سم ³ = 0.06243 كتلة باوند / قدم ³ = 0.00835 كتلة باوند / كالون أمريكى

الطاقة	1 جول	$1 = 1 \text{ (كجم) (م}^2\text{) / (ثانية)}^2$ $1 = 1 \text{ نيوتن-م}$ $1 = 1 \text{ وات ثانية}$ $10^7 = 10 \text{ دايين سم}$ $10^7 = 10 \text{ ارك}$ $10 = 10 \text{ (سم}^3\text{) (بار)}$ $= 0.2390 \text{ سرعة}$ $= 9.8692 \text{ (سم}^3\text{) (ضغط جوى)}$ $= 0.7376 \text{ قدم - قوة باوند}$ $= 9.4783 \times 10^{-4} \text{ وحدة حرارية بريطانية}$
القدرة	1 وات	$1 = 1 \text{ (كجم) (م}^2\text{) / (ثانية)}^3$ $1 = 1 \text{ جول/ثانية}$ $1 = 1 \text{ (فولت) (أمبير)}$ $= 0.2390 \text{ سرعة / ثانية}$ $= 0.7376 \text{ قدم - قوة باوند/ثانية}$ $= 1.341 \times 10^{-3} \text{ قوة حصانية}$ $= 5.687 \times 10^{-2} \text{ وحدة حرارية بريطانية}$ /دقيقة

وحدة المول (Mole) أو وحدة الجزيء الجرامى Gram Molecule:

وحدة المول فى النظام الدولى للوحدات هى كمية المادة التى تحتوى على عدد من الجسيمات الأولية ، مساوى لعدد ذرات الكربون الموجودة فى

0.012 كجم من نظير الكربون 12. ويحتوى المول الواحد على 6.02252 $\times 10^{23}$ من الجسيمات الأولية . والجسيمات فى حالة معظم الغازات فى درجات الحرارة العادية تعنى الجزيئات (Molecules) ، أما فى حالة وجود الأيونات والذرات وغيرها مع الجزيئات فكلها تعتبر جسيمات أولية.

وكتلة المول تسمى الكتلة المولية أو كتلة جزئ جرامى . فكتلة مول من الأوكسجين تساوى 0.032 كجم ، بينما 32 كجم من الأوكسجين تكون كيلو مول واحد من الأوكسجين . أى أن :

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{الكتلة بالجرامات}}{\text{الكتلة المولية}}$$

$$\text{عدد الكيلومولات} = \frac{\text{الكتلة بالكيلوجرامات}}{\text{الكتلة المولية}}$$

تتكون كتل المول النسبية لمختلف العناصر والمركبات من مجموع الأوزان الذرية لمكونات المول على أساس مقياس اختياري معين لكتل العناصر النسبية. ويستعمل نظير الكربون 12 كعنصر قياسي مرجعي الآن لقياس كتل العناصر الأخرى ، ووزنه الذري يساوى 12 تماما فى سلم الأوزان الذرية . ويجب التنويه هنا الى عدم الاستمرار فى استعمال الاصطلاحين الوزن الذري والوزن الجزيئى ، والاستعاضة عنهما بالاصطلاحين: الكتلة الذرية والكتلة المولية أو كتلة الجزئ ، اللذين هما اكثر دقة لعدم اعتمادهما على الجاذبية الأرضية التى تختلف من محل الى آخر . غير ان الوزن كان الاسلوب الاساسى لمقارنة الكتل الذرية . والأوزان الذرية

النسبية الناتجة عن ذلك هي في الحقيقة مماثلة للكتل الذرية النسبية طالما استخدمت نفس قيمة الجاذبية في الحسابات .

ب- موازنة المادة

موازنة المادة (Material Balance)

إن أساس موازنة المادة هو قانون بناء المادة كما ذكر سابقا . ويمكن تصور تطبيق هذا القانون بتخيل صندوق فارغ يصب فيه ثلاث مجارى من المواد ويخرج منه مجرى واحد . فمجموع وزن المجارى الثلاثة الداخلة خلال فترة محددة من الزمن يجب أن يساوى مجموع وزن المجرى الخارج زائدا الوزن الاضافى المكتسب للصندوق الناشئ عن تراكم المواد فيه خلال الفترة المذكورة .

ويمكن تطبيق قانون بقاء المادة على العناصر الكيميائية أيضا ، حيث يمكن الافتراض بأنه من المستحيل عمليا تحويل عنصر الى عنصر آخر . فإذا دخلت مثلا عشرة كيلو جرامات من الكربون المفاعل ، فيجب ان تخرج عشرة كيلو جرامات من الكربون من المفاعل أو تتراكم فيه . ولا يغير شيئا شكل الاتحاد الكيميائى الذى يطرأ على الكربون عند ظروف دخوله أو خروجه المفاعل . وطالما تطبق الموازنة على عنصر الكربون او الهيدروجين أو الأوكسجين ، فالموازنة الكلية يجب ان تطبق ايضا .

المادة الرابطة

تسهل الاعمال الرياضية غالبا فى حسابات اتحاد المواد ، اذا وجدت المادة التى تدخل العملية فى مجرى واحد فقط وتخرج منها غير متغيرة فى مجرى واحد آخر . وتسمى مادة كهذه المادة الرابطة . ومثل جيد لذلك يحدث

فى مركز (Concentrator) مستمر لمحلول ملهى . فىسبل المحلول الملهى
المخفف الى المركز الذى يتبخر فىه الماء ثم ىندفع خارجا المحلول الملهى
المخفف الى المركز الذى يتبخر فىه الماء ثم ىندفع خارجا المحلول الملهى
المركز ، وىمكن الافتراض فى هذه العملىة ، بعدم حصول اى تراكم فى
المركز ، حىث ىأتى كل الملح فى مجرى واحد الى الجهاز وىخرج بنفس
الكمىة بمجرى آخر . وىمكن ان يؤخذ الملح عندئذ كمادة رابطة فى هذه
العملىة . ولاىضاح التطبيق المباشر للمادة الرابطة لحسابات موازنة المادة ،
لنأخذ الحالة التى ىراد فىها حساب كمىة المادة المتبخر من 100 كجم من
محلول 10% وزناً NaCl فى الماء لتركىزه الى محلول 20% وزناً NaCl .
فاذا أخذنا كأساس للحل 100 كجم من المحلول الأصلى فىوجد 10 كجم من
الملح و 90 كجم من الماء فىه قبل التركىز ، وىجب ان ىكون هناك فى
المحلول المركز الباقى 10 كجم من الملح أىضاً بعد التركىز ، وىذلك لعدم
فقدان أى كمىة من الملح مع الماء المتبخر أثناء التركىز . ولذا ىمكن اعتبار
الملح مادة رابطة حىث ىدخل جمىعه فى مجرى واحد وىخرج دون تغىر فى
مجرى واحد آخر أىضاً .

فاذا فرضنا X ىمثل كجم من الماء الباقى فى المحلول المركز ،

$$(100) \frac{10}{X+10} \text{ ىجب ان ىساوى تركىز الملح فى المحلول المركز .}$$

$$20 = (100) \frac{10}{X+10}$$

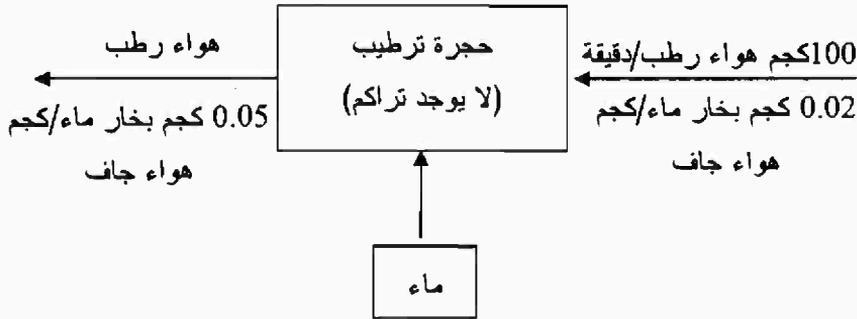
وبحل المعادلة لاىجاد قىمة X ، $40 = X$

فقبل التركىز ، ىوجد 90 كجم من الماء فى المحلول لكل 100 كجم
من المحلول الأصلى أو لكل 10 كجم من الملح . وبعد التركىز ىوجد 40 كجم
من الماء فى المحلول النهائى لكل 10 كجم من الملح . فكمىة الماء المتبخر

لكل 100 كجم من المحلول الأصيل يجب لذلك ان تساوى $90 - 40 = 50$ كجم .

مثال : تطبيق موازنة المادة المتضمن مادة رابطة في مسائل ترطيب الهواء
 . (Humidification)

في عملية مستمرة ، 100 كجم من الهواء الرطب في الدقيقة يحتوى على 0.02 كجم من بخار الماء لكل كجم من الهواء الجاف ، يدخل حجرة ترطيب حيث يضاف فيها بخار الماء الى الهواء ، ويحتوى الهواء الخارج من الحجرة على 0.05 كجم بخار ماء لكل كجم من الهواء الجاف . المطلوب حساب كمية الماء المضاف الى الهواء الرطب الداخل في الدقيقة. وفيما يلى شكل يوضح موازنة المادة في عملية ترطيب الهواء .



الحل :

ليكن أساس الحل دقيقة واحدة ، ومعادلة الى 100 كجم من الهواء الرطب الداخل الى الحجرة . كل الهواء الجاف الداخل للحجرة فى مجرى واحد يجب ان يخرج فى مجرى الهواء الخارج ، ولذا يمكن اعتبار الهواء مادة رابطة .

أفرض أن X يساوى وزن بخار الماء الداخل للحجرة فى الدقيقة ، فوزن الهواء الجاف الداخل للحجرة يجب ان يساوى $X - 100$ كجم . وحيث

ان كجم بخار ماء لكل كجم هواء جاف فى المجرى الداخلى يساوى 0.02 ،
لذا

$$\frac{X}{X-100} = 0.02$$

$$X = 1.96 \text{ كجم / دقيقة}$$

كجم هواء جاف داخلى الى الحجره = كجم هواء جاف خارج من
الحجره .

$$= 100 - 1.96 = 98.04 \text{ كجم / دقيقة}$$

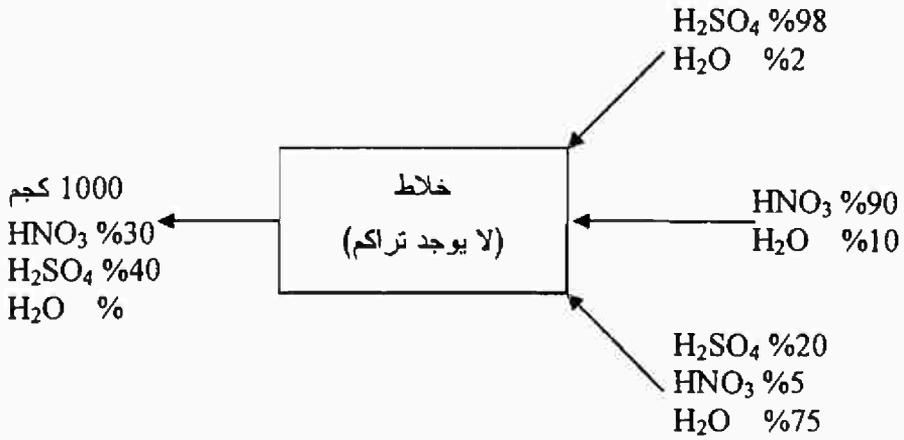
وحيث يوجد 0.05 كجم بخار الماء لكل كجم هواء جاف خارج من
الحجره ، فكجم بخار ماء خارج من الحجره فى الدقيقة يساوى
 $4.90 = (98.04)(0.05)$

وبما ان الحسابات المتقدمه أنجزت على أساس دقيقة واحدة ، لذلك
فكجم الماء المضاف الى الهواء الاصلى فى الدقيقة يساوى كجم بخار الماء
الخارج مع الهواء النهائى فى الدقيقة ناقصا كجم بخار الماء الداخلى مع الهواء
الأصلى فى الدقيقة ، أو $4.90 - 1.69 = 2.94$ كجم من الماء أضيف الى
الهواء فى الدقيقة .

مثال 2 : تطبيق موازنات المادة على مجارى متعددة

يراد تحضير خليط يحتوى على 30% وزنا حامض النتريك و 40%
وزنا حامض الكبريتيك و 30% وزنا ماء بصورة مستمرة وذلك بخلط
حامض الكبريتيك المركز (98% وزنا H_2SO_4 و 10% وزناً H_2O) ،
وحامض النفاية (20% H_2SO_4 و 75% H_2O و 5% HNO_3) . المطلوب
حساب الكيلو جرامات الضرورية من حامض الكبريتيك المركز وحامض

النتريك المركز وحامض النفاية لكل 1000 كجم من الخليط النهائي. وفيما يلي شكل يوضح تطبيق موازنة المادة لمجاري متعددة



الحل :

أساس الحل 1000 كجم من الخليط النهائي

أفرض أن X = كجم حامض الكبريتيك المركز الضروري

Y = كجم حامض النتريك المركز الضروري .

Z = كجم حامض النفاية الضروري .

موازنة المواد الكلية :

الوزن الداخل = الوزن الخارج

الوزن الداخل = $Z + Y + X$

(i)

الوزن الخارج = 1000

موازنة HNO_3 :

وزن HNO_3 الداخل = $Z \cdot 0.05 + Y \cdot 0.90$

وزن HNO_3 الخارج = $(1000)(0.30)$

$$(ب) \quad 300 = Z \cdot 0.05 + Y \cdot 90$$

موازنة H_2SO_4 :

وزن H_2SO_4 الداخل = $Z \cdot 0.20 + X \cdot 0.98$

وزن H_2SO_4 الخارج = $(1000)(0.40)$

$$(ج) \quad 400 = Z \cdot 0.20 + X \cdot 0.98$$

تمثل المعادلات (أ) و (ب) و (ج) ثلاثة معادلات مستقلة متضمنة

ثلاثة مجاهيل ، يمكن حلها أنيا لتنتج :

X = 338 كجم حامض الكبريتيك المركز الضروري

Y = 313 كجم حامض النتريك المركز الضروري

Z = 349 كجم حامض النفاية الضروري

1000 كجم مجموع الوزن

ويمكن التأكد من هذه النتائج بتطبيق موازنة الماء للعملية

$$\text{وزن الماء الداخل} = (338) (0.02) + (313) (0.10) + (349) (0.75)$$

$$= 300$$

$$\text{وزن الماء الخارج} = (1000) (0.30) = 300$$

وحيث ان وزن الماء الداخل للجهاز يساوى وزن الماء الخارج من الجهاز
فموازنة الماء متوفرة والنتائج لذلك صحيحة .

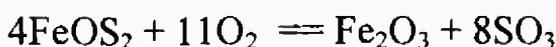
التفاعلات الكيميائية ووحدة المول

عندما تتضمن العملية تفاعلات كيميائية فالأفضل معاملة موازنات
المادة على اساس حفظ العناصر باستعمال وحدات المول . فإذا احترق 24
كجم من الفحم مثلا الى ثانى أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون ، وكانت
كمية ثانى أكسيد الكربون المتكون 66 كجم كما يشير التحليل ، فيمكن
حساب كمية أول أكسيد الكربون المتكون بموازنة الكربون .

الكتلة المولية لثاني أكسيد الكربون هي 44 ، لذلك يوجد $44/66 = 1.5$ كيلو مول من ثاني أكسيد الكربون متكون ، وذلك باستعمال وحدات المول . وحيث أن كيلو مول واحد من CO_2 يحتوى على 12 كجم كربون و 32 كجم أوكسجين ، فيحتوى 1.5 كيلو مول من CO_2 على $(1.5) (12) = 18$ كجم كربون. 24 كجم من الكربون يدخل التفاعل و 18 كجم من هذا الكربون يتحول الى CO_2 . فبقية الكربون ، أو $24 - 18 = 6$ كجم يجب أن يكون متحولاً الى CO . وبما أن كيلو مول واحد من CO يحتوى 12 كجم كربون و 16 كجم أوكسجين ، وحيث أن 6 كجم من الكربون فى CO ، فيجب ان يكون 0.5 كيلو مول من CO قد تكون . كيلو مول واحد من CO يزن 28 كجم ، فمجموع وزن CO المتكون $(0.5) (14) = 14$ كجم .

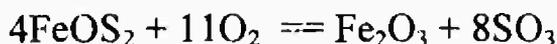
ج- القوانين الكيميائية والأوزان المكافئة

يمكن إيجاد العلاقة بين أوزان المواد المتفاعلة (Reactants) والمواد الناتجة (Products) في تفاعل كيميائي من دراسة معادلة التفاعل والكتل المولية للمواد . فتكتب المعادلة بحيث تكون المواد المتفاعلة في الجهة اليسرى والمواد الناتجة في الجهة اليمنى . والكتل المولية لأي عنصر أو مركب يمكن الحصول عليها من جدول الأوزان الذرية . ولتوضيح ذلك ، يمكن أن يؤخذ إنتاج ثاني أكسيد الكبريت بأكسدة بيرات الحديد (Pyrites) كمثال . فالمواد المتفاعلة هي الأوكسجين والبيرات ، المواد الناتجة هي ثاني أكسيد الكبريت وأوكسيد الحديد . ويمكن كتابة المعادلة كما يلي:



الصيغة الكيميائية للبيرات يمكن أن تؤخذ FeS_2 ، والكتلة المولية لهذا المركب تساوي الوزن الذري للحديد زائدا ضعف الوزن الذري للكبريت أو تساوي $55.85 + (2)(32.06) = 119.97$ ويمكن الحصول على الكتل المولية للمواد الأخرى المشمولة في التفاعل بطريقة مماثلة .

وحسب معادلة التفاعل 4 مولات من FeS_2 تتفاعل مع 11 مول O_2 لتنتج مولين Fe_2O_3 و 8 مولات SO_2 . ويمكن كتابة ذلك بشكل يدل على الأوزان المشمولة بالاتحاد :



$$(4)(119.97) \quad (11)(32.0) \quad 2(159.70) \quad 8(64.06)$$

$$479.88 \quad 352.00 \quad 319.40 \quad 512.48$$

أى أن 479.88 أجزاء وزنية FeS_2 تتفاعل مع 352.00 أجزاء وزنية
أوكسجين لانتاج 319.40 أجزاء وزنية Fe_2O_3 و 512.48 أجزاء وزنية
 SO_2 .

هذه النسب الوزنية يجب ان تسرى على هذا التفاعل بغض النظر عن
كمية كل المواد الموجودة . فإذا كان وزن احد المركبات معروفا ، فمن
الميسور حساب الكميات النظرية للمركبات الثلاثة الأخرى . فكمية
الأوكسجين الضرورية للتفاعل مع 100 كجم من كبريتيد الحديد تساوى وزن
الأوكسجين اللازم لكيلو جرام من كبريتيد الحديد مضروبا بمائة . أو :

$$73.5 \text{ كجم من الاوكسجين اللازم للتفاعل مع } 100 \text{ كجم من } \frac{352.00}{479.88} (100)$$

كبريتيد الحديد . وبطريقة مماثلة ، وزن أوكسيد الحديد الناتج من 100
كجم FeS_2 يكون :

$$66.6 \text{ كجم} = (100) \frac{319.40}{479.88}$$

$$\text{ووزن ثانى اوكسيد الكبريت الناتج} = (100) \frac{512.48}{479.88} = 106.9 \text{ كجم}$$

ويمكن التأكد من هذه النتائج بتحديد امكانية اجراء الموازنة الكلية .

$$\text{مجموع أوزان المواد المتفاعلة} = 73.5 + 100 = 173.5 \text{ كجم}$$

$$\text{مجموع اوزان المواد الناتجة} = 66.6 + 106.9 = 173.5 \text{ كجم}$$

وحيث ان وزن المواد الناتجة يساوى وزن المواد المتفاعلة فشرط الموازنة
الكلية متوفر والنتائج لذلك صحيحة .

قوانين الغازات

عند تطبيق مبادئ حسابات نسب اتحاد المواد للغازات ، فالعلاقة بين كتلة المادة ودرجة الحرارة والضغط والحجم مهمة جداً . وهناك طرق عديدة متوفرة تبين تأثير تبدل واحد أو أكثر من هذه المتغيرات . والقوانين التى تطبق على ما يسمى الغازات المثالية (Ideal Gases) مهمة جداً ، ولو أنها ليست دقيقة ولكنها تعطى نتائج وافية بالغرض للحسابات الاعتيادية طالما تكون الغازات المعنية تحت ضغط لا يزيد عن ضغط جوى واحد او اثنين .

قانون الغاز المثالى :

أدت البحوث التجريبية لعدد كبير من الغازات المختلفة وفى ظروف متغيرة الى المعادلة التالية ، المشتقة عملياً ، والتي تسمى معادلة الغاز المثالى:

$$PV = nRT$$

حيث P = الضغط المطلق كجم/(م² ثانية)² أو نيوتن/م² أو باسكال.

V = حجم مولات n من الغاز .

n = عدد المولات من الغاز .

T = درجة الحرارة المطلقة ك .

R = ثابت الغاز العام .

$R = 8.314$ (كجم) (م²/ثانية)² (مول) (ك) .

$R = 8.314$ (نيوتن) (م)/(مول) (ك) .

والتعبير عنه بالوحدات الثانوية أكثر شيوعاً ، حيث يستعاض عن

نيوتن متر بجول :

$$R = 8.314 \text{ جول/ (مول) (ك)}$$

ومقياس درجة الحرارة المطلقة يعتمد على نقطة الصفر المطلقة ، تلك الدرجة التي تتوقف عندها نظرياً حركة الجزيئات . ولقد وجد ان هذه الدرجة تساوى -273°م ودرجة الحرارة المطلقة بدرجات كلفن = درجة الحرارة بالمقياس المتوى $+273$

مثال 3 : تطبيق قانون الغاز المثالي

احسب الحجم الذي تشغله مولان من الغاز المثالي تحت ضغط 120 كيلو باسكال Kpa وعند درجة حرارة 300 ك .
الحل :

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$0.04157 \text{ م}^3 = \frac{(2)(8.314)(300)}{(120)(1000)} = V$$

مثال 4 : تطبيق قانون الغاز المثالي

إذا كانت درجة حرارة غاز 311 ك وضغطه 96.5 كيلو باسكال ويشغل حجماً مقداره 1.416 م³ ، فما حجمه اذا تغيرت درجة الحرارة الى 339 ك والضغط الى 172.4 كيلو باسكال ؟
الحل :

يمكن التعبير عن الظروف الأولى حسب قانون الغاز المثالي :

$$(96.5) (1.416) = (n) (R) (311) \quad (1)$$

دع V_2 يمثل الحجم في الظروف الثانية والتي يمكن التعبير عنها :

$$(172.4)(V_2) = (n)(R)(339) \quad (2)$$

وحيث لم يضاف أو يؤخذ غاز من الجهاز فعدد مولات الغاز يجب ان تكون متساوية في المعادلتين (1) و (2) . كما أن قيمة R ثابتة لكل المعادلتين وذلك لاستعمال نفس الوحدات للكميات المماثلة . وبتقسيم المعادلة (2) على المعادلة (1) يحذف n و R وينتج حجم الغاز في الظروف الثانية .

$$\frac{(172.4)(V_2)}{(96.5)(1.416)} = \frac{(n)(R)(339)}{(n)(R)(311)}$$

$$0.864 = \frac{(1.416)(96.5)(399)}{(172.4)(311)} = V_2$$

Dalton's Law قانون دالتون

يعرف الضغط الجزئي لكل من الغازات المكونة لخليط غازي بأنه الضغط الذي يسلطه الغاز المكون لو وجد لوحده في نفس حجم وعند نفس درجة حرارة الخليط الغازي . وينص قانون دالتون على أن الضغط الكلي لخليط من الغازات المثالية يساوي حاصل جمع الضغوط الجزئية للغازات المكونة التي يتألف منها الخليط ، أي أن :

$$P = p_a + p_b + p_c + \dots$$

حيث : P الضغط الكلي و p_a , p_b , p_c الخ ... الضغوط الجزئية لكل من الغازات المكونة .

ونتيجة طبيعية مهمة جداً لقانون دالتون تنص على ان نسبة الجزء المولى Mole Fraction لغاز مكون في خليط من الغازات المثالية يساوى الضغط الجزئى لهذا المكون مقسوماً على الضغط الكلى .

$$X_a = \frac{n_a}{n_a + n_b + n_c + \dots} = \frac{P_a}{P}$$

ويمكن البرهنة على ذلك باستعمال قانون الغاز المثالى بالافتراض مع قانون دالتون ، لذا فللغاز المثالى :

$$(1) p_a V = n_a RT$$

$$(2) (p_a + p_b + \dots) V = PV = (n_a + n_b + \dots) RT$$

وبتقسيم المعادلة (1) على المعادلة (2) :

$$\frac{P_a}{P} = \frac{n_a}{n_a + n_b + n_c + \dots} = X_a$$

قانون اماقات Amagat's Law

يعرف حجم الغاز النقى فى خليط من الغازات بأنه الحجم الذى يشغله ذلك الغاز لو وجد لوحده فى نفس درجة حرارة وضغط الخليط الغازى . وينص قانون اماقات على ان الحجم الكلى الذى يشغله غازى يساوى حاصل جمع حجوم الغازات النقية ، أو :

$$V = V_a + V_b + V_c + \dots$$

حيث $V =$ الحجم الكلى و V_a, V_b, V_c الخ حجوم الغازات النقية التى يتألف منها الخليط .

وتتص نتيجة طبيعية لقانون اماكات على ان نسبة الجزء المولى لغاز فى خليط من الغازات المثالية ، تساوى حجم الغاز النقى مقسوماً على الحجم الكلى للخليط ، أو

$$X_a = \frac{V_a}{V}$$

ويمكن اثبات ذلك بنفس الاسلوب الذى اتبع لاثبات قانون دالتون . بما ان النسبة المئوية للمول تساوى نسبة الجزء المولى مضروباً بمائة . والنسبة المئوية للحجم تساوى نسبة الجزء الحجمى مضروباً بمائة . ولذا يمكن القول بأن النسبة المئوية للحجم لغاز فى خليط من الغازات المثالية تساوى دائماً نسبته المئوية المولية فى الخليط . وتستعمل هذه الحقيقة بصورة واسعة فى حسابات نسب اتحاد المواد لتسهيل الحسابات المعتمدة على تحاليل النسب المئوية للحجم فى خليط غازى .

مثال 5: تعيين معدل سرعة جريان الغاز

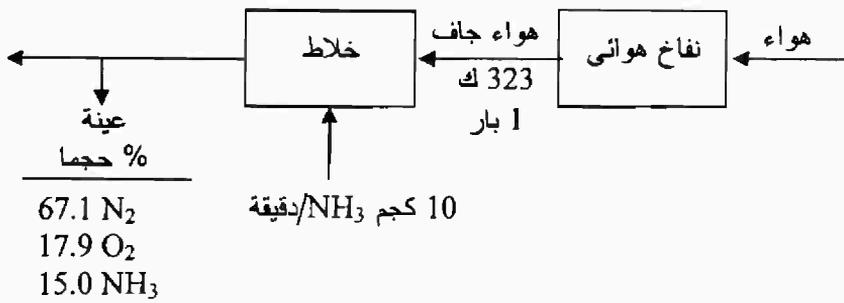
يدفع نفاخ (Blower) هواء جاف بدرجة حرارة تساوى 323 كلفن وضغط يساوى بار واحد ، ثم يضاف الى الهواء المدفوع 10 كجم من الامونيا فى الدقيقة . وعند تحليل عينة من الخليط الغازى تبين انه يتكون من:

$$\text{NH}_3 \text{ } 15.0\% , \text{O}_2 \text{ } 17.9\% , \text{N}_2 \text{ } 67.1\%$$

حجماً المطلوب حساب معدل سرعة الهواء المدفوع بالنفاخ كمتر مكعب فى الثانية. يمكن اعتبار تركيب الهواء الجاف $\text{N}_2 \text{ } 79\% , \text{O}_2 \text{ } 21\%$.

الحل :

الشكل يبين رسماً تخطيطياً للعملية



الشكل: عملية لتعيين معدل سرعة جريان الهواء

أساس الحل : دقيقة واحدة .

عدد كيلو مول NH_3 فى الخليط الغازى = $\frac{10}{17} = 0.59$ كيلو مول . 0.59

كيلو مول = 15% حجما من الخليط الغازى = 15% من الخليط الغازى .

د ع س = مجموع الكيلومولات من O_2 و N_2 و NH_3 فى الخليط .

$$0.15 = \text{س}$$

$$\text{س} = 3.93$$

عدد الكيلو مولات للأوكسجين والنتروجين فى خليط الامونيا والهواء يساوى
عدد الكيلومولات للأوكسجين والنتروجين فى الهواء المدفوع بالنفاخ :

$$= 0.59 - 3.93 = 3.34 \text{ كيلو مول من الهواء يدفعه النفاخ على أساس دقيقة}$$

واحدة .

معدل سرعة الهواء باستعمال قانون الغاز المثالى

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$n = 3.34 \text{ كيلو مول} = (3.34) (1000) \text{ مول}$$

$$V = \frac{(1000)(3.314)(8.314)(323)}{100.000} = 89.693 \text{ م}^3/\text{دقيقة}$$

مثال 6: تعيين الكتلة المولية والكثافة لخليط غازي :

المطلوب حساب معدل الكتلة المولية والكثافة للهواء الجاف عند درجة حرارة 294.4 كلفن وضغط 0.973 بار ، مع فرض ان الهواء الجاف يحتوى على 21% O₂ و 79% N₂ حجما .

الحل :

أساس الحل : كيلو مول واحد من الهواء الجاف

المكون	% حجما	نسبة الجزء المولى	الكتلة المولية	كيلو جرام فى كيلو مول من الهواء الجاف
O ₂	21.0	0.21	32.0	6.72 = (32)(0.21)
N ₂	79.0	0.79	28.0	22.12 = (28)(0.79)
المجموع				28.84

كيلو مول واحد من الهواء يزن 28.8 كجم ، لذلك فمعدل الكتلة المولية للهواء هو 28.48 .

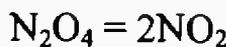
حجم كيلو مول واحد من الهواء عند درجة 294.4 كلفن وضغط 0.973 بار هو $V = \frac{nRT}{P}$.

$$25.156 \text{ م}^3 = \frac{(1)(1000)(8.314)(294.4)}{(0.973)(100.000)} = V$$

كثافة الهواء الجاف عند 294.4 كلفن و 0.973 بار هي $1.1464 = \frac{28.84}{25.156}$ كجم/م³

مثال 7: تعيين تحلل أو انفكك (Dissociation) الغازات :

ينفكك N₂O₄ جزئياً فى الحالة الغازية حسب المعادلة التالية :



فإذا وجد 24.0 جم من خليط غازى محتويًا على NO_2 و N_2O_4 يشغل حجماً مقداره 15.100 سم³ عند درجة حرارة 363 كلفن وضغط 0.973 بار . المطلوب حساب النسبة المئوية لتفكك N_2O_4 الى NO_2 .

الحل :

أساس الحل : 24.0 جم N_2O_4 قبل التفكك .

الكتلة المولية لغاز $\text{N}_2\text{O}_4 = 92$

$$0.261 = \frac{24.0}{92} = \text{مول من } \text{N}_2\text{O}_4 \text{ موجود قبل التفكك}$$

وحيث أن مولين من NO_2 تتكون من مول واحدة N_2O_4 تتفكك $2X =$ عدد مولات NO_2 متكونة .

$$\text{وعدد المولات النهائية فى الغاز} = \text{عدد مولات } \text{N}_2\text{O}_4 + \text{عدد مولات } \text{NO}_2$$

$$= (0.261 - X) + 2X =$$

وباستعمال قانون الغاز المثالى ، العدد النهائى لمولات الغاز هى :

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$0.487 \text{ مول} = \frac{(0.973)(100.000)(15.000)}{(8.314)(363)(1.000.000)}$$

$$\text{لذلك ، } 0.487 = 2X + (0.261 - X) \therefore X = 0.226$$

$$\text{النسبة المئوية لتفكك } \text{N}_2\text{O}_4 \text{ هى } \frac{0.226}{0.261} (100) = 86.7\%$$

د- موازنة الطاقة

ينص قانون حفظ الطاقة على ان الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ، ومجموع كمية الطاقة الداخلة لجهاز معين يجب ان تساوى الطاقة الخارجة زائداً أى طاقة متراكمة فى الجهاز . ويسمى التعبير الرياضى لهذا القانون موازنة الطاقة . ويوجد نوعان أساسيان للطاقة هما الطاقة الكامنة والطاقة الحركية . الطاقة الكامنة تشير الى طاقة الجسم أو المادة الناتجة عن موضع ذلك الجسم أو المادة نسبة الى مادة أخرى . مثلاً قطعة فحم تحتوى على طاقة كامنة معينة عندما توضع عند مسافة ثابتة من سطح الأرض وذلك لقدرتها على السقوط والارتطام بسطح الأرض بقوة يعتمد على كتلتها وسرعتها . وتشير الطاقة الحركية الى الطاقة الناشئة عن الحركة . فالرصاصة بعد انطلاقها يكون لها طاقة حركية ناشئة عن حركتها .

انسباب الحرارة من جسم الى آخر يمكن اعتباره طاقة فى حال انتقال (Energy in Transition) فعندما تنساب الحرارة من الجسم الحار الى الجسم البارد تزداد الطاقة الداخلية للجسم البارد على حساب الطاقة الداخلية للجسم الذى انتقلت منه الحرارة .

الشغل نوع آخر من الطاقة فى حالة انتقال . ويعرف الشغل بالطاقة المنقلة بفعل قوة ميكانيكية متحركة تحت ضوابط معينة خلال مسافة ملموسة . ولا يمكن خزن الشغل كشغل ، ولكن القدرة لعمل شغل يمكن خزنها كطاقة كامنة أو طاقة حركية أو طاقة داخلية .

السعة الحرارية والحرارة النوعية :

يتطلب غالباً في أكثر الأعمال الكيميائية ذات العلاقة بالحرارة حساب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جسم معين قيمة معينة . ويمكن حساب ذلك باستعمال السعة الحرارية أو الحرارة النوعية . وتعرف السعة الحرارية بكمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كمية معينة من المادة درجة حرارية واحدة .

والحرارة النوعية لجسم معين هي نسبة السعة الحرارية لذلك الجسم الى السعة الحرارية لوزن مساو له من الماء في درجة حرارة 288.13 كلفن . فإذا كانت الحرارة النوعية لمادة ما تساوي 2.3 مثلاً فمعناها أنه يتطلب : 4.184×2.3 كيلو جول لرفع درجة حرارة كجم من تلك المادة درجة كلفن واحدة .

ويمكن التعبير عن السعة الحرارية للمادة على اساس الوزن أو الكتلة المولية ، فالسعة الحرارية المولية للماء عند درجة حرارة 288.13 كلفن تساوي 75.3 جول / (مول) (ك) ، كما يمكن التعبير عن السعة الحرارية للماء 4.184 جول / (جم) (ك) .

متوسط السعة الحرارية للغازات :

يتطلب غالباً ، كما ذكر آنفاً ، حساب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غاز ما من درجة حرارة الى اخرى . وحيث ان السعة الحرارية للغازات تتغير مع درجة الحرارة ، لذا فمعرفة متوسط (أو معدل) السعة الحرارية لغاز ما على مدى درجات الحرارة المشمولة أمر مرغوب

فيه جداً . فإذا كان متوسط السعة الحرارية معروف فمن السهولة حساب الحرارة الكلية بضرب متوسط السعة الحرارية بتغيير درجة الحرارة وبعدد المولات او الكيلومولات للغاز .

ومن الممكن حساب السعة الحرارية للغازات عند اى درجة حرارة من معادلات من النوع :

$$C_p = a + bT + cT^2$$

حيث C_p = السعة الحرارية عند ضغط ثابت ودرجة حرارة مطلقة
T و a, و b و c ثوابت تجريبية (Empirical constants) لكل غاز .

يمكن الحصول على معدل السعة الحرارية لمدى درجات حرارة معينة بايجاد التكامل (Intergration) لمعادلة شبيهة للمعادلة . كما ان اعتبار متوسط السعة الحرارية للغازات الشائعة ، فالهواء والاكسجين والنتروجين والهيدروجين وأول أكسيد الكربون وبخار الماء وثانى أكسيد الكربون ، على أنها السعة الحرارية عند معدل الدرجة الحرارية المطلقة خلال التسخين يتضمن إدخال خطأ ضئيل فقط . وبوجه عام يمكن افتراض عدم تأثر السعة الحرارية للغازات الشائعة بالضغط اذا كانت درجات الحرارة اعلى من 273 كلفن والضغط أقل من 5 بار ، وتسهل حسابات المحتويات الحرارية للغازات باستعمال جداول أو مخططات تبين متوسط السعة الحرارية أو محتوى الحرارة المحسوسة (Sensible Heat) بالنسبة الى درجة حرارة مرجعية ملائمة . ويبين الجدول متوسط السعة الحرارية الكيلو مولية عند ضغط ثابت للغازات الشائعة بين درجة الحرارة المرجعية 273.15 ودرجة الحرارة النهائية كلفن التى يسخن اليها الغاز . وتجرى معظم حسابات نسب اتحاد المواد بظروف يكون الضغط عندها ثابت. غير انه اذا سخن الغاز عند حجم ثابت فالحرارة المطلوبة لرفع درجات حرارة معينة تكون اقل عما هو

ضرورى عند ضغط ثابت ، وذلك لعدم تطلب اى طاقة لشغل التمدد (Work of Expansion) ، لقد وجد ان السعة الحرارية المولية للغازات المثالية عند حجم ثابت تساوى السعة الحرارية المولية عند ضغط ثابت ناقصاً ثابت قانون الغاز المثالى R فى وحدات منسجمة :

$$C_v = C_p - R$$

ولذلك إذا كانت السعة الحرارية المولية لثنائى أوكسيد الكربون عند ضغط ثابت = 38.70 جول /مول (ك) فالسعة الحرارية عند حجم ثابت تساوى :

$$38.70 - 8.314 = 30.386 \text{ جول / (مول) (ك)}$$

ووحدة R يجب ان تكون نفس وحدات السعة الحرارية ، فوحدة R فى المثال أعلاه تساوى 8.314 جول / (مول) (ك) .

مثال 8 تطبيق استعمال متوسط السعة الحرارية :

المطلوب حساب كمية الحرارة اللازمة لتسخين 10 مولات CO₂ من 373 الى 773 ك عند ضغط ثابت مقداره بار واحد

الحل :

إن قيم السعات الحرارية المعطاة فى جدول () هى ضغط ثابت مقداره 1.013 بار ، وسوف تطبق هذه القيم نفسها عند ضغط ثابت مقداره بار واحد .

من الجدول () قيمة السعة الحرارية لثاني أكسيد الكربون بين 273 و 373 ك هي 38.166 جول/ (مول) (ك) . وبفرض المحتوى الحرارى يساوى صفر عند 273 ك ، فيكون المحتوى الحرارى ب 10 مولات لثاني أكسيد الكربون عند 373 ك :

$$(38.166) (10) (373 - 273) = 38.166 \text{ جول}$$

متوسط السعة الحرارية لثاني أكسيد الكربون بين 273 ك و 773 ك يساوى 44.685 ومجموع المحتوى الحرارى للغاز عند 773 ك :

$$(44.685) (10) (773 - 273) = 223.425 \text{ جول}$$

فمجموع الحرارة المضافة لرفع درجة حرارة الغاز من 373 الى 773 ك هي الفرق بين المحتوى الحرارى عند 373 ك والمحتوى الحرارى عند 773 ك :

$$185.259 = 38.166 - 223.425 \text{ جول} / 10 \text{ مولات } \text{CO}_2$$

حرارة التفاعل

تصاحب التفاعلات الكيميائية انبعاث أو امتصاص حرارة عند التفاعل. ويعبر دائماً عن حرارة التفاعل بوحدات المول في موازنات الطاقة عند حسابات نسب اتحاد المواد ، وذلك حتى يمكن تطبيقها مباشرة فى معادلة التفاعل . فإذا تفاعل مثلاً مول واحد من CaO عند درجة حرارة 291 ك مع مول واحد من CO₂ عند درجة حرارة 291 ك لانتاج مول واحد من CaCO₃ عند درجة حرارة 291 ك ، فالحرارة المنبعثة تساوى 182.422 جول . ويمكن التعبير عن ذلك :



ولو انعكس هذا التفاعل لوجب تزويد وسط التفاعل بحرارة قيمتها 182.422 جول قبل ان يتحلل مول واحد من CaCO_3 عند درجة 291 ك الى مول واحد من CaO ومول واحد من CO_2 (كلاهما عند درجة حرارة 291 ك).

لذا يمكن تعريف حرارة التفاعل ، بصورة عامة ، على أنها كمية الحرارة المنبعثة أو الممتصة عند حدوث التفاعل (مع اعتبار المواد المتفاعلة والنااتجة في حالتها الاعتيادية عند درجة 291 ك وضغط بار واحد).

القيم الحرارية للتفاعل مع محتوى الحرارة المحسوسة للمواد الداخلة الى الجهاز والخارجة منه ، تشكل أساس معظم موازنات الطاقة في حسابات نسب اتحاد المواد . ولتسهيل هذه الحسابات ، تختار دائماً درجة حرارة ملائمة يفرض عندها المحتوى الحرارى مساوياً لصفر .

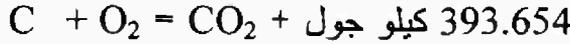
مثال 9 تطبيق موازنة الطاقة الحرارية على الاحتراق

يحترق 100 كجم من الكربون النقي الى CO_2 مع الكمية الضرورية نظرياً من الهواء الجاف (N_2 %79 و O_2 %21) لتزويد الأوكسجين اللازم للاحتراق. يدخل الكربون والهواء الى الحارق (Bruner) عند درجة حرارة 291 ك ، وتخرج الغازات الناتجة عند درجة حرارة 2273 ك ، كما يعمل الحاق عند ضغط ثابت مقدراه بار واحد . المطلوب حساب كمية الحرارة المنبعثة .

الحل :

أساس الحل : 100 كجم من الكربون النقي عند درجة حرارة 291 ك والتي عندها يعتبر مستوى الطاقة يساوى صفر .

التفاعل الكامل :



الحسابات المبدئية :

$$8.34 = \frac{100}{12} = \text{كيلو مول كربون}$$

$$8.34 = \text{كيلو مول } O_2 \text{ يتطلب من الهواء}$$

$$39.7 = \frac{(100)(8.34)}{21} = \text{كيلو مول هواء يتطلب}$$

$$8.34 = \text{كيلو مول } CO_2 \text{ فى الغاز الناتج}$$

$$31.36 = (0.79) (39.7) = \text{كيلو مول } N_2 \text{ فى الغاز الناتج}$$

موازنة الطاقة الحرارية :

الطاقة الحرارية الداخلة :

الحرارة المحسوسة فى الهواء = O (الهواء يدخل عند مستوى الصفر

للطاقة)

الحرارة المحسوسة فى الكربون = O (الكربون يدخل عند مستوى

الصفر للطاقة)

$$\text{حرارة التفاعل} = (8.34) (393.654) = 3.283.083 \text{ كيلو جول}$$

$$\text{مجموع الطاقة الحرارية الداخلة} = 3.283.083 \text{ كيلو جول}$$

الطاقة الحرارية الخارجة = متوسط السعة الحرارية المولية لـ CO_2
عند ضغط ثابت بين 291 و 2273 ك = 54.52 كيلو جول / (كيلو مول)
(ك) .

متوسط السعة الحرارية المولية لـ N_2 عند ضغط ثابت بين 291 ك و
2273 ك = 33.43 كيلو جول / (كيلو مول) (ك).

مجموع الحرارة المحسوسة الخارجة في الغازات :

$$(8.34) (54.52) (291-2273) + (31.36) (33.43) (2273) -$$

(291

$$= 901.209 + 2.077.859 = 2.979.068 \text{ كيلو جول}$$

مجموع الطاقة الحرارية الخارجة = 2.979.068 + الحرارة المنبعثة
الموازنة الكلية للطاقة الحرارية .

مجموع الطاقة الحرارية الداخلة = مجموع الطاقة الحرارية الخارجة

$$\text{الحرارة المنبعثة} = 3.283.083 - 2.979.069 = 304.014 \text{ كيلو}$$

جول

الأسئلة

- 1- اشرح النظام الدولي للوحدات ؟
- 2- أذكر الوحدات الأساسية للوحدات فى النظام الدولي؟
- 3- تكلم عن ما يأتى :
 - أ- وحدة المول
 - ب- المادة الرابطة
 - ج- التفاعلات الكيميائية و وحدات المول
- 4- أذكر مع الشرح
 - أ- قانون الغاز المثالى
 - ب- قانون دالتون
 - ج- قانون أمكات
- 5- أشرح كيف يمكن تعيين ما يلى :
 - أ- معدل سريان جريان الغاز
 - ب- الكتلة المولية والكثافة لخليط غازى
 - ج- تحلل أو تفكك الغازات
- 6- أشرح المعانى التالية :
 - أ- السعة الحرارية والحرارة النوعية
 - ب- متوسط السعة الحرارية للغازات
 - ج- حرارة التفاعل
- 7- وضح كيف يمكن تطبيق استعمال متوسط السعة الحرارية ؟
- 8- وضح كيف يمكن تطبيق موازنة الطاقة الحرارية على الإحتراق ؟