

Kimyasal Eşitlikler ve Nicel Bağıntılar

Kimya bir dile benzer. Tıpkı bir dilde olduğu gibi bir **alfabesi** (periyodik cetvel), **sesli ve sessiz harfleri** (metal ve ametaller) bu alfabeden türetilen **kelimeleri** (kimyasal bileşikler) ve kelimelerden türetilen **cümleleri** (kimyasal reaksiyonlar) mevcuttur. Bir dili düzenleyen **gramer kuralları** olduğu gibi, kimyasal dili yöneten **denge ve enerji kuralları** mevcuttur.

Kimyacılar bu dili en iyi şekilde öğrenmekle yükümlüdür. Kimya dilinde kullanılan simgeler, formüller ve eşitlikler yalnızca birer kısaltmadan ibaret değildir. Bu ve diğer kimyasal kavramları kullanan kimyacılar elementler ve bileşikler arasındaki kimyasal tepkimeleri ve nicel bağıntılarını türetir, uygular ve sonuçlarını yorumlar.

Kimyasal tepkimelerde yer alan elementler ve bileşikler arasındaki nicel bağıntılarla ilgilenen kimya dalına **stokiyometri** denir. Yunanca element ve ölçmek kelimelerinin biraraya getirilmesiyle türetilmiştir.

Kimyada kullanılan madde miktarı birimi moldür. Bir mol, ${}_6^{12}\text{C}$ izotopunun tam olarak 12 gramında bulunan atom sayısına eşit sayıda birim içeren madde miktarı olarak tanımlanır.

Bu sayı, NŞA gazların 22.4 L hacminde 6.022×10^{23} adet molekül bulunduğunu ilk kez ortaya koyan Amadeo Avogadro'nun anısına **Avogadro sayısı** olarak adlandırılır.

Avogadro sayısının deneysel değeri günümüzde de saptanmış ve 6.022×10^{23} değerinin doğruluğu kanıtlanmıştır. Buna göre 1 mol denildiğinde, 6.022×10^{23} adet birim içeren bir miktardan söz edildiği anlaşılmalıdır.

1 mol C atomu = 6.022×10^{23} tane C atomu.

1 mol CO_2 molekülü = 6.022×10^{23} tane CO_2 molekül.

1 mol e = 6.022×10^{23} tane elektron anlamına gelir.

Atomların ağırlıkları aslında atomik kütle birimi (akb) cinsinden verilir. Fakat atomik kütle birimi ile ağırlık birimi arasında aşağıda verilen ilişki olduğundan, atom ağırlıkları gram cinsinden verilebilir.

${}^6_{12}\text{C}$ izotopunun atomlarından oluşmuş 12,00 gram karbon atomunda Avogadro sayısı kadar atom vardır. **Bu durumda,**

1 tane C atomu = 12 a.k.b.

$6,02 \cdot 10^{23}$ tane C atomu = 1 mol

1 mol - atom = $6.02 \cdot 10^{23}$ tane atom

1 tane C atomunun ağırlığı = $1 / 6.02 \cdot 10^{23} = 1.993 \cdot 10^{-23}$ gram

Bu kütlenin 1/12 kadarına 1 akb denildiğine göre,

$1 \text{ akb} = 1.993 \cdot 10^{-23} \text{ gram} / 12 = 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ gram}$

Bu durumda atomların gram cinsinden (1 molunun) kütleleri akb cinsinden kütlelerinin $1.66 \cdot 10^{-24}$ ve Avogadro sayısıyla çarpılmasına eşittir. Atomların 1 molunun ağırlığı doğrudan akb cinsinden ağırlığına eşittir. 1 mol H (1 akb) atomu 1 g, 1 mol C (12 akb) atomu 12 g, 1 mol Be (9 akb) atomu 9 g, 1 mol Fe (56 akb) atomu 56 g, vs.

Avogadro sayısının büyüklüğü akılda canlandırmak oldukça güçtür. Bir insana Avogadro sayısı kadar 100 YTL versek ve adam her saniyede 1000 tane sayan bir para sayma makinesi kullanarak günde 24 saat ve haftada 7 gün bu parayı saysa kaç yılda saymayı bitirirdi hesaplayınız.

1 yılda $365 \times 24 \times 60 \times 60 \times 1000 = 3.154 \times 10^{10}$ tane sayar.
 $6.022 \times 10^{23} / 3.154 \times 10^{10} = 1.9 \times 10^{13}$ yıl. Ne uzun süre...

Periyodik cetvelde verilen atom ağırlıkları elementlerin doğal izotoplarının ortalama kütesidir.

Bir kimyasal element ve bileşiğin mol sayısı,

Mol sayısı = element veya bileşiğin ağırlığı / atom veya molekül ağırlığı

$n = m_A / M_A$ formülüyle hesaplanır.

Örneğin, 100 g Al kaç moldur? $n = 100 \text{ g} / 27 \text{ g mol}^{-1} = 3.70 \text{ mol}$.

Örneğin, 35.5 g CO₂ kaç moldur? $n = 35.5 \text{ g} / 44 \text{ g mol}^{-1} = 0.807 \text{ mol}$.

Aynı formülü mol sayısı verilen bir maddenin, gram olarak miktarının hesaplanmasında da kullanabiliriz. $n = m_A / M_A \Rightarrow m_A = n \times M_A$

Örneğin, 0.250 mol Au kaç gramdır? Au: 197.0 g/mol

$$m_A = n \times M_A \Rightarrow m_A = 0.250 \text{ mol} \times 197.0 \text{ g/mol} = 49.25 \text{ g yapar.}$$

Veya aynı hesap mantık ve orantı kullanılarak yapılabilir.

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol Au} & \searrow & 197 \text{ g} \\ & \nearrow & \\ 0.250 \text{ mol Au} & \nearrow & ? \text{ g} \end{array}$$

$$1 \cdot x = 0.250 \cdot 197 \Rightarrow x = 49.25 \text{ g}$$

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol Al} & \searrow & 27 \text{ g} \\ & \nearrow & \\ ? \text{ mol} & \nearrow & 100 \text{ g} \end{array}$$

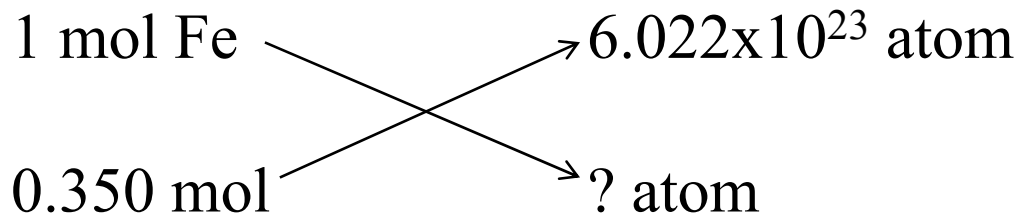
$$1 \cdot 100 = 27 \cdot x \Rightarrow x = 3.70 \text{ mol}$$

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol CO}_2 & \searrow & 44 \text{ g} \\ & \nearrow & \\ ? \text{ mol} & \nearrow & 35.5 \text{ g} \end{array}$$

$$1 \cdot 35.5 = 44 \cdot x \Rightarrow x = 0.807 \text{ mol}$$

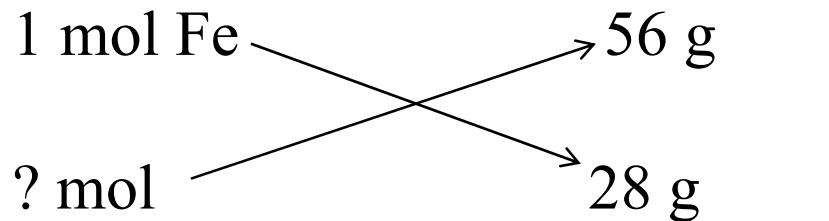
Madde ağırlığı ile mol arasındaki ilişkiye benzer bir ilişki madde miktarı veya mol ile atom veya molekül sayısı arasında da vardır.

Örneğin, 0.35 mol Fe içerisinde kaç adet demir atomu bulunur?

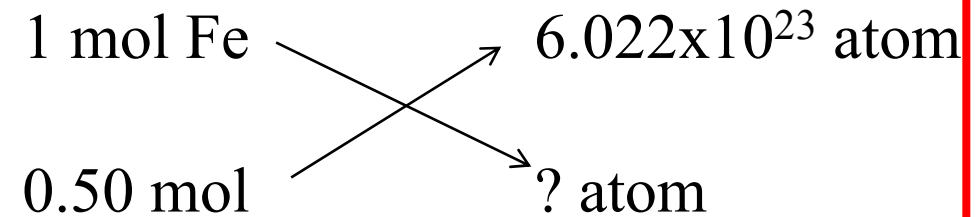


$$1 \cdot x = 0.350 \cdot 6.022 \times 10^{23} \Rightarrow x = 2.11 \times 10^{23} \text{ atom}$$

Örneğin, 28 g Fe içerisinde kaç adet demir atomu bulunur?

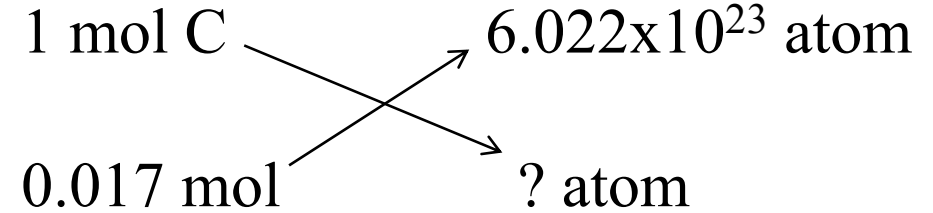
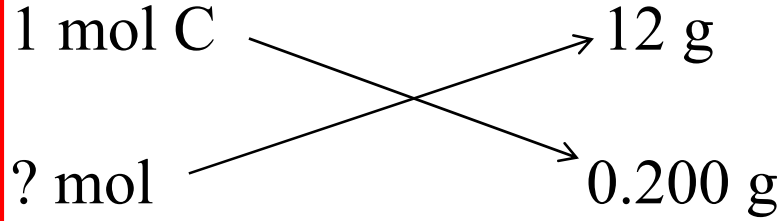


$$1 \cdot 28 = 56 \cdot x \Rightarrow x = 0.50 \text{ mol}$$



$$1 \cdot x = 0.50 \cdot 6.022 \times 10^{23} \Rightarrow x = 3.011 \times 10^{23} \text{ atom}$$

Örneğin, 1 kırat elmas içerisinde kaç adet karbon atomu vardır?
1 kırat 0.200 g, C: 12 g/atg, elmas saf C elementinden oluşmuştur.



$$1 \cdot 0.200 = 12 \cdot x \Rightarrow x = 0.017 \text{ mol}$$

$$1 \cdot x = 0.017 \cdot 6.022 \times 10^{23} \Rightarrow x = 1.024 \times 10^{22} \text{ atom bulunur.}$$

Bir mol Avogadro sayısı kadar birim içerir. Buna göre bir mol molekül Avogadro sayısı kadar molekülden oluşur. Bir moleküler bileşiğin **molekül ağırlığı** molekülü oluşturan atomların ağırlıklarının toplamına eşittir.

Moleküler maddelerin, molekül ağırlığına eşit miktarına 1 mol molekül denir ve 1 mol molekül Avogadro sayısı kadar molekül içerir.

Örneğin, H₂O nun molekül ağırlığı 18 g dır (2x1+16), 18 g H₂O 1 moldur ve 18 g H₂O ise 6.022x10²³ adet H₂O molekülü içerir.

Yumurta için birim faktörü	Demir için birim faktörü
12 yumurta	6.022×10^{23} Fe atomu
1 düzine yumurta	1 mol Fe atomu
12 yumurta	6.022×10^{23} Fe atomu
750 g yumurta	56 g Fe

Mol terimi, atomlar, moleküller, iyonlar, iyon toplulukları, elektronlar, yükler, kimyasal bağlar gibi çok değişik türlere uygulanabilir. Bu nedenle mol kavramı kullanıldığında ölçülen türün ne olduğunun kesinlikle belirtilmesi gerekmektedir.

1 mol H atomu 6.02×10^{23} adet H atomu içerir ve 1 g kütleye sahiptir.

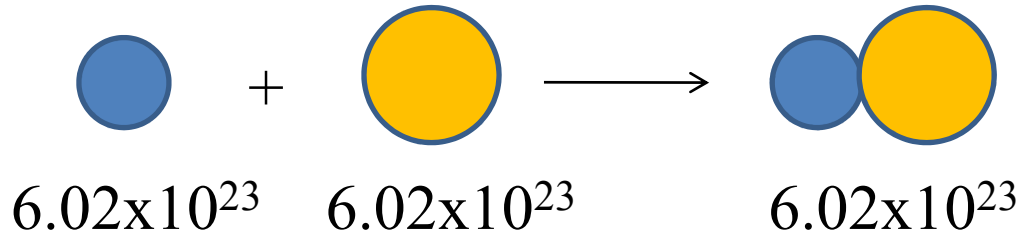
1 mol H₂ molekülü 6.02×10^{23} adet H₂ molekülü içerir ve 2 g kütleye sahiptir.

Ayrıca, 1 mol H₂ molekülünde $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ adet H atomu bulunur.

İyonik maddelerde durum nasıldır? “1 mol NaCl” denildiğinde 6.02×10^{23} adet NaCl formül birimi içeren miktardan bahsedilir. Çünkü **NaCl molekülü yoktur.**

1 mol veya 1 formül gram NaCl, bir Na (23 g) ve bir Cl (35.5) atomunun ağırlığının toplamı olan 58.5 g dır.

Ayrıca 1 mol NaCl içerisinde 6.02×10^{23} adet Na^+ iyonu ve 6.02×10^{23} adet Cl^- iyonu bulunur.



1 mol veya 1 formül gram BaCl_2 , bir Ba (137 g) ve iki Cl (35.5) atomunun ağırlığının toplamı olan 208 g dır.

Ayrıca 1 mol BaCl_2 içerisinde 6.02×10^{23} adet Ba^{2+} iyonu ve $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ adet Cl^- iyonu bulunur.

Bileşikleri kimyasal formüllerle göstermek için, o bileşiği oluşturan atomların cinslerinin ve sayılarının tam olarak bilinmesi gereklidir. Bir bileşiğin kavramsal olarak iki çeşit kimyasal formülü olabilir.

1- **En basit formül:** bir bileşiğin sadece içerisinde bulunan atomların basit sayısal oranlarını gösteren formülüne en basit formül denir (HO, CH, NH₂).

2- **Molekül formülü:** bir bileşiği oluşturan atomların bileşikteki gerçek sayılarını gösteren formülüne **gerçek formül** veya **molekül formülü** adı verilir (H₂O₂, C₆H₆, N₂H₄).

Bazı moleküler bileşiklerin molekül ve en basit formülleri birbirinin aynısıdır (H₂O, NH₃, CO₂, H₂SO₄). Fakat kovalent bağlı çoğu molekülün molekül formülü ve en basit formülü birbirinden farklıdır.

EBF

NH₂

BNH₂

CH

MF

N₂H₄

B₃N₃H₆

C₆H₆

En basit formüldeki atom sayılarının, molekül formülündeki sayıların ortak bir bölenle sadeleştirilerek en küçük tam sayıya indirgenmesiyle bulunduğuna dikkat ediniz.

İyonik bileşikler ise moleküllerden oluşmazlar ve genellikle iyonik bir bileşiğin formülü bileşikteki iyonların basit oranına dayanır. Örneğin Na_3PO_4 bileşğinde 3 adet Na^+ iyonuna karşılık 1 adet PO_4^{3-} iyonu bulunmaktadır. Bu tür iyonik formüller gerçek formüller olarak da isimlendirilebilirler.

Bir bileşiğin en basit formülü, ancak bileşiğin kimyasal analiz verilerinden elde edilebilir. Kimyasal analiz bileşiği oluşturan elementlerin kütle oranlarını verir.

Fakat kimyasal formüllerde bileşiği oluşturan atomların sayısı veya bunun yerine her bir atomun bileşikteki mol sayısı **kullanıldığından** her bir elementin kütlesinden mol sayılarının hesaplanması gereklidir. **Mol cinsinden elde edilen en basit tam sayısal oran, o bileşiğin en basit formülünü verecektir.**

Bir bileşiği molekül formülü ise molekül ağırlığından faydalanılarak hesaplanır. Başka bir yöntemle bulunan molekül ağırlığı aşağıda verilen formülde yerine yazılıp bileşiğin molekül formülü hesaplamada kullanılacak olan n sayısı elde edilir.

$$(EBF)_n = MF$$

veya

$$(EBF \text{ ağırlığı})_n = (MF \text{ ağırlığı})$$

$$n = (MF \text{ ağırlığı}) / (EBF \text{ ağırlığı})$$

Örnek: %43.6 P ve %56.4 O içeren bir bileşiğin en basit formülü nedir? P: 31 g/atg, O: 16 g/atg.

Bu bileşikten temel olarak 100 g alındığında,

43.6 g P ve 56.4 g O alınmış olur.

43.6 g P kaç moldur? 56.4 g O kaç moldur?

$$\text{mol P} = 43.6 \text{ g} / 31 \text{ g mol}^{-1} = 1.41 \text{ mol}$$

$$\text{mol O} = 56.4 \text{ g} / 16 \text{ g mol}^{-1} = 3.53 \text{ mol}$$

Her iki mol sayısı en küçük olan 1.41 sayısına bölünür.

$$\text{P için } \frac{1.41}{1.41} = 1.00 \quad \text{O için } \frac{3.53}{1.41} = 2.50$$

$\text{PO}_{2.5}$ şeklinde buçuklu formül olamaz. Bu nedenle iki sayının birleştiği tam sayı P_2O_5 olacaktır. O halde en basit formülü P_2O_5 dir.

Örnek: Kahve, çay ve kakao içerisinde bulunan kafein merkezi sinir sistemi için uyarıcıdır. 1.261 g saf kafein elementel analiz cihazında oksijensiz ortamda yakılmış ve 0.624 g karbon, 0.065 g H, 0.364 g N ve 0.208 g O içerdiği gözlenmiştir. Yakma işleminden sonra hiç madde artmadığına göre, kafeinin en basit formülünü bulunuz.

Bu soruda verilen bazı ip uçlarına dikkat etmek gerekir. Bunlardan birincisi maddenin oksijensiz ortamda yakılması, ikincisi ise yakma sonunda artık madde kalmadığıdır.

Ayrıca sonuçlar % cinsinden verilseydi, çözüm daha kolayca yapılabilirdi, fakat her bir bileşenin mol sayısı verilen kütlelerden de kolayca hesaplanabilir.

$$\text{mol C} = 0.624 \text{ g} / 12 \text{ g mol}^{-1} = 0.052 \text{ mol}$$

$$\text{mol H} = 0.065 \text{ g} / 1 \text{ g mol}^{-1} = 0.065 \text{ mol}$$

$$\text{mol N} = 0.364 \text{ g} / 14 \text{ g mol}^{-1} = 0.026 \text{ mol}$$

$$\text{mol O} = 0.208 \text{ g} / 16 \text{ g mol}^{-1} = 0.013 \text{ mol}$$

$$\text{C için } \frac{0.052}{0.013} = 4 \quad \text{H için } \frac{0.065}{0.013} = 5 \quad \text{N için } \frac{0.026}{0.013} = 2 \quad \text{O için } \frac{0.013}{0.013} = 1$$

Bu sonuçlara göre kafeinin en basit formülü,



olarak bulunur.

Örnek: En basit formülü P_2O_5 olan fosfor pentaoksitin molekül ağırlığı 284 olarak bulunmuştur. Fosfor pentaoksitin molekül formülünü bulunuz. P:31, O: 16.

$$(\text{EBF ağırlığı})_n = (\text{MF ağırlığı})$$

$$n = (\text{MF ağırlığı}) / (\text{EBF ağırlığı})$$

$$(2 \times 31 + 5 \times 16) \times n = 284 \Rightarrow (142) \times n = 284$$

$$n = 284 / 142 = 2$$



Örnek: Kafeinin molekül ağırlığı 194 olarak bulunmuştur. Kafeinin EBF $C_4H_5N_2O$ oluşuna göre molekül formülünü bulunuz.

$$(\text{EBF ağırlığı})_n = (\text{MF ağırlığı})$$

$$(4 \times 12 + 5 \times 1 + 2 \times 14 + 16) \times n = 194 \Rightarrow 97 \times n = 194 \Rightarrow n = 2$$



Örnek: Glikozun %40.0 C, % 6.73 H ve % 53.3 O içerdiği ve molekül ağırlığının 180.2 olduğu bulunmuştur. Glikozun EBF ve MF bulunuz.

Bu soruda farklı bir yol izleyelim. Bileşiğin 180.2 gramı içerisinde her bir elementin miktarları bulunursa, 1 mol glikoz içerisindeki miktarlar bulunur.

$$\begin{array}{r} 100 \text{ g içerisinde} \\ 180 \text{ g içerisinde} \end{array} \begin{array}{l} \nearrow 40.0 \text{ g C} \\ \searrow \\ \nearrow \\ \searrow ? \text{ g C} \end{array}$$

$$100 \cdot x = 180 \cdot 40.0 \Rightarrow x = \mathbf{72 \text{ g C}}$$

$$\begin{array}{r} 100 \text{ g içerisinde} \\ 180 \text{ g içerisinde} \end{array} \begin{array}{l} \nearrow 6.73 \text{ g H} \\ \searrow \\ \nearrow \\ \searrow ? \text{ g H} \end{array}$$

$$100 \cdot x = 180 \cdot 6.73 \Rightarrow x = \mathbf{12.1 \text{ g H}}$$

$$\begin{array}{r} 100 \text{ g içerisinde} \\ 180 \text{ g içerisinde} \end{array} \begin{array}{l} \nearrow 53.3 \text{ g O} \\ \searrow \\ \nearrow \\ \searrow ? \text{ g O} \end{array}$$

$$100 \cdot x = 180 \cdot 53.3 \Rightarrow x = \mathbf{96 \text{ g O}}$$

Bu miktarlar mole çevrilirse, 1 mol glikoz içerisindeki her bir elementin mol sayısı bulunur. Buna göre,

$$\text{mol C} = 72 \text{ g} / 12 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{6 \text{ mol C}}$$

$$\text{mol H} = 12 \text{ g} / 1 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{12 \text{ mol H}}$$

$$\text{mol O} = 96 \text{ g} / 16 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{6 \text{ mol O}}$$

Demek ki glikozun molekül formülü $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ olacaktır. En basit formülü ise, CH_2O olacaktır.

Neden böyle bir yol izledik?

Daha önce kullanılan yol da kullanılabilir. Böyle yapıldığında En basit formül ($\text{C}_{3.333}\text{H}_{6.73}\text{O}_{3.31}$) veya (CH_2O) bulunur. Molekül formülü yine (EBF) $\times n = \text{MF}$ Buradan $(30) \times n = 180 \Rightarrow n = 6$ bulunur.

Bir bileşğin yüzde bileşimi o bileşğin formülünden kolayca hesaplanabilir.

Bir bileşğin formülündeki sayılar her bir elementin bileşikteki mol sayısını gösterir. Bu bilgilerden ve elementlerin atom ağırlıklarından yararlanarak bileşğin bir molünde bulunan elementlerin her birinin gram cinsinden miktarları bulunabilir.

Bu miktardan yararlanarak da elementin bileşik içerisindeki % miktarı hesaplanabilir.

Örneğin, NaCl bileşiği içerisindeki Na ve Cl yüzdesini hesaplayınız.

Bileşğin ağırlığı $23 + 35.5 = 58.5$ g dır.

58.5 g içerisinde 23 g Na
100 g içerisinde $?$ g

$$58.5 \cdot x = 100 \cdot 23 \Rightarrow \%39.32 \text{ Na}$$

58.5 g içerisinde 35.5 g Cl
100 g içerisinde $?$ g

$$58.5 \cdot x = 100 \cdot 35.5 \Rightarrow \%60.68 \text{ Cl}$$

Örneğin, Fe_2O_3 bileşiği içerisindeki Fe ve O yüzdesini hesaplayınız.

Bileşiğin ağırlığı $2 \times 56 + 3 \times 16 = 160$ g/Fg dır.

160 g içerisinde \nearrow 112 g Fe
100 g içerisinde \searrow ? g

$$160 \cdot x = 100 \cdot 112 \Rightarrow \% 70 \text{ Fe}$$

160 g içerisinde \nearrow 48 g O
100 g içerisinde \searrow ? g

$$160 \cdot x = 100 \cdot 48 \Rightarrow \%30 \text{ O}$$

Örneğin, Cr_2O_3 bileşiği içerisindeki Cr ve O yüzdesini hesaplayınız.

Bileşiğin ağırlığı $2 \times 52 + 3 \times 16 = 152$ g/Fg dır.

152 g içerisinde \nearrow 104 g Cr
100 g içerisinde \searrow ? g

$$152 \cdot x = 100 \cdot 104 \Rightarrow \% 68.4 \text{ Cr}$$

152 g içerisinde \nearrow 48 g O
100 g içerisinde \searrow ? g

$$152 \cdot x = 100 \cdot 48 \Rightarrow \%31.6 \text{ O}$$

Örnek: Nikotin C, H ve N içeren bir bileşiktir. 1.215 g nikotin oksijen akımında yakılmış ve yanma ürünleri olarak 3.300 g CO₂, 0.945 g H₂O ve 0.21 g N₂ elde edilmiştir. Nikotinin % bileşimi nedir?

Bu bileşiklerden C, H ve N miktarını bulmamız gerekmektedir.

44 g CO₂ içerisinde 12 g C
3.30 g içerisinde ? g

18 g H₂O içerisinde 2 g H
0.945 g içerisinde ? g

$$44 \cdot x = 3.30 \cdot 12 \Rightarrow 0.90 \text{ g C}$$

$$18 \cdot x = 0.945 \cdot 2 \Rightarrow 0.105 \text{ g H}$$

Örnek içerisindeki azot yanma sırasında bir değişikliğe uğramaz ve N₂ olarak açığa çıkar. Bu yüzden örnek içerisinde 0.21 g N vardır.

$$\%C = \frac{0.90}{1.215} \times 100 = \%74.1 \text{ C}$$

$$\%H = \frac{0.105}{1.215} \times 100 = \%8.6 \text{ H}$$

$$\%N = \frac{0.21}{1.215} \times 100 = \%17.3 \text{ N}$$

Problemlerin çözümünde kimyasal formüllerdeki oranlar kullanılır.

Örneğin, gümüş sülfür (Ag_2S) bir gümüş filizi olan arjantit mineralinde bulunur. %70 Ag_2S içeren bir filizin 250 gramından teorik olarak kaç gram gümüş elde edilebilir.

100 g filiz içerisinde \rightarrow 70 g Ag_2S
250 g içerisinde \rightarrow ? g

$$100 \cdot x = 250 \cdot 70 \Rightarrow 175 \text{ g } \mathbf{Ag}_2\mathbf{S}$$

Ag_2S ağırlığı $2 \times 108 + 32 = 248 \text{ g/Fg}$ dır.

248 g Ag_2S den \rightarrow 216 g Ag elde edilirse
175 g dan \rightarrow ? g elde edilir.

$$248 \cdot x = 175 \cdot 216 \Rightarrow 152.4 \text{ g } \mathbf{Ag} \text{ elde edilebilir.}$$



Kimyasal tepkimeler

Odunun yanması, üzüm suyunun sirke veya şarap olması, ekmeğin küflenmesi, demirin paslanması **kimyasal tepkimelere** örnektir. **Bir veya birkaç maddenin, yeni madde veya maddelere dönüştüğü işlemlere kimyasal tepkime denir. Kimyasal eşitlikler ise tepkimelerin, element ve bileşiklerin simge ve formülleri yardımıyla basit olarak gösterilmesidir. Tepkimeye giren maddeler eşitliğin sol tarafına, tepkime sonucu oluşan ürünler ise eşitliğin sağ tarafında gösterilir. Cebirsel işlemlerde kullanılan eşittir işareti yerine ise bir ok kullanılır.**

Bir tepkimenin oluşup oluşmadığına genellikle bazı kanıtlara bakılarak karar verilir, bu kanıtlar bir renk oluşumu, rengin kaybolması veya rengin değişimi, çökelek oluşumu veya çökeleğin kaybolması, bir gaz çıkışının gözlenmesi, ısı salınması veya ısı soğurulmasıdır. Bazen bileşikler renksizdir, çökelek oluşmaz ve gaz çıkışı da olmaz. Böyle durumlarda bir tepkimenin olup olmadığına karar verebilmek için detaylı kimyasal analiz yapılması gerekir.

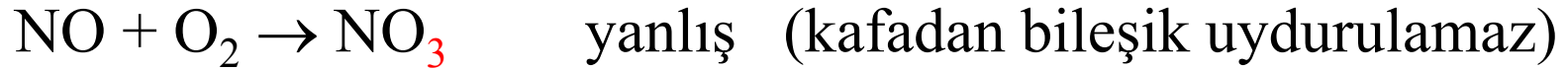
Her hangi bir kimyasal tepkime sırasında yoktan madde var olmaz ve var olan madde de yok olamaz. Bu nedenle **bir kimyasal tepkime sırasında reaksiyona giren maddelerin kütlesi, reaksiyondan çıkan maddelerin kütlesine eşit olmak zorundadır.** Diğer bir deyişle, reaksiyon sırasında kütle sabit kalmalı ve değişmemelidir. Buna **kütlenin korunumu kanunu** denir.

Bu nedenle, verilen **bir tepkime** kütlenin korunumu kanunu gereğince öncelikle **eşitlenmeli**, yani tepkime **denkleştirilmelidir.** Denkleşmiş bir tepkimeye **kimyasal eşitlik** adı verilir ve **denkleşmiş bir eşitlikte reaksiyona giren ve çıkan atomların sayıları birbirine eşit olmalıdır.**

Kimyasal eşitlikler, deneylerle doğruluğu kanıtlanmış sonuçları gösterirler, bu nedenle **çok bilinen tepkimelerin dışında tepkimelerin bir kısmı veya tamamı kafadan yazılamaz.** Kağıt üzerinde mümkün görünen bir tepkime, laboratuvarda gerçekleşen tepkimeyle farklı olacaktır.

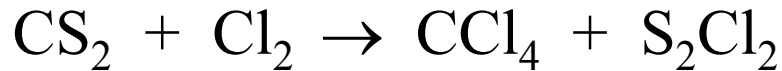


veya



Bir kimyasal eşitliği yazarken ilk adım reaksiyona girenler ve reaksiyon sonucu oluşan ürünleri tam olarak belirlemektir.

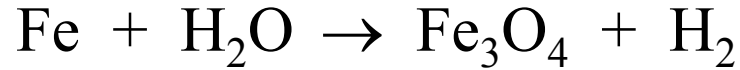
Örneğin, CS_2 (karbon disülfür), Cl_2 (klor gazı) ile reaksiyona girerek CCl_4 (karbon tetraklorür) ve S_2Cl_2 (disülfür diklorür) oluşturur.



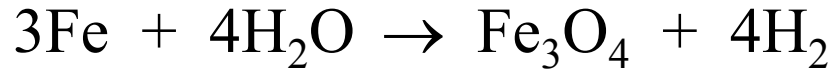
Bu eşitlik denk değildir ve kütle korunumu kanununa uymaz. Üzerinde her hangi bir kimyasal işlem yapmadan önce tepkime mutlaka denkleştirilmelidir.



Basit kimyasal eşitlikler denetleme (deneme yanılma) yoluyla denkleştirilebilir. Daha karmaşık denklemlerin denkleştirilmesine daha ilerde geri dönecektir. Örneğin, **Sıcak Fe üzerinden H₂O buharı geçirilerek Fe₃O₄ ve H₂ gazı elde edilir** (su gazı denir).

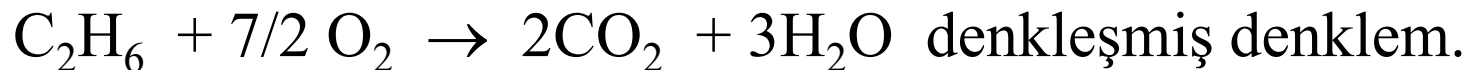
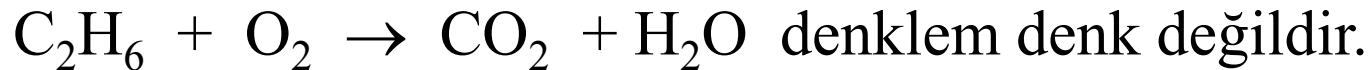


Bu denklem üzerinde her hangi bir kimyasal işlem yapabilmek için denklemin denkleştirilmesi gerekir.

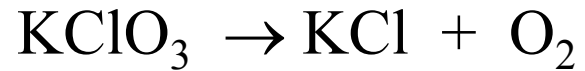
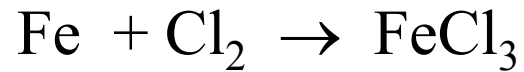
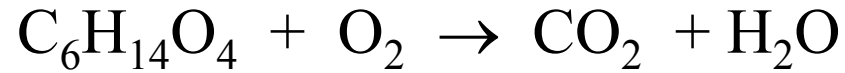
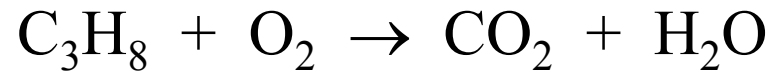
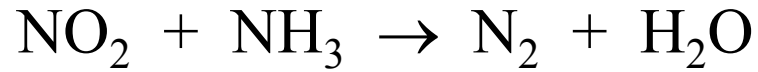
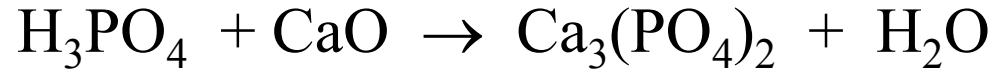
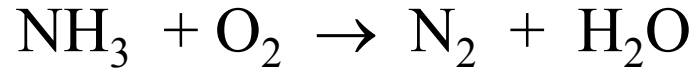


Denklem denetleme yoluyla denkleştirilmiştir.

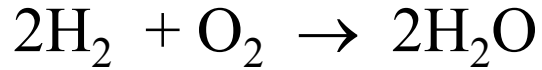
Benzer şekilde **etan (C₂H₆) gazının oksijenle tam yanmasına ilişkin denklem** aşağıdaki gibi yazılabilir.



Aşağıda verilen eşitlikleri denetleme yoluyla denkleştiriniz.



Kimyasal tepkimelere ilişkin problemler çözülrken öncelikle tepkime denklemi yazılır ve denkleştirilir. Bu denkleştirilmiş denklem üzerinde kimyasal (stokiyometrik) hesaplamalar yapılır.



eşitliğindeki ilişkilileri gözden geçirelim. Bu tepkimede,

2 molekül H_2 1 molekül O_2 tepkimeye girip 2 molekül H_2O oluşturur.

veya

2 mol H_2 gazı 1 mol O_2 gazıyla tepkimeye girip 2 mol H_2O oluşturur.

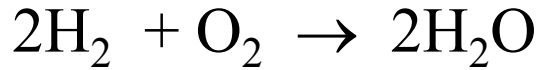
veya

4 g H_2 gazı 32 g O_2 gazıyla tepkimeye girip 36 g H_2O oluşturur.

veya

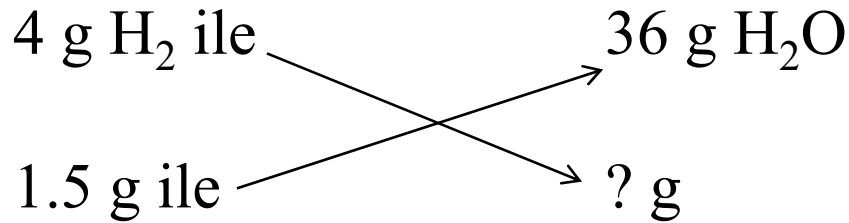
2 mol H_2 gazı 1 mol O_2 gazıyla tepkimeye girip 36 g H_2O oluşturur.

Örnek: 1.5 g H₂ gazı oksijenle reaksiyona girdiğinde a) kaç gram su oluşur, b) kaç gram oksijen harcanır, c) problemi bir de moller üzerinden çözüünüz. Dekleşmiş tepkime aşağıda verilmiştir.

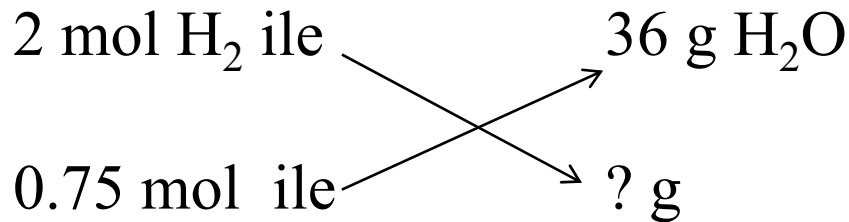


$$1.5 \text{ g H}_2 \rightarrow 1.5/2 = 0.75 \text{ mol}$$

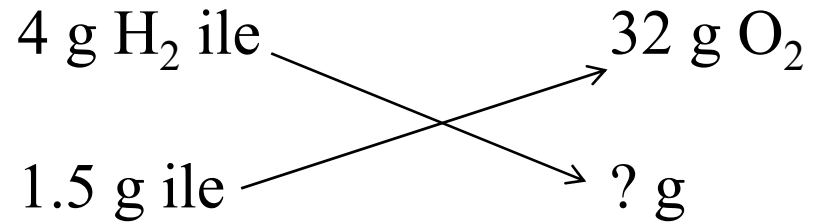
Denkleşmiş eşitliği kullanarak,



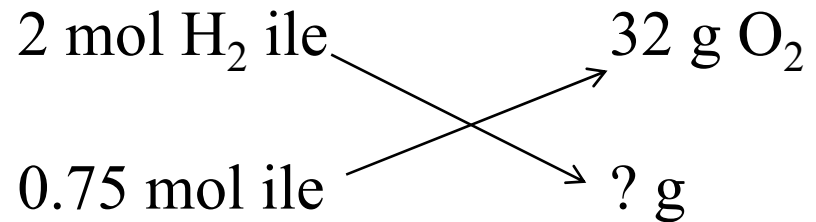
$$4 \cdot x = 1.5 \cdot 36 \Rightarrow 13.5 \text{ g H}_2\text{O}$$



$$2 \cdot x = 0.75 \cdot 36 \Rightarrow 13.5 \text{ g H}_2\text{O}$$

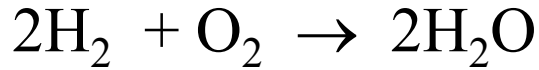


$$4 \cdot x = 1.5 \cdot 32 \Rightarrow 12 \text{ g O}_2$$



$$2 \cdot x = 0.75 \cdot 32 \Rightarrow 12 \text{ g O}_2$$

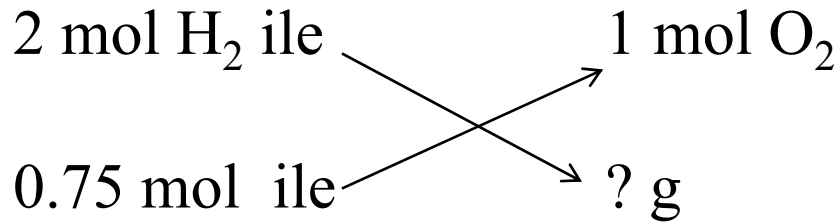
Örnek: 1.5 g H₂ gazı 8.0 g oksijen ile reaksiyona girdiğinde a) kaç gram su oluşur, b) hangi maddeden ne kadar artar. Dekleşmiş tepkime aşağıda verilmiştir.



$$1.5 \text{ g H}_2 \rightarrow 1.5/2 = 0.75 \text{ mol}$$

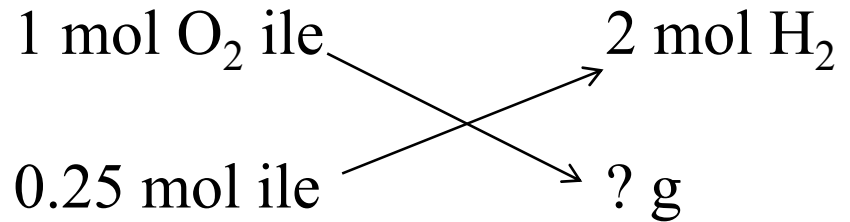
$$8.0 \text{ g O}_2 \rightarrow 8.0/32 = 0.25 \text{ mol}$$

İki madde için miktarlar verildiğine göre, öncelikle bu iki miktarın hangisinin en az olduğu bulunmalıdır. Az olan reaksiyonda tamamıyla harcanacağı için işlem bu madde üzerinden yapılmalıdır. Fazla olan maddenin tamamı reaksiyona girmeyecek ve artacaktır.



$$2 \cdot x = 0.75 \cdot 1 \Rightarrow 0.375 \text{ mol O}_2$$

Oksijen eksiktir.



$$1 \cdot x = 0.25 \cdot 2 \Rightarrow 0.5 \text{ mol H}_2$$

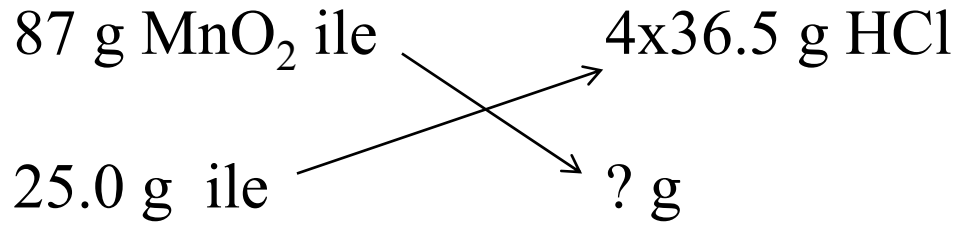
Hidrojen fazladır.

$$0.75 - 0.5 = 0.25 \text{ mol H}_2 \text{ artar.} \quad \text{Oluşan su} = (0.25 \times 18)/1 = 4.5 \text{ g su}$$

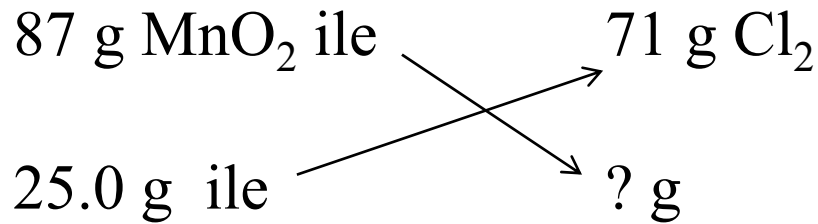
Örnek: Klor gazı aşağıda verilen tepkimeden elde edilebilir. Mn: 55, O:16, Cl: 35.5, H:1.



- a) 25.0 g MnO₂ ile kaç g HCl tepkimeye girmelidir?
b) Bu tepkimeden kaç g Cl₂ gazı elde edilir?



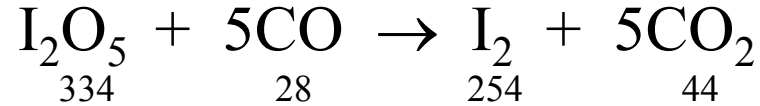
$$87 \cdot x = (4 \times 36.5) \cdot 25 \Rightarrow 41.95 \text{ g HCl}$$



$$87 \cdot x = 71 \cdot 25 \Rightarrow 20.4 \text{ g Cl}_2$$

Bu soru verilen MnO₂ miktarı mole çevrilip, sonra da moller üzerinden yapılabilirdi. Fakat, bulunan sonuç değişmezdi.

Örnek: Baca gazı içerisinde bulunan CO miktarı aşağıda verilen tepkime kullanılarak belirlenir. I: 127, C: 12, O: 16.



Bir gaz örneğinin analizinde 0.192 g I₂ açığa çıktığına göre örnek içerisinde kaç g CO vardır.

Problem kütleler üzerinden kolayca çözülebilir.

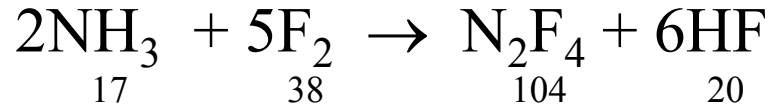
254 g I₂ çıktığında \rightarrow 5x28 g CO girerse
0.192 g çıktığında \rightarrow ? g girmiştir

$$254 \cdot x = 0.192 \cdot (5 \times 28) \Rightarrow 0.106 \text{ g CO}$$

$$0.192 \text{ g I}_2 \rightarrow 0.192/254 = 7.6 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\text{g CO} = ((5 \times 28) \cdot 7.6 \times 10^{-4}) / 1 = 0.106 \text{ g CO bulunur.}$$

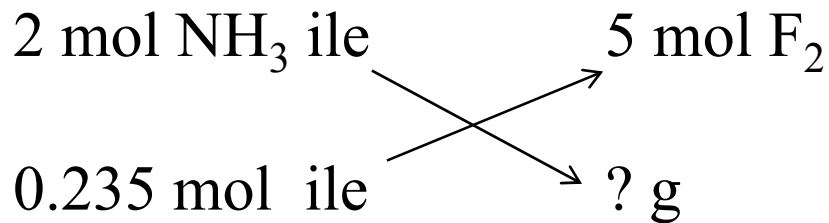
Örnek: 4.0 g NH₃ gazı 14.0 g F₂ gazı reaksiyona girdiğinde teorik olarak kaç gram N₂F₄ elde edilebilir. Tepkime aşağıda verilmiştir.



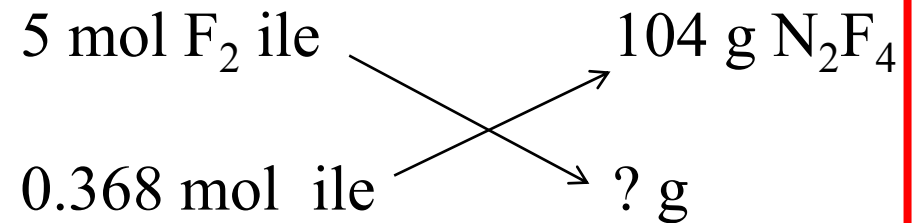
$$4 \text{ g NH}_3 \rightarrow 4/17 = 0.235 \text{ mol}$$

$$14 \text{ g F}_2 \rightarrow 14/38 = 0.368 \text{ mol}$$

İki madde için miktarlar verildiğine göre, öncelikle bu iki miktarın hangisinin en az olduğu bulunmalıdır. Az olan reaksiyonda tamamıyla harcanacağı için işlem bu madde üzerinden yapılmalıdır. Fazla olan maddenin tamamı reaksiyona girmeyecek ve artacaktır.



$$2. x = 0.235 \cdot 5 \Rightarrow 0.588 \text{ mol F}_2$$



$$5. x = 0.368 \cdot 104 \Rightarrow 7.65 \text{ g N}_2\text{F}_4$$

Flor gazı eksiktir. O halde işlem F₂ üzerinden yapılmalıdır.

Genellikle bir tepkimenin yürütülmesi sonucu elde edilen ürün miktarı, reaksiyon denklemiyle öngörülen teorik değerden daha azdır. Bunun nedeni, tepkimenin tam gerçekleştirilememesi, yan ürün oluşumu, sıcaklık, basınç uygunsuzluğu vb. bir çok deneysel faktöre bağlı olabilir. **%Verim, kavramsal olarak, olması gereken teorik miktara ne derece yaklaşıldığını gösteren bir ölçüdür.**

$$\%Verim = \frac{\text{Elde edilen miktar}}{\text{Teorik miktar}} \times 100$$

% Verim nadiren 100 bulunur. Genellikle insanın yönettiği olaylarda verim 100 değerinden küçük bulunur.

Örnek: Yukarıda verilen örnekteki reaksiyon uygulanmış ve deneysel N_2F_4 miktarı 4.80 g olarak bulunmuş olsaydı, %Verim ne olurdu?

$$\%Verim = \frac{4.80 \text{ g}}{7.65 \text{ g}} \times 100 = \%62.7$$

Isı Ölçümleri

Kimyasal bir tepkime sırasında enerji soğurulur veya dışarıya enerji salınır. **Enerji değişimi ile ilgili hesaplamalar stokiyometrik hesaplamalar kadar önemlidir** ve kimyacının diğer konular gibi bu konuyu da çok iyi anlaması gerekir. Kimyasal ve fiziksel değişimler sırasında meydana gelen ısı değişimlerini inceleyen kimya dalına **termokimya** denir.

Isı enerjisi ve diğer tüm enerji türlerinin SI birim sistemindeki birimi **joule** dur. **Bir maddenin özgül ısı bu maddenin 1 gramının sıcaklığını 1°C yükseltmek için verilmesi gereken ısı miktarıdır.** Geçmişte ısı birimi olarak kalori kullanılmıştır. **1 kalori, 1 gram suyun sıcaklığını 14.5°C sıcaklıktan 15.5°C sıcaklığa yükseltmek için gerekli ısı miktarıdır.** Günümüzde ısı birimi olarak joule kullanılmakla birlikte, bazı eski değerler kalori cinsinden verilmiştir.

$$1 \text{ kal} = 4.184 \text{ j eşitliği vardır.}$$

Ancak dikkat edilmesi gereken birkaç nokta vardır.

1- Joule ve kalori birimleri termokimyasal ölçümler için oldukça küçük birimler olduklarından bu değerler 1000 ile çarpılarak kj veya kkal olarak verilir ve kullanılırlar.

2- Uluslararası komiteler kalori yerine daha net ölçülebilen joule biriminin kullanılmasını önermektedirler.

Ayrıca kalori cinsinden verilen bir birim joule çevrilirken 4.184 j/kal değeriyle çarpılır. Eğer birim kkal olarak verilmiş ise kjoule birimine çevirirken 4.184 kj/kkal birimiyle çarpılır. Yani aynı çarpan kullanılır.

Suyun donma noktası ile kaynama noktası arasındaki herhangi bir sıcaklık aralığındaki **özgül ısı** 1.00 kal/g°C veya 4.18 j/g°C kabul edilmiştir.

Herhangi bir maddenin **ısı kapasitesi**, bu maddenin belirli bir kütlesinin sıcaklığını 1 °C yükseltmek için verilmesi gereken ısı miktarına denir. Bir maddenin **özgül ısı** ise, bu maddenin 1 gramının ısı kapasitesidir. Isı kapasitesi = kütle x özgül ısı eşitliğiyle hesaplanır.

Örneğin, suyun özgül ısısı $4.18 \text{ j/g}^\circ\text{C}$ olduğuna göre 500 g suyun ısı kapasitesi nedir. Yani, 500 g suyun sıcaklığını 1°C artırmak için verilmesi gereken enerji ne kadardır?

$$C = \text{kütle} \times \text{özgül ısı} \Rightarrow C = m \times C_{\text{su}}$$

$$C = 500 \text{ g} \times 4.18 \text{ j/g}^\circ\text{C} = 2090 \text{ j/}^\circ\text{C} = 2.09 \text{ kJ /}^\circ\text{C}$$

Bu örnek, m gram (500 g) suyun sıcaklığını 1°C artırmak için verilmesi gereken enerjiyi göstermektedir. 2°C artırmak için bunun 2 katı, $n^\circ\text{C}$ artırmak için n katı enerji gerekecektir. Bunu formülize etmek için,

$$Q = C \times (t_2 - t_1) \text{ eşitliği kullanılır.}$$

Formülde Q , örnek tarafından soğurulan ısıyı, C , örneğin ısı kapasitesini, t_1 örneğin ilk sıcaklığını, t_2 ise son sıcaklığını gösterir.

Örneğin, 500 g suyun sıcaklığını 20°C sıcaklıktan 25°C sıcaklığa çıkarmak için gereken ısı miktarı ne kadardır? Bu soru yukarıdaki formül kullanılarak, aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$Q = C \times (t_2 - t_1)$ eşitliği kullanılacaktır.

$$Q = m C_{su} (t_2 - t_1) \Rightarrow Q = 500 \text{ g} \times 4.18 \text{ J/g}^\circ\text{C} \times (25 - 20) ^\circ\text{C}$$

$Q = 10450 \text{ j}$ veya $Q = 10.45 \text{ kj}$ bulunur.

Örneğin, 500 g suyun sıcaklığını 25°C sıcaklıktan 20°C sıcaklığa soğutmak için alınması gereken ısı miktarı ne kadardır?

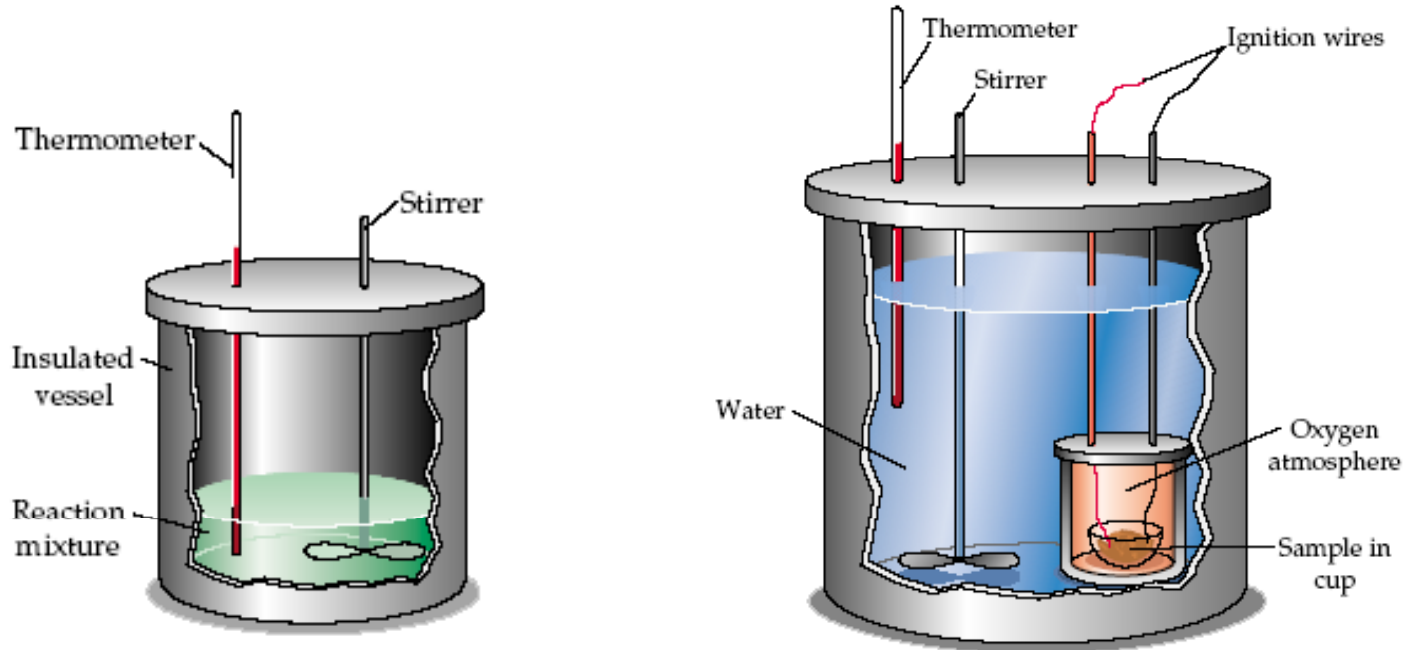
$Q = C \times (t_2 - t_1)$ eşitliği kullanılacaktır.

$$Q = m C_{su} (t_2 - t_1) \Rightarrow Q = 500 \text{ g} \times 4.18 \text{ J/g}^\circ\text{C} \times (20 - 25) ^\circ\text{C}$$

$Q = -10450 \text{ j}$ veya $Q = -10.45 \text{ kj}$ bulunur.

Görüldüğü gibi aynı miktar madde ve sıcaklık değerleri için, sisteme verilen ısı +, sistemden alınan ısı ise – işaretlidir.

Isı ölçümleri **kalorimetre** denilen bir aygıt kullanılarak yapılır. Bu ısı, eğer bir reaksiyonda açığa çıkan veya soğurulan ise yalıtılmış bir kap içerisinde reaksiyon yürütülerek reaksiyonun sıcaklığı izlenir. Bir maddenin yakıldıktan sonra açığa çıkardığı ısı miktarı ölçülecekse bu takdirde bir kalorimetre bombası kullanılır. Çok iyi yalıtılmış bu bomba içerisinde, su içerisine daldırılmış olan bir reaksiyon kabında madde oksijenle yakılır ve açığa çıkan ısı suyu ve kalorimetre kabının sıcaklığını artırır. Kalorimetre kabının toplam ısı kapasitesi biliniyorsa, suyun sıcaklığının artışından reaksiyon ısısı hesaplanır.



Örnek: Glikozun ($C_6H_{12}O_6$) yanmasıyla açığa çıkan ısı miktarını ölçmek için bomba türü bir kalorimetre kullanılmıştır. Glikozun yanma reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



İşlem sırasında 3 g glikoz tepkime kabına konulmuş ve basınçlı oksijenle doldurduktan sonra 1.20 kg su içeren kalorimetre kabı içerisinde yakılmıştır. Düzenegin (kalorimetre + su) başlangıçtaki sıcaklığı $19^\circ C$ iken, tepkime bittikten sonra kalorimetre ve içeriğinin sıcaklığı $25.5^\circ C$ olmuştur. Kalorimetrenin ısı kapasitesi $2.21 \text{ kJ}/^\circ C$ ve glikozun $M_A=180$ olduğuna göre 1 mol glikozun yanması sonucu açığa çıkan ısı (ΔH , tepkime ısısı) ne kadardır?

Glikozun yanması sonucu açığa çıkan reaksiyon ısısı kalorimetre içerisinde iki yerde harcanacaktır. 1- kalorimetreyi $19^\circ C$ sıcaklıktan $25.5^\circ C$ sıcaklığa çıkartacak, 2- kalorimetrenin içerisindeki suyu $19^\circ C$ sıcaklıktan $25.5^\circ C$ sıcaklığa çıkartacaktır.

$$Q = Q_{\text{kalorimetre}} + Q_{\text{su}}$$

$$Q_{\text{top}} = m C_{\text{cal}} (t_2 - t_1) + m C_{\text{su}} (t_2 - t_1)$$

$$Q_{\text{top}} = C (t_2 - t_1) + m C_{\text{su}} (t_2 - t_1)$$

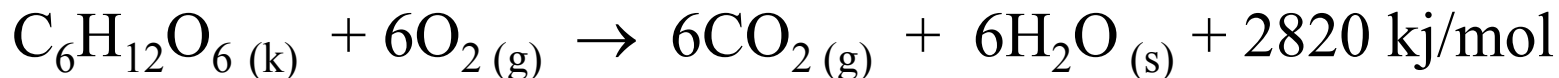
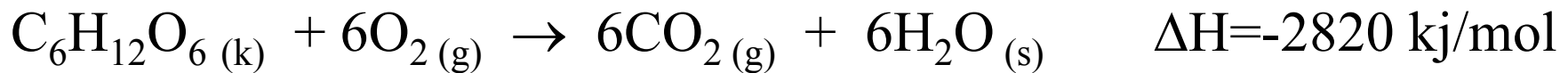
$$Q_{\text{top}} = 2210 \times (25.5 - 19) + 1200 \times 4.18 (25.5 - 19)$$

$$Q_{\text{top}} = 46969 \text{ j} \Rightarrow Q_{\text{top}} = 47.0 \text{ kj} \quad (3 \text{ g glikoz yanınca})$$

$$\begin{array}{ccc} 3 \text{ g glikoz ile} & \xrightarrow{\quad} & 47.0 \text{ kj ısı} \\ & \searrow & \\ 180 \text{ g} & & ? \text{ g} \end{array}$$

$$3 \cdot x = 180 \cdot 47.0 \Rightarrow 2820 \text{ kj/mol}$$

Glikozun sabit basınçta molar yanma ısısı, veya yanma tepkime entalpisi 2820 kj/mol olarak bulunur. Bu ısının işareti ne olmalıdır? Tepkime **ekzotermiktir**. Yani tepkime sonucu ısı açığa çıkar.



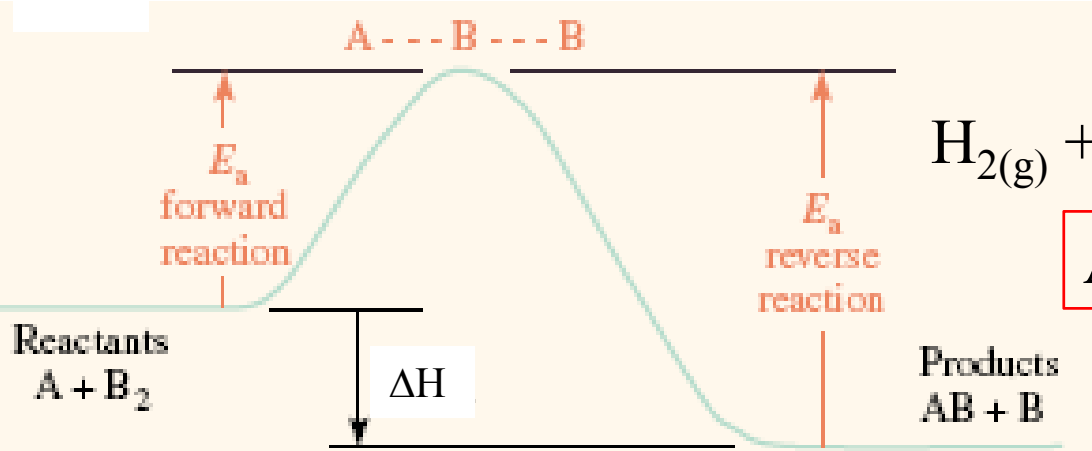
Kapalı kaptaki oluşmuş bir tepkimede bir gaz ürün oluyorsa, kabın basıncı artacaktır. Fakat eğer çoğu tepkimede olduğu gibi kap atmosfere açıksa, bir gaz ürün oluşsa dahi tepkime süresince basınç sabit kalacaktır.

Sabit basınç altında oluşan tepkimelerde açığa çıkan veya soğurulan ısıya **entalpi** adı verilir ve H simgesiyle gösterilir. Her saf maddenin bir **oluşum entalpisi** vardır. **Elementlerin oluşum entalpileri ise sıfırdır.**

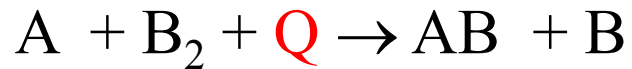
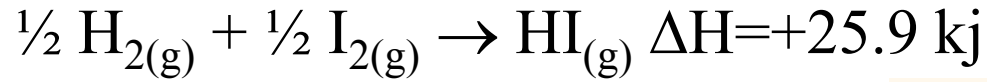
Tepkimeye giren maddeler ile bu tepkime sonucunda oluşan ürünlerin entalpileri arasındaki fark, toplam tepkimenin entalpisini (ΔH) verecektir.

$$\Delta H = H_{\text{ürünler}} - H_{\text{girdiler}}$$

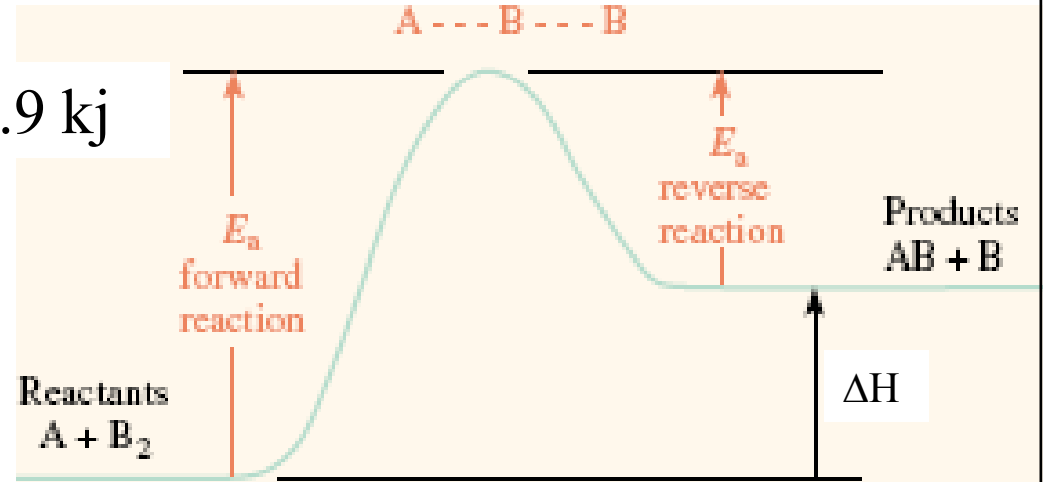
Tepkime sonucu ısı açığa çıkıyorsa, böyle tepkimelere **ekzotermik tepkimeler**, tepkime ısı alarak yürüyorsa, böyle tepkimelere de **endotermik tepkimeler** adı verilir.



Ekzotermik

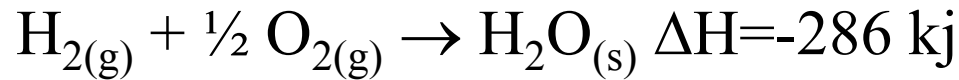


Endotermik



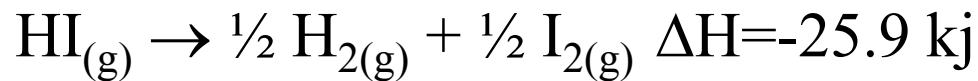
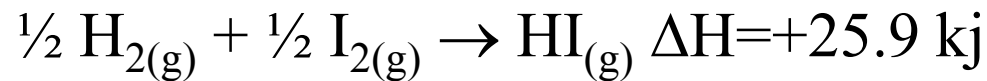
Tepkime entalpileri sıcaklığa ve basınca bağlıdır. Genellikle ΔH değerleri 25°C ve 1 atm için verilir. Aksi durumda belirtilmelidir.

İncelenen tepkimenin termokimyasal veriler kimyasal tepkimenin yanında ΔH değeri yazılarak belirtilir. Termokimyasal tepkimede yer alan her maddenin fiziksel hali mutlaka belirtilmelidir. Gazlar için (g), katılar için (k), sıvılar için (s) ve sulu çözeltiler için (aq) kısaltmaları kullanılır. Bu belirtmenin önemi aşağıdaki tepkimede gösterilmiştir.



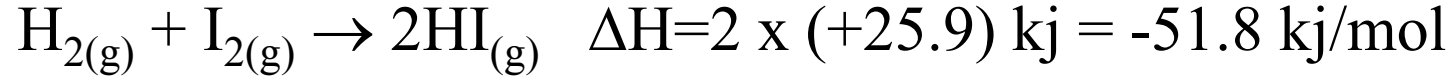
Burada buharlaşma ısısı kadar bir ısı kaybolmuş ve bu ısı sıvı suyu gaz hale getirmiştir.

Bir termokimyasal tepkime ters çevrilirse, ΔH değerinin işareti değişir.



Verilen ΔH değerleri sadece kullanılan katsayılar için geçerlidir.

Eğer bir termokimyasal eşitlik bir katsayıyla çarpılıyorsa, ΔH değeri de aynı katsayıyla çarpılır.



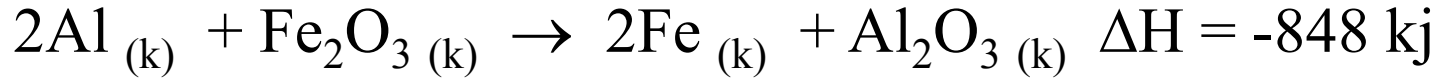
Benzer olarak eğer bir termokimyasal eşitlik bir sayıyla bölünüyorsa, ΔH değeri de aynı sayıya bölünür.

Söylenenler yeniden toparlanırsa,

1- Ekzotermik tepkimelerin entalpisi eksi (-), endotermik tepkimelerin entalpisi artı (+) işaretlidir. **2-** Aksi belirtilmemiş ise verilen ΔH değerleri yalnızca 25°C ve 1 atm içindir. **3-** Eşitlikte bulunan her maddenin fiziksel hali altında mutlaka belirtilmelidir. **4-** Eşitliklerdeki katsayılar her bir maddenin mol sayısını gösterir ve verilen ΔH değeri sadece bu katsayılar için geçerlidir. **5-** Kimyasal eşitliğin katsayıları bir faktörle çarpılır veya bölünürse, ΔH değeri de aynı faktörle çarpılır veya bölünür. **6-** Bir kimyasal eşitlik ters çevrildiğinde ΔH değerinin mutlak değeri değişmez, sadece işareti değişir.

Termokimyasal problemler basit stokiyometrik problemlerin çözümünde kullanılan yöntemler kullanılarak çözümler.

Örneğin, termit tepkimesi yüksek sıcaklık isteyen kaynakların yapılmasında kullanılan oldukça ekzotermik bir tepkimedir.



Bu reaksiyona göre 36.0 g Al, aşırı Fe₂O₃ ile tepkimeye girdiğinde ne kadar ısı açığa çıkar?

Reaksiyon denklemine göre 2 mol, yan, 2 x 27 g = 54 g Al reaksiyona girdiğinde 848 kJ ısı açığa çıkmaktadır. 36.0 g Al ile açığa çıkacak ısı basit bir orantıyla bulunabilir.

$$\begin{array}{ccc} 54 \text{ g Al ile} & \searrow & 848 \text{ kJ ısı} \\ & \swarrow & \\ 36 \text{ g} & & ? \text{ g} \end{array}$$

$$54 \cdot x = 36 \cdot 848 \Rightarrow -565.3 \text{ kJ ısı açığa çıkar}$$

Hess Yasası

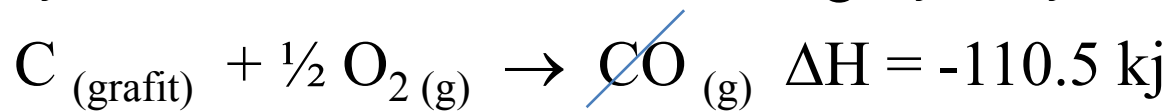
Termokimyasal hesaplamaların temeli 1840 yılında G.H. Hess tarafından deneysel olarak ortaya koyulan **sabit ısı yasasıdır** ve bu yasa **Hess yasası** adıyla bilinir.

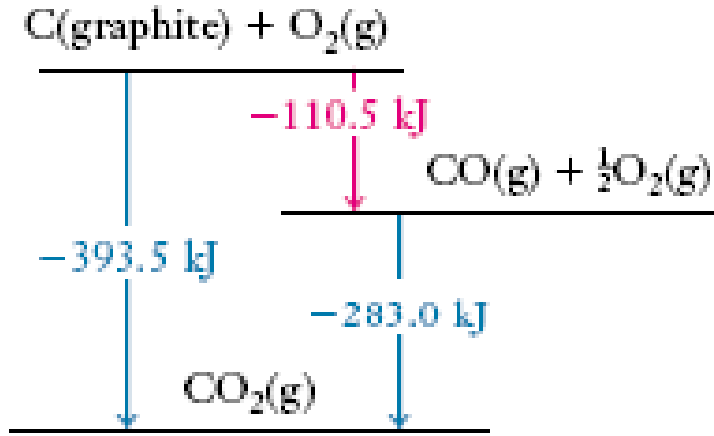
Hess yasası **tepkime kaç basamakta gerçekleşirse gerçekleşsin**, tepkimenin entalpi değişiminin (ΔH) sabit olduğunu belirtir. Bu sonuca göre kimyasal tepkimeler cebirsel işlemlerde kullanılabilirler.

Örneğin, grafit ile oksijen tepkimeye girerek CO_2 gazı oluşturur.

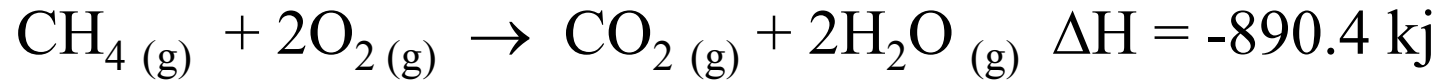
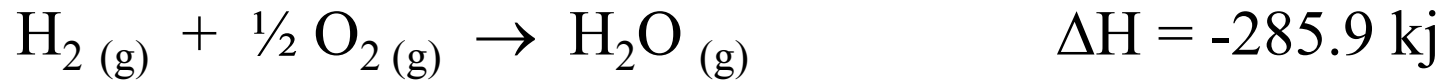
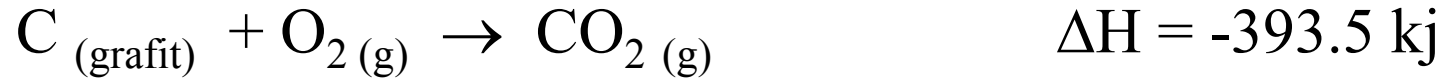


Bu dönüşüm iki basamak üzerinden de gerçekleşebilir.





Termokimyasal tepkimeler cebirsel olarak işlem görebildiğinden, başka tepkimeler için yapılan ölçümler kullanılarak da herhangi bir tepkimenin entalpisi bulunabilir. Örneğin aşağıdaki tepkimelerin bilindiğini varsayalım.

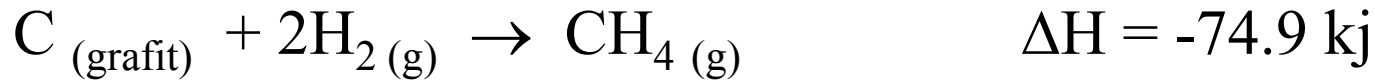
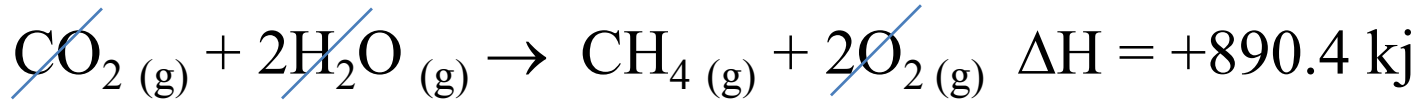
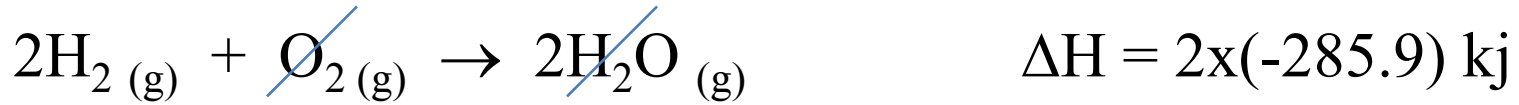
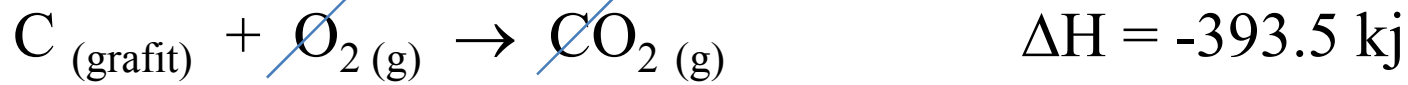


Bu tepkimeler yardımıyla entalpi değişimi doğrudan ölçülemeyen,

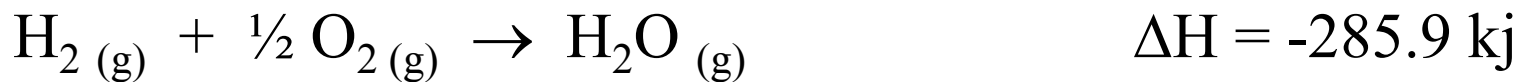
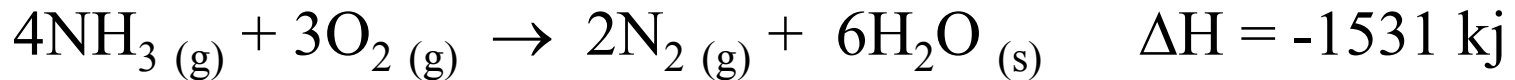


reaksiyonu için entalpi değişimi hesaplanabilir.

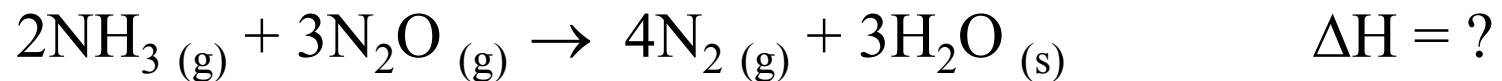
Bu reaksiyonun elde edilmesi için: 1. reaksiyon aynen bırakılır, 2. reaksiyon iki ile çarpılır ve 3. reaksiyon ters çevrilir ve tümü toplanır.



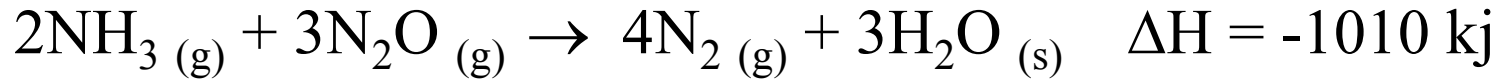
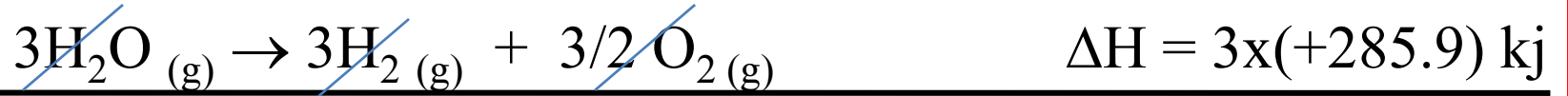
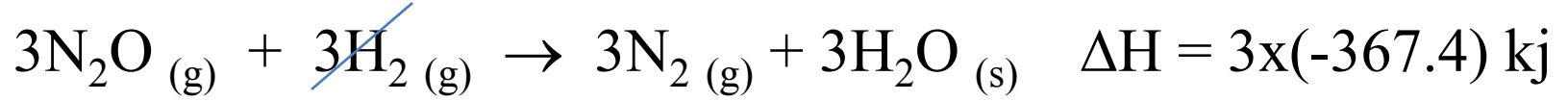
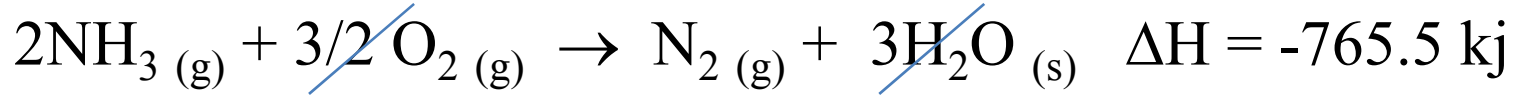
Örnek: Aşağıdaki termokimyasal eşitlikler verilmiştir.



Bu verilerden yararlanarak aşağıda verilen tepkimenin ΔH değerini bulunuz.



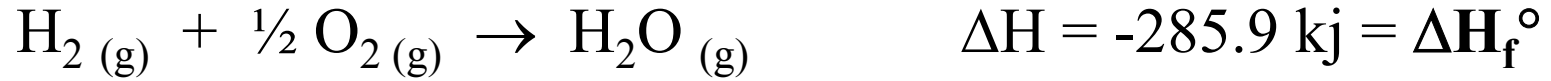
Tepkimelerden de görüleceği gibi, 1. tepkimenin yarısı alınır, 2. tepkime 3 ile çarpılır ve 3. tepkimenin tersi alınıp 3 ile çarpılır ve tümü toplanırsa aşağıda verilen tepkime elde edilir.



Oluşum Entalpileri

Bir elementin veya bileşiğin entalpisi sıcaklığa ve basınca bağlıdır. **Eğer ΔH değerleri karşılaştırılacaksa, hepsinin ölçüldüğü koşulların aynı olması gerekmektedir.** Bu nedenle 25°C sıcaklık ve 1 atm basınç koşullarında gerçekleşen entalpi değişimini belirtmek için ΔH° ile gösterilen **standart entalpi** terimi tanımlanmıştır.

Standart oluşum entalpisi ΔH_f° ise 1 mol bileşiğin standart koşullarda saf elementlerinden oluştuğu tepkimenin entalpi değişimini tanımlar. Bu nedenle, oluşum entalpisi özel bir tür entalpi değişimidir.



Oluşum entalpileri ya doğrudan ölçülür, ya da Hess yasası uygulanarak diğer termokimyasal verilerden yararlanarak hesaplanır.

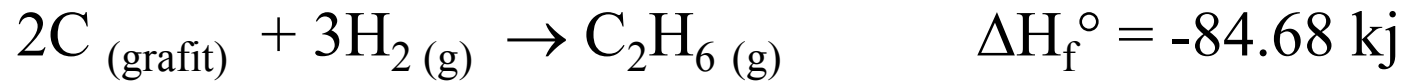


Örneğin,

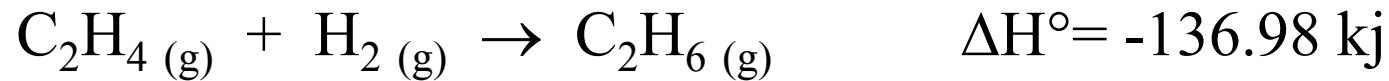
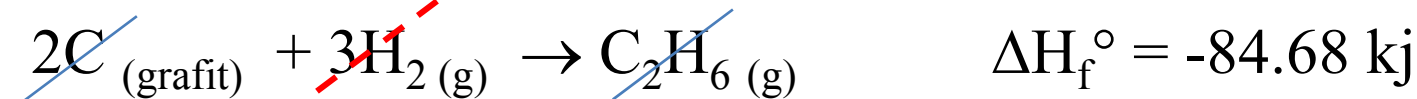
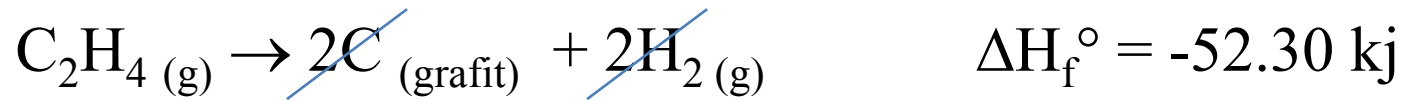


Bu tepkimenin entalpi değişimi, etilen (C_2H_4) ve etanın (C_2H_6) oluşum entalpilerinden yararlanılarak hesaplanabilir.

Bu hesaplama aşağıda verilmiştir.



Yine, 1.tepkime ters çevrilir, 2. tepkime aynen bırakılır ve toplanırsa,



Yani, $\Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_6) - \Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_4) = \Delta H^\circ(\text{tepkime})$

Genellikle bir tepkimenin standart entalpisi, ΔH° aşağıda verilen formülle hesaplanır.

$$\Delta H^\circ(\text{tepkime}) = \Sigma \Delta H_f^\circ(\text{ürünler}) - \Sigma \Delta H_f^\circ(\text{girdiler})$$

Bazı bileşiklerin oluşum entalpileri aşağıdaki tabloda verilmiştir. **Elementlerin oluşum entalpileri ise sıfır olarak kabul edilmiştir.**

Substance	ΔH_f° (kJ/mol)	Substance	ΔH_f° (kJ/mol)
Br ₂ (ℓ)	0	HgS(s) red	-58.2
Br ₂ (g)	30.91	H ₂ (g)	0
C(diamond)	1.897	HBr(g)	-36.4
C(graphite)	0	H ₂ O(ℓ)	-285.8
CH ₄ (g)	-74.81	H ₂ O(g)	-241.8
C ₂ H ₄ (g)	52.26	NO(g)	90.25
C ₆ H ₆ (ℓ)	49.03	Na(s)	0
C ₂ H ₅ OH(ℓ)	-277.7	NaCl(s)	-411.0
CO(g)	-110.5	O ₂ (g)	0
CO ₂ (g)	-393.5	SO ₂ (g)	-296.8
CaO(s)	-635.5	SiH ₄ (g)	34.0
CaCO ₃ (s)	-1207.0	SiCl ₄ (g)	-657.0
Cl ₂ (g)	0	SiO ₂ (s)	-910.9

Substance	Formula	ΔH_f° (kJ/mol)	Substance	Formula	ΔH_f° (kJ/mol)
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	226.7	Hydrogen chloride	HCl(g)	-92.3
Ammonia	NH ₃ (g)	-46.1	Iron(III) oxide	Fe ₂ O ₃ (s)	-824.2
Carbon dioxide	CO ₂ (g)	-393.5	Magnesium carbonate	MgCO ₃ (s)	-1095.8
Carbon monoxide	CO(g)	-110.5	Methane	CH ₄ (g)	-74.8
Ethanol	C ₂ H ₅ OH(l)	-277.7	Nitric oxide	NO(g)	90.2
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	52.3	Water (g)	H ₂ O(g)	-241.8
Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆ (s)	-1260	Water (l)	H ₂ O(l)	-285.8

ΔH° değerlerinin hesaplanması sırasında iki faktör genellikle sorun çıkartır.

1- Oluşum entalpileri kJ/mol olarak verilmiştir ve yalnızca 1 mol madde için geçerlidir. Eğer incelenen tepkimede bu miktar daha fazla veya az ise, ΔH_f° değeri de uygun bir katsayıyla çarpılmalıdır.

2- Tüm elementlerin oluşum entalpileri sıfırdır. Bu nedenle, $\Delta H^\circ(\text{tepkime}) = \Sigma \Delta H_f^\circ(\text{ürünler}) - \Sigma \Delta H_f^\circ(\text{girdiler})$ eşitliğine elementler için bir terim eklenmez.

Örneğin,

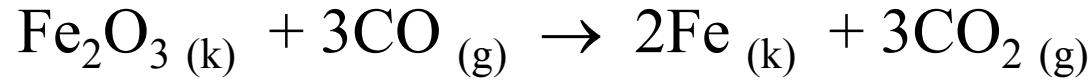


$$\Delta H^\circ(\text{tepkime}) = \Sigma \Delta H_f^\circ(\text{ürünler}) - \Sigma \Delta H_f^\circ(\text{girdiler})$$

$$\Delta H^\circ = 6 \times \Delta H_f^\circ(\text{HCl}) - 2 \times \Delta H_f^\circ(\text{NH}_3)$$

$$\Delta H^\circ = 6 \times (-92.3 \text{ kJ}) - 2 \times (-46.19 \text{ kJ}) \Rightarrow \Delta H^\circ = - 461.42 \text{ kJ}$$

Örnek: Oluşum entalpilerini kullanarak aşağıda verilen tepkimenin ΔH° değerini hesaplayınız.



Tablodan bileşiklerin oluşum entalpileri bulunabilir.

$$\Delta H^\circ(\text{tepkime}) = \Sigma\Delta H_f^\circ(\text{ürünler}) - \Sigma\Delta H_f^\circ(\text{girdiler})$$

$$\Delta H^\circ = 3x\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) - [\Delta H_f^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 3x\Delta H_f^\circ(\text{CO})]$$

$$\Delta H^\circ = 3x(-393.5 \text{ kj}) - [(-822.2 \text{ kj}) + (3x -110.5 \text{ kj})]$$

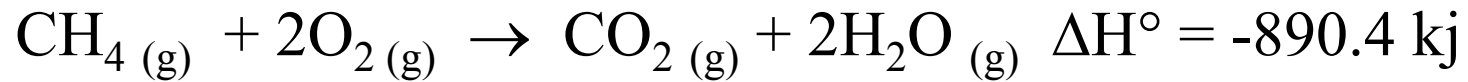
$$\Delta H^\circ = -1180.5 \text{ kj} + 822.2 \text{ kj} + 331.5 \text{ kj}$$

$$\Delta H^\circ = -1180.5 \text{ kj} + 1153.7 \text{ kj}$$

$$\Delta H^\circ = -26.8 \text{ kj bulunur.}$$

Örnek: Oluşum entalpilerini kullanarak $\text{CH}_4(\text{g})$ bileşiğinin oluşum entalpisini hesaplayınız.

Bu soruda durum biraz farklıdır. Tepkimenin içinde yer alan bir bileşiğin oluşum entalpi sorulmaktadır.



Tablodan $\text{CO}_2(\text{g})$ ve $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ için oluşum entalpileri bulunabilir.

$$\Delta H^\circ(\text{tepkime}) = \Sigma \Delta H_f^\circ(\text{ürünler}) - \Sigma \Delta H_f^\circ(\text{girdiler})$$

$$-890.4 \text{ kJ} = [-393.5 \text{ kJ} + 2 \times -285.9 \text{ kJ}] - (\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4))$$

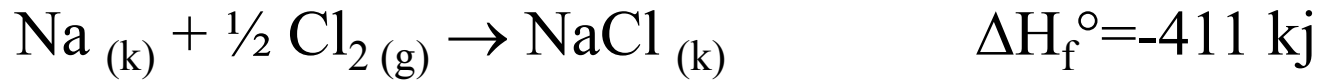
$$-890.4 \text{ kJ} = -965.3 \text{ kJ} - (\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4))$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4) = -965.3 \text{ kJ} + 890.4 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4) = -74.9 \text{ kJ} \text{ bulunur.}$$

Hess yasası daha önceden görülen **Born-Haber çevriminin** doğruluğunun kanıtlanmasına da yardımcı olmuştur. Born-Haber çevrimi bir çok basamak üzerinden yürüyen fiziksel veya kimyasal bir işlemin nasıl bir yol izlediğini gösterir. Basit hesaplamalarla basamaklardan birinin veya tüm basamakların enerji değişimi saptanabilir.

NaCl kristalinin örgü enerjisinin ($\Delta H_{\text{örgü}}$) hesaplanmasında Born-Haber çevriminin nasıl kullanıldığına bakalım. NaCl için standart oluşum entalpisi,





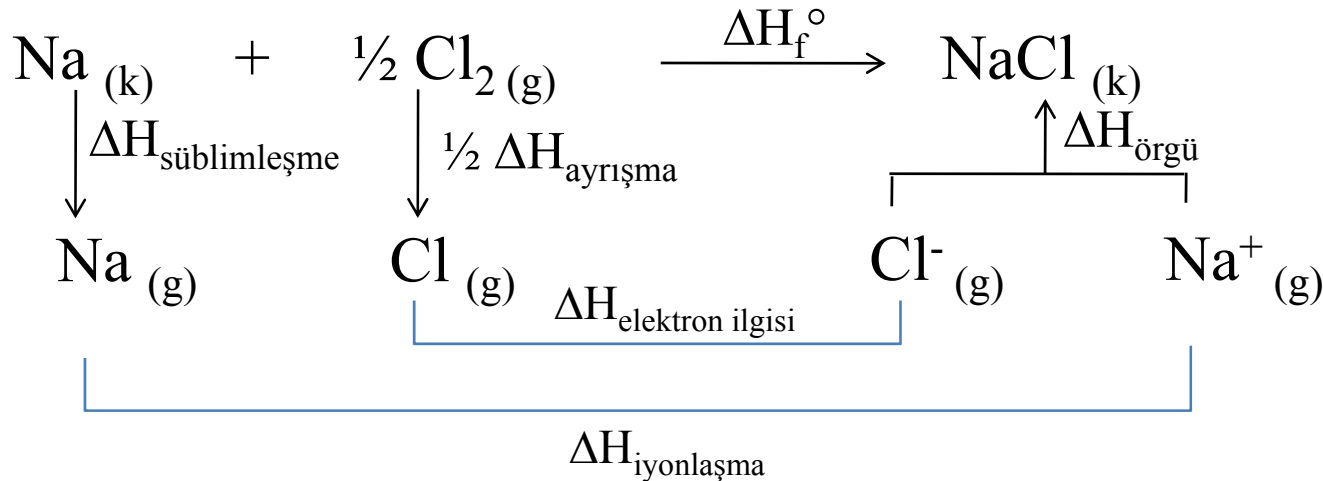
Hess yasasına göre çok basamaklı bir kimyasal tepkimenin tüm basamaklarının entalpilerinin toplamı, oluşum entalpisine eşit olmalıdır.

$$\Delta H_f^\circ = \Delta H_{\text{süblimleşme}} + \frac{1}{2} \Delta H_{\text{ayırışma}} + \Delta H_{\text{iyonlaşma}} + \Delta H_{\text{elektron ilgisi}} + \Delta H_{\text{örgü}}$$

$$-411 \text{ kJ} = +108 \text{ kJ} + 122 \text{ kJ} + 496 \text{ kJ} - 348 \text{ kJ} + \Delta H_{\text{örgü}}$$

$$-411 \text{ kJ} = 378 \text{ kJ} + \Delta H_{\text{örgü}}$$

$$\Delta H_{\text{örgü}} = -789 \text{ kJ} \text{ (doğrudan ölçülemez, ancak bu şekilde bulunur)}$$



Temel Kimya Uygulama Dersi 4

Örnek: Saf altın 24 ayardır. 14 ayar beyaz altın alaşımı 14 kısım Au ve 10 kısım Ni metalinden oluşur. Alaşımda her Au atomuna karşılık kaç adet Ni atomu vardır? Au: 197 g/atg, Ni: 58,7 g/atg.

24 kısım içerisinde 14 kısım Au
100 kısım ?

$$24 \cdot x = 100 \cdot 14 \Rightarrow x = \%58,3 \text{ Au}$$

$$\text{mol Au} = 58,3 \text{ g} / 197 \text{ g atg}^{-1} = \mathbf{0,296 \text{ mol Au}}$$

$$\text{mol Ni} = (100-58,3) \text{ g} / 58,7 \text{ g atg}^{-1} = \mathbf{0,710 \text{ mol Ni}}$$

$$\text{Au için } \frac{0,296}{0,296} = \mathbf{1} \quad \text{Ni için } \frac{0,710}{0,296} = \mathbf{2,4}$$

Örnek: %75,92 C, %17,71 N ve %6,37 H içeren bileşiğin en basit formülü nedir? C: 12, N: 14, H: 1 g/atg.

$$\text{mol C} = 75,92 \text{ g} / 12 \text{ g mol}^{-1} = 6,33 \text{ mol}$$

$$\text{mol N} = 17,71 \text{ g} / 14 \text{ g mol}^{-1} = 1,265 \text{ mol}$$

$$\text{mol H} = 6,37 \text{ g} / 1 \text{ g mol}^{-1} = 6,37 \text{ mol}$$

$$\text{C için } \frac{6,33}{1,265} = 5 \quad \text{H için } \frac{6,37}{1,265} = 5 \quad \text{N için } \frac{1,265}{1,265} = 1$$

Bu sonuçlara göre bileşiğin en basit formülü,



olarak bulunur.

Örnek: 8,51 g $\text{MnCl}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ örneği ısıtılarak içerisindeki su uzaklaştırılıyor ve 5,41 g susuz MnCl_2 elde ediliyor. Formüldeki X değeri kaçtır? Mn: 54,9 g/atg, Cl: 35,5 g/atg, O: 16 g/atg, H: 1 g/atg.

$$\text{Örnek içerisindeki su} = 8,51 - 5,41 = 3,1 \text{ g su}$$

$$\text{MnCl}_2 \text{ ağırlığı} = 54,9 + 2 \times 35,5 = 125,9 \text{ g/mol}$$

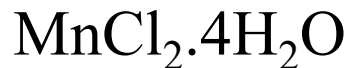
örnekte

5,41 g MnCl_2 ile	→	3,1 g su
125,9 g ile	→	?

$$5,41 \cdot x = 125,9 \cdot 3,1 \Rightarrow x = 72,14 \text{ g su bulunur.}$$

Bu miktar suyun mol sayısı,

$$\text{Mol su} = 72,14 \text{ g} / 18 \text{ g mol}^{-1} = 4,00 \text{ bulunur.}$$



Örnek: Aşağıda verilen tepkimelerdeki her bir maddenin formülünü yazdıktan sonra denetleme yoluyla denkleştiriniz.

a) Difosfor pentaoksit (dimer) + su \rightarrow Fosforik asit

b) Kurşun (II) sülfür + Kurşun (II) sülfat \rightarrow Kurşun + kükürt dioksit

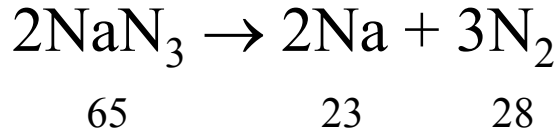
c) Sodyum + kükürt hekzaflorür \rightarrow sodyum sülfür + sodyum florür

d) Amonyak + Flor gazı \rightarrow diazot tetraflorür + hidrojen florür

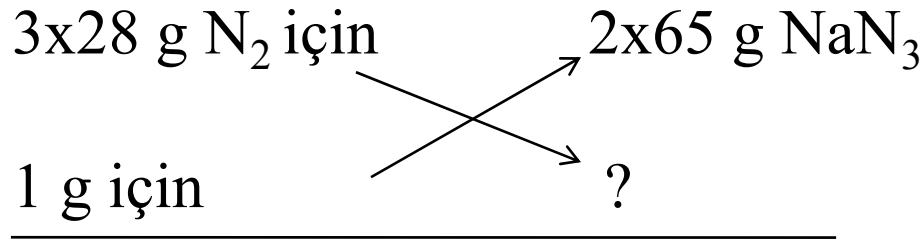
e) Bizmut + oksijen gazı \rightarrow Bizmut (III) oksit

f) Kükürt tetraflorür + Su \rightarrow kükürt dioksit + hidrojen florür

Örnek: Sodium azid (NaN_3) ısıtıldığında elementlerine bozunur. Bu tepkimenin eşitliğini yazınız, 1 mol NaN_3 bozduğunda kaç mol N_2 gazı elde edilir hesaplayınız. 1 g N_2 elde etmek için kaç g NaN_3 gerekir? Na: 23, N: 14 g/atg.



Reaksiyon denklemine bakıldığında 1 mol NaN_3 bozduğunda 1,5 mol N_2 oluştuğu açıkça görülebilir.

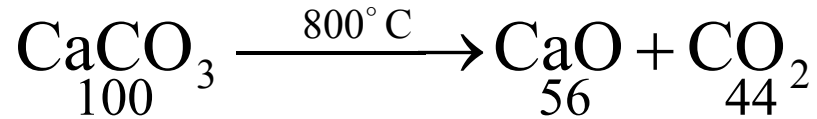


$$84 \cdot x = 130 \cdot 1 \Rightarrow x = 1,54 \text{ g NaN}_3 \text{ gerekir.}$$

NaN_3 hava yastıklarında kullanılan bir kimyasal maddedir ve demir (III) oksit ile bir kıvılcımla çok hızlı tepkime verir ve azot gazı açığa çıkar. Bu da hava yastığının, çarpmadan sonra şişmesini sağlar.

Örnek: 6.00 g CaCO_3 ve CaSO_4 karışımı 800°C sıcaklığa ısıtıldığında ağırlığı 4.68 grama düşmüştür. Karışımdaki CaCO_3 yüzdesi nedir?

Isıtıldığında CaSO_4 bir değişikliğe uğramaz, fakat CaCO_3 aşağıdaki reaksiyona göre bozunur.



Reaksiyonda açığa çıkan CO_2 miktarı = $6,00 - 4,68 \text{ g} = 1,32 \text{ g}$

$$\begin{array}{ccc} 44 \text{ g CO}_2 \text{ için} & \nearrow & 100 \text{ g CaCO}_3 \text{ gerekir} \\ 1,32 \text{ g için} & \searrow & ? \end{array}$$

$$44 \cdot x = 100 \cdot 1,32 \Rightarrow x = 3.0 \text{ g CaCO}_3 \text{ olmalıdır.}$$

$$\% \text{ CaCO}_3 = (3.0/6.0) \times 100 = \%50 \text{ CaCO}_3 \text{ olarak bulunur.}$$

Örnek: 150 g suyun ısı kapasitesi nedir? $C_{su}=4,18 \text{ j/g } ^\circ\text{C}$

$$C = m \times C_{su} \Rightarrow C = 150 \text{ g} \times 4,18 \text{ J/g}^\circ\text{C} = 627 \text{ j/ } ^\circ\text{C} \text{ bulunur.}$$

Örnek: 150 g suyun sıcaklığını 10°C sıcaklıktan 27°C sıcaklığa çıkarmak için ne kadar ısı verilmelidir? $C_{su}=4,18 \text{ j/g } ^\circ\text{C}$

$$Q = m C_{su} (t_2-t_1) \Rightarrow Q = 150 \text{ g} \times 4,18 \text{ J/g}^\circ\text{C} \times (27 - 10) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 10659 \text{ j veya } Q = 10,66 \text{ kj bulunur.}$$

Örnek: 10,0 g gümüş parçasının sıcaklığını 19°C sıcaklıktan 22°C sıcaklığa çıkarmak için 6.99 j değerinde ısı gerekmektedir. Gümüşün özgül ısısını hesaplayınız.

$$Q = m C_{Ag} (t_2-t_1) \Rightarrow 6,99 \text{ j} = 10 \text{ g} \times C_{Ag} \times (22 - 19) ^\circ\text{C}$$

$$C_{Ag} = 0,233 \text{ j/g } ^\circ\text{C} \text{ olarak bulunur.}$$

Örnek: Laktozun ($C_{12}H_{22}O_{11}$) yanma entalpisi -5652 kJ/mol dür. 2,50 g laktoz 1350 g su içeren bir kalorimetrede yakılıyor. Kalorimetrenin ısı kapasitesi 1630 J/°C ve başlangıç sıcaklığı $24,58^{\circ}C$ olduğuna göre, son sıcaklık ne olur? $C_{12}H_{22}O_{11} = 342$ g/mol.

$$Q = Q_{\text{kalorimetre}} + Q_{\text{su}}$$

$$Q_{\text{top}} = m C_{\text{cal}} (t_2 - t_1) + m C_{\text{su}} (t_2 - t_1)$$

$$Q_{\text{top}} = C (t_2 - t_1) + m C_{\text{su}} (t_2 - t_1)$$

342 g laktoz		5652 kJ ısı
2,5 g		? g

$$342 \cdot x = 5652 \cdot 2,5 \Rightarrow 41,32 \text{ kJ} = 41320 \text{ j}$$

$$41320 = 1630 \times (t_2 - 24,58) + 1350 \times 4,18 (t_2 - 24,58)$$

$$(t_2 - 24,58) = 5,68 \Rightarrow t_2 = 30,26^{\circ}C \quad (2,50 \text{ g laktoz yanınca})$$