

**KİMYA II DERS  
NOTLARI**

Yrd. Doç. Dr. Atilla EVCİN

**Kimyasal  
Termodinamik**

**Kimyasal Termodinamik**

**Çevremizde neler oluyor?**  
**Su neden buharlaşıyor?**  
**Sıcak nesnelere neden soğuyor?**  
**Bazı moleküller diğerleriyle reaksiyona girerken,  
bazılarıyla neden girmiyor?**  
**Tüm bunlar enerjiyle alakalıdır.....**  
**O zaman enerjiyi bilmemiz gerekir .....**  
**KİMYA !!!!!**

**Enerji ve Kimya**

**ENERJİ** ısı transferi yada iş yapabilme kapasitesidir.  
**ISI** sıcaklık farklılıkları nedeniyle 2 nesne arasında akan enerjinin bir şeklidir.  
Diğer enerji şekilleri —

- ışık
- elektrik
- kinetik ve potansiyel



**TERMODİNAMİK**

ISI →      ↑  
                  **VE DEĞİŞİMİ**

**TERMODİNAMİK'te dünya iki şekilde sınıflandırılır**

**Bir SİSTEM ve onun ÇEVRESİ**



**SİSTEM SINIFLANDIRMASI**




Matter (water vapor)  
Heat    Open system    Heat

(a)

**AÇIK** çevreyle hem madde hem de enerji alışverişi söz konusudur

**SİSTEM SINIFLANDIRMASI**



Matter (water vapor)  
Heat    Open system    Heat

(a)

Heat    Closed system    Heat

(b)

**KAPALI** çevreyle sadece enerji alışverişi söz konusudur

**SİSTEM SINIFLANDIRMASI**



Matter (water vapor)  
Heat    Open system    Heat

(a)

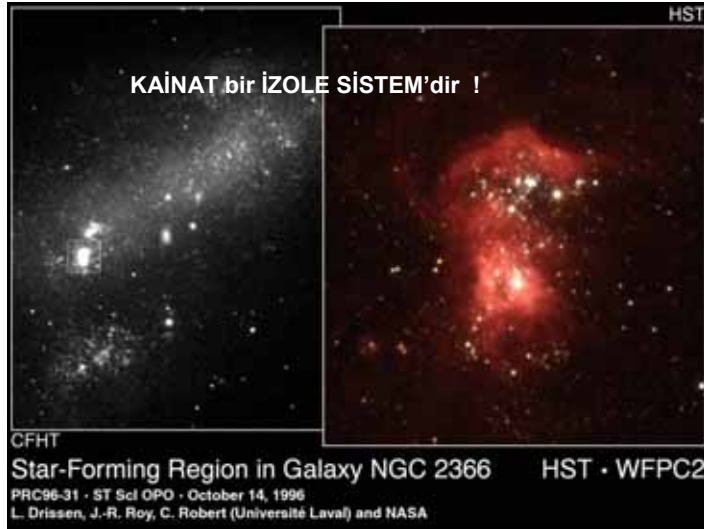
Heat    Closed system    Heat

(b)

Isolated system

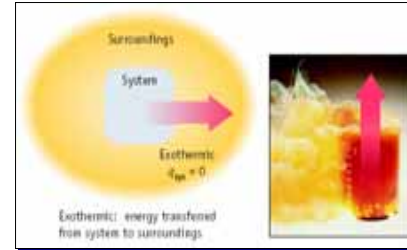
(c)

**İZOLE** çevreyle hiçbir alışveriş yoktur



## Isının Yönü

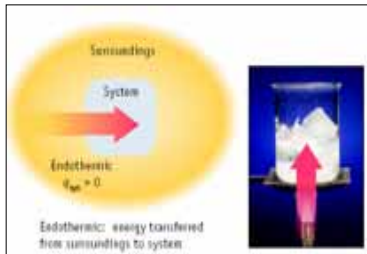
- Isı daima sıcak olandan soğuk nesneye transfer olur.
- EKZOtermik: SİSTEM'den ÇEVRE'ye ısı akışıdır.



T(sistem) aşağı düşer  
T(çevre) yukarı çıkar

## Isının Yönü

- Isı daima sıcak olandan soğuk nesneye transfer olur.
- ENDOtermik: ÇEVRE'den SİSTEM'e ısı akışıdır.



T(sistem) yukarı çıkar  
T(çevre) aşağı düşer

## Enerjinin Birimi

1 kalori = 1.00 g H<sub>2</sub>O'yun sıcaklığını 1.0 °C artırmak için gereken ısıdır.

1000 cal = 1 kilokalori = 1 kcal

1 kcal = 1 Kalori (yiyecekte kullanılan kalori)

Fakat biz enerji birimi olarak **JOULE** kullanıyoruz.

1 cal = 4.184 joule



**James Joule**  
1818-1889

### Termodinamiğin Birinci Kanunu


Aktarılan ısı enerjisi

$\Delta E = q + w$

Enerji değişimi

Sistem Tarafından yapılan iş

Enerji korunur !



### Termodinamiğin Birinci Kanunu

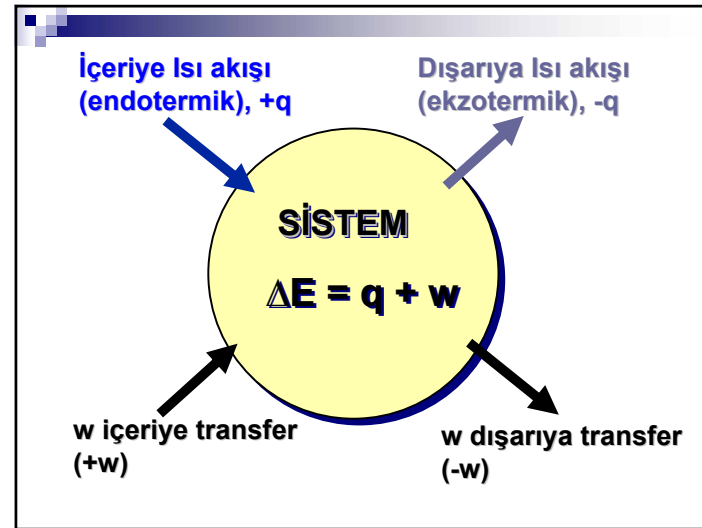
- Termodinamiğin I. Yasası, "Enerjinin Korunumu Kanunudur". Bu yasaya göre enerji bir enerji türünden bir başka enerji türüne dönüştürülebilir, ancak yok edilemez ve yaratılamaz. Bu nedenle evrenin enerjisi sabittir.

$\Delta E = q + w$

### Örnek

Örneğin zıplayan bir topun kinetik enerjisi yükseldikçe potansiyel enerjiye, aşağıya indikçe potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. Ancak her zıplamışta top daha az yükseğe çıktığından kinetik enerjisi ile potansiyel enerjisinin toplamı azalır ve aradaki fark ısı enerjisi olarak açığa çıkar.

Görüldüğü gibi bu olayda kinetik enerji, potansiyel enerji ve ısı enerjisi dönüşümleri olmuştur. Bir elektrikli ısıtıcıda, elektrik enerjisi ısı ve ışık enerjilerine dönüşür. Bir oyuncaca hareket sağlayan pildeki kimyasal enerji oyuncakta mekanik enerjiye dönüşür. Bu olayların hepsinde Termodinamiğin I. Yasasına uyulur.



## ENTALPİ

Çoğu kimyasal reaksiyonlar sabit basınçta meydana gelir, böylece

Sabit basınçta ısı akışı =  $q_p$

$q_p = \Delta H$  burada  $H =$  entalpi

Ve böylece  $\Delta E = \Delta H + w$  ( $w$  genellikle küçüktür)

$\Delta H =$  sabit basınçta transfer edilen ısı  $\approx \Delta E$

$\Delta H =$  sistemin ısı içeriğindeki değişim

$\Delta H = H_{\text{son}} - H_{\text{ilk}}$

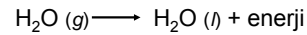
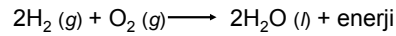
## ENTALPİ

$$\Delta H = H_{\text{son}} - H_{\text{ilk}}$$

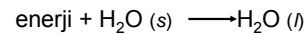
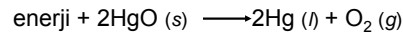
Eğer  $H_{\text{son}} > H_{\text{ilk}}$  ise  $\Delta H$  pozitifdir.  
Proses **ENDOTERMİK**

Eğer  $H_{\text{son}} < H_{\text{ilk}}$  ise  $\Delta H$  negatiftir.  
Proses **EKZOTERMİK**

**Ekzotermik proses** dışarıya ısı veren – sistemden çevreye ısı transferinin olduğu.

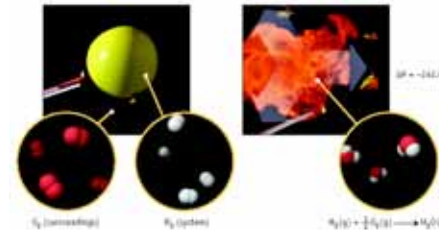
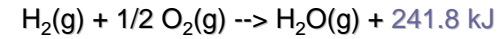


**Endotermik proses** çevreden sisteme uygulanması gereken ısı



## Entalpinin Kullanımı

Suyun oluşumunu düşünün



**Ekzotermik reaksiyon – ısı bir üründür ve**  
 $\Delta H = -241.8 \text{ kJ}$

## ENTALPİNİN KULLANIMI

$H_2 + O_2$  'dan **SIVI**  $H_2O$  oluşumu iki **ekzotermik** basamakta gelişir.

$H_2 + O_2$  gaz

$H_2O$  buhar

Sıvı  $H_2O$

## Hess Kanunu

- Reaksiyon entalpileri, reaksiyonun yürüdüğü mekanizmadan veya basamaktan bağımsızdır. Bir başka ifadeyle bir kimyasal reaksiyonun entalpisi, toplamları o reaksiyonu veren reaksiyonların entalpilerinin toplamına eşittir.
- Hess Kanunu : Bir kimyasal reaksiyonun reaksiyon entalpisi, toplamları o reaksiyonu veren kimyasal reaksiyonların reaksiyon entalpileri toplamına eşittir.

## Hess Kanunu & Enerji Seviyeleri

$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$

$H_2O(g)$

$H_2O(l)$

$\Delta H_1 = -241.8 \text{ kJ}$

$\Delta H_2 = -44.0 \text{ kJ}$

$\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 = -285.8 \text{ kJ}$

$H_2O$  oluşumu bir yada iki basamakta gerçekleşebilir.  $\Delta H_{\text{toplam}}$  aynıdır.

## Hess Kanunu & Enerji Seviyeleri

$C(s) + O_2(g)$

$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$

$CO_2(g)$

$\Delta H_1 = -110.5 \text{ kJ}$

$\Delta H_2 = -283.0 \text{ kJ}$

$\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 = -393.5 \text{ kJ}$

$CO_2$  oluşumu da bir ya da iki basamakta gerçekleşebilir.  $\Delta H_{\text{toplam}}$  aynıdır.

### Standart Entalpi Değerleri

Çoğu  $\Delta H$  değerleri  $\Delta H^\circ$  ile gösterilir  
Standart şartlar altında ölçülen değerlerdir.

P = 1 atm  
Derişim = 1 mol/L  
T = genellikle 25 °C

### Entalpi Değerleri

Reaktan ve ürünlerin fazlarına ve reaksiyonun nasıl yazıldığına bağlıdır.

$H_2(g) + 1/2 O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$   
 $\Delta H^\circ = -242 \text{ kJ}$

$2 H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2 H_2O(g)$   
 $\Delta H^\circ = -484 \text{ kJ}$

$H_2O(g) \rightarrow H_2(g) + 1/2 O_2(g)$   
 $\Delta H^\circ = +242 \text{ kJ}$

$H_2(g) + 1/2 O_2(g) \rightarrow H_2O(sıvı)$   
 $\Delta H^\circ = -286 \text{ kJ}$

### Standart Entalpi Değerleri

NIST (Nat'l Institute for Standards and Technology)

$\Delta H_f^\circ = \text{standart molar oluşum entalpisi}$   
(kJ/mol, kcal/mol)

- standart şartlar altında elementlerden 1 mol bileşik oluştuğundaki entalpi değişimi.
- Elementin oluşum entalpisi sıfırdır.

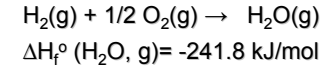
### Oluşum Isıları

Bileşik	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Bileşik	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Bileşik	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Bileşik	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
AgBr(s)	-99.5	$C_2H_2(g)$	+226.7	CaCl <sub>2</sub> (s)	-795.0	$Cu_2O(s)$	-166.7
AgCl(s)	-127.0	$C_2H_4(g)$	+52.3	CaCO <sub>3</sub>	-1207.0	CuS(s)	-48.5
AgI(s)	-62.4	$C_2H_6(g)$	-84.7	CaO(s)	-635.5	CuSO <sub>4</sub> (s)	-769.9
Ag <sub>2</sub> O(s)	-30.6	$C_2H_4(g)$	-103.8	Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-986.6	$Fe_2O_3(s)$	-822.2
Ag <sub>2</sub> S(s)	-31.8	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-124.7	CaSO <sub>4</sub> (s)	-1432.7	$Fe_3O_4(s)$	-1120.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1669.8	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (l)	-173.1	CCl <sub>4</sub> (l)	-139.5	HBr(g)	-36.2
BaCl <sub>2</sub> (s)	-860.1	$C_2H_5OH(l)$	-277.6	CH <sub>4</sub> (g)	-74.8	HCl(g)	-92.3
BaCO <sub>3</sub> (s)	-1218.8	CrO(s)	-239.3	CHCl <sub>3</sub> (l)	-131.8	HF(g)	-268.6
BaO(s)	-558.1	$Cr_2O_3(s)$	-1128.4	CH <sub>3</sub> OH(l)	-238.6	HI(g)	+25.9
BaSO <sub>4</sub> (s)	-1465.2	CuO(s)	-155.2	CO(g)	-110.5	HNO <sub>3</sub> (l)	-173.2
				CO <sub>2</sub> (g)	-393.5	H <sub>2</sub> O(g)	-241.8

## Oluşum Isıları

Bileşik	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Bileşik	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Bileşik	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Bileşik	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
H <sub>2</sub> O(l)	-285.8	NH <sub>4</sub> Cl(s)	-315.4	MgCl <sub>2</sub> (s)	-641.8	PCl <sub>5</sub> (g)	-306.4
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)	-187.6	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (s)	-365.1	MgCO <sub>3</sub> (s)	-1113	PCl <sub>3</sub> (g)	-398.9
H <sub>2</sub> S(g)	-20.1	NO(g)	+90.4	MgO(s)	-601.8	SiO <sub>2</sub> (s)	-859.4
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (l)	-811.3	NO <sub>2</sub> (g)	+33.9	Mg(OH) <sub>2</sub> (s)	-924.7	SnCl <sub>2</sub> (s)	-349.8
HgO(s)	-90.7	SiO(s)	-244.3	MgSO <sub>4</sub> (s)	-1278.2	SnCl <sub>4</sub> (l)	-545.2
HgS(s)	-58.2	PbBr <sub>2</sub> (s)	-277.0	MnO(s)	-384.9	SnO(s)	-286.2
KBr(s)	-392.2	PbCl <sub>2</sub> (s)	-359.2	MnO <sub>2</sub> (s)	-519.7	SnO <sub>2</sub> (s)	-580.7
KCl(s)	-435.9	PbO(s)	-217.9	NaCl(s)	-411.0	SO <sub>2</sub> (g)	-296.1
KClO <sub>3</sub> (s)	-391.4	PbO <sub>2</sub> (s)	-276.6	Na <sub>2</sub> S(s)	-569.0	SO <sub>3</sub> (g)	-395.2
Li(s)	-62.6	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-734.7	NaOH(s)	-426.7	ZnO(s)	-348.0
				NH <sub>3</sub> (g)	-46.2	ZnS(s)	-202.9

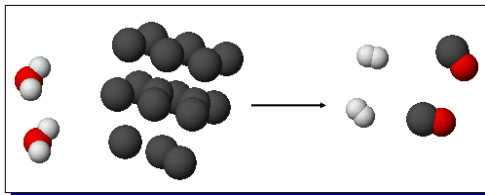
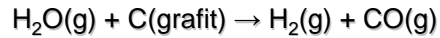
## $\Delta H_f^\circ$ , standart molar oluşum entalpisi



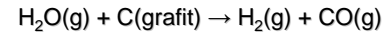
Tanım göre ,

$\Delta H_f^\circ = 0$  standart hallerdeki elementler için.

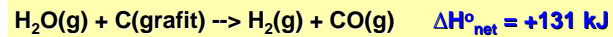
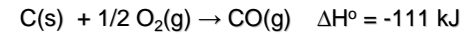
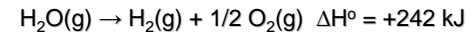
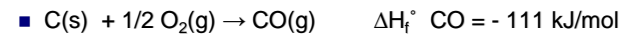
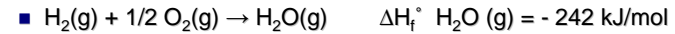
Reaksiyonundaki entalpi değişimini hesaplamak için  $\Delta H^\circ$  değerlerini kullanırız.



## Örnek



Referans kitap veya kaynaklardan ;







reaksiyonun  
ΔH'ını hesapla?

Genelde, tüm oluşum entalpileri biliniyorsa

$$\Delta H_{\text{reak}}^{\circ} = \sum \Delta H_f^{\circ} (\text{ürün}) - \sum \Delta H_f^{\circ} (\text{reaktan})$$

Hatırla Δ varsa = son - ilk

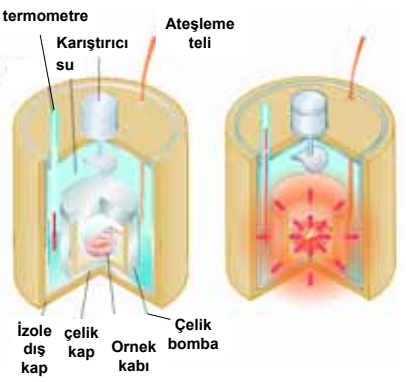
### Örnek

Metanol'ün yanma ısısını hesaplayınız. ( $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$ )

$$\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + 3/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$$
$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum \Delta H_f^{\circ} (\text{ürün}) - \sum \Delta H_f^{\circ} (\text{reaktan})$$
$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \Delta H_f^{\circ} (\text{CO}_2) + 2 \Delta H_f^{\circ} (\text{H}_2\text{O}) - \{3/2 \Delta H_f^{\circ} (\text{O}_2) + \Delta H_f^{\circ} (\text{CH}_3\text{OH})\}$$
$$= (-393.5 \text{ kJ}) + 2 (-241.8 \text{ kJ}) - \{0 + (-201.5 \text{ kJ})\}$$
$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = -675.6 \text{ kJ/mol metanol}$$

## KALORİMETRE

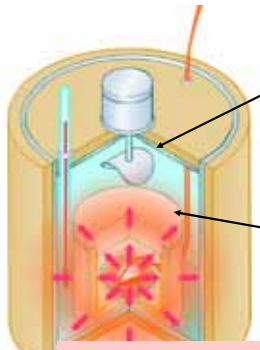
### Reaksiyon ısısının ölçülmesi



Sabit hacimli "Bomba" Kalorimetresi

- Yanabilir özellikte örnek yanar.
- Reaksiyonda gelişen ısı ölçülür.
- Reaksiyonun  $\Delta E$  değeri türetilir.

## Kalorimetre



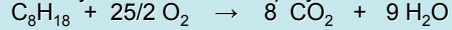
Reaksiyondan çıkan ısının bir kısmı suyu ısıtır  
 $q_{\text{su}} = (\text{özümlü ısı})(\text{su kütlesi})(\Delta T)$

Reaksiyonda çıkan ısının bir kısmı "bombalar"  
 $q_{\text{bomba}} = (\text{ısı kapasitesi, J/K})(\Delta T)$

$$\text{Toplam oluşan ısı} = q_{\text{toplam}} = q_{\text{su}} + q_{\text{bomba}}$$

## Örnek

Oktan'ın yanma ısısını hesaplayınız.



- 1.00 g oktan yandığında ;
- Sıcaklık 25.00 'den 33.20 °C 'ye yükselir. ( $\Delta T=8.20$ )
- Kalorimetre 1200 g su alabilir.
- Bombanın ısı kapasitesi = 837 J/K

1. Basamak Reaksiyondan suya aktarılan ısı.

$$q = (4.184 \text{ J/g}\cdot\text{K})(1200 \text{ g})(8.20 \text{ K}) = 41170 \text{ J}$$

2. Basamak Reaksiyondan bombaya aktarılan ısı

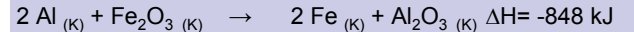
$$q = (837 \text{ J/K})(8.20 \text{ K}) = 6860 \text{ J}$$

3. Basamak Toplam açığa çıkan ısı

$$41170 \text{ J} + 6860 \text{ J} = 48030 \text{ J}$$

## Örnek

Termit tepkimesi oldukça ekzotermik bir tepkimedir.



Buna göre 360 g Al , aşırı Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile tepkimeye girdiğinde ne kadar ısı açığa çıkar ?

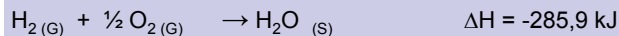
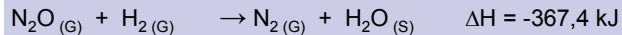
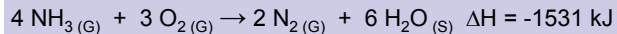
$$n_{\text{Al}} = \frac{360}{27} = 13,33 \text{ mol}$$

2 mol Al 'dan 848 kJ ısı açığa çıkarsa

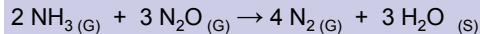
13,33 mol Al 'dan x = 5650 kJ

## Örnek

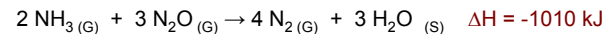
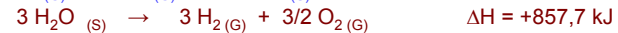
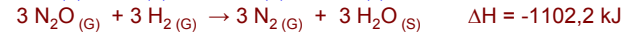
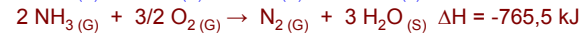
■ Aşağıdaki termokimyasal eşitlikler verilmiştir.



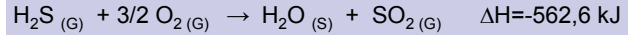
Bu verilerden yararlanarak aşağıdaki tepkimenin  $\Delta H$  değerini hesaplayınız.



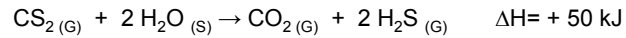
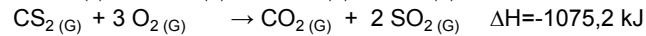
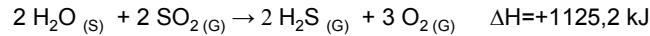
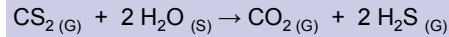
Verilen tepkimedeki katsayıları elde etmek için her bir reaksiyon uygun katsayı ile çarpılır ya da ters çevrilir.



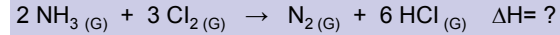
## Örnek



Bu bilgilerden yararlanarak aşağıdaki tepkimenin  $\Delta H$  değerini bulunuz.



## Örnek



$$\Delta H_{\text{NH}_3} = -46,19 \text{ kJ}$$

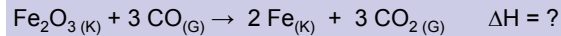
$$\Delta H_{\text{HCl}} = -92,3 \text{ kJ}$$

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f (\text{ürünler}) - \sum \Delta H_f (\text{girenler})$$

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

$$\Delta H^\circ = 6 \cdot (-92,3) - 2 \cdot (-46,19) = -461,42 \text{ kJ}$$

## Örnek



$$\Delta H_f (\text{Fe}_2\text{O}_3) = -822,2 \text{ kJ} \quad \Delta H_f (\text{CO}) = -110,5 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f (\text{CO}_2) = -393,5 \text{ kJ}$$

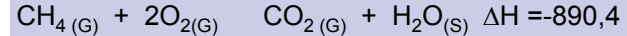
$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f (\text{ürünler}) - \sum \Delta H_f (\text{girenler})$$

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

$$\Delta H^\circ = 3 \cdot (-393,5) - [(-822,2) + 3 \cdot (-110,5)]$$

$$\Delta H^\circ = -26,8 \text{ kJ}$$

## Örnek



$\text{CO}_2$ 'nin oluşum entalpisi  $-393,5 \text{ kJ}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ 'nun oluşum entalpisi  $-285,9 \text{ kJ}$  olduğuna göre  $\text{CH}_4$  'ün oluşum entalpisini hesaplayınız.

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f (\text{ürünler}) - \sum \Delta H_f (\text{girenler})$$

$$\Delta H^\circ = [\Delta H_f (\text{CO}_2) + \Delta H_f (\text{H}_2\text{O})] - [\Delta H_f (\text{CH}_4)]$$

$$\Delta H^\circ = -890,4 = [(-393,4) + (-285,9)] - [\Delta H_f (\text{CH}_4)]$$

$$[\Delta H_f (\text{CH}_4)] = -74,9 \text{ kJ}$$

## Örnek

$3 \text{NO}_{2(\text{G})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{G})} \rightarrow 2 \text{HNO}_{3(\text{S})} + \text{NO}_{(\text{G})}$  tepkimesinin  $25^\circ\text{C}$ 'deki entalpi değişimini hesaplayınız.

$$\begin{array}{ll} \Delta H_f (\text{HNO}_3) = -173,2 \text{ kJ} & \Delta H_f (\text{NO}) = 90,37 \text{ kJ} \\ \Delta H_f (\text{H}_2\text{O}) = -241,8 \text{ kJ} & \Delta H_f (\text{NO}_2) = 33,8 \text{ kJ} \end{array}$$

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f (\text{ürünler}) - \sum \Delta H_f (\text{girenler})$$

$$\Delta H^\circ = [2 \cdot \Delta H_f (\text{HNO}_3) + \Delta H_f (\text{NO})] - [3 \cdot \Delta H_f (\text{NO}_2) + \Delta H_f (\text{H}_2\text{O})]$$

$$\Delta H^\circ = [2 \cdot (-173,2) + 90,37] - [3 \cdot (33,8) + (-241,8)]$$

$$\Delta H^\circ = -115,63 \text{ kJ}$$

## Reaksiyon Entalpisi ve Reaksiyon Enerjisi Arasındaki İlişki

Reaksiyonlar için bazen reaksiyon enerjisi, bazen de entalpisi gerekli olabilir. Bu nedenle reaksiyon enerjisi ve entalpisi arasında bir ilişki kurmak gerekir.

$$\Delta H = \Delta E + \Delta n \cdot R \cdot T$$

$\Delta H$ = reaksiyon entalpisi

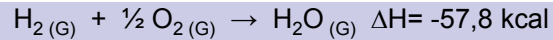
$\Delta E$ = reaksiyon enerjisi

$\Delta n$ = gaz halindeki maddelerin (ürünler-girenler) mol sayısı farkı

R = gaz sabiti

T= mutlak sıcaklık

## Örnek



Reaksiyonu için  $\Delta E$ 'yi hesaplayınız. ( $t=25^\circ\text{C}$ )

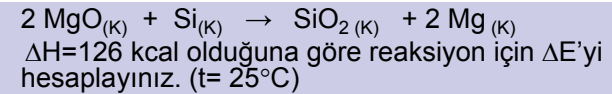
$$\Delta n = 1 - (1 + \frac{1}{2}) = -0,5 \text{ mol}$$

$$\Delta H = \Delta E + \Delta n \cdot R \cdot T$$

$$\Delta E = -57800 \text{ cal} - [(-0,5 \text{ mol}) \cdot (1,987 \text{ cal/mol.K}) \cdot (298 \text{ K})]$$

$$\Delta E = -57500 \text{ cal}$$

## Örnek



$$\Delta n = 0 \text{ mol}$$

$$\Delta H = \Delta E + \Delta n \cdot R \cdot T$$

$$\Delta E = \Delta H = 126 \text{ kcal}$$

## Reaksiyon Entalpisinin Sıcaklığa Bağlılığı

Standart oluşum entalpilerini ( $\Delta H_f^\circ$ ) tanımlarken 1 atm basınç ve 25°C sıcaklıkta ölçülen değerler olarak belirtmiştik. Standart halden farklı bir sıcaklıkta reaksiyon entalpisini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır ;

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 \cdot dT \quad \text{Kirchhoff Denklemi}$$

$\Delta H_T^0$  = herhangi bir sıcaklıktaki reaksiyon entalpisi  
 $\Delta H_{298}^0$  = 298 K'deki reaksiyon entalpisi  
 $\Delta C_p^0$  = sabit basınçtaki ısı kapasitesi

- $C_p^\circ$  , genellikle sıcaklığa bağlıdır.
- $C_p^\circ = a + bT + cT^2$  gibi denklemlerle verilir.
- Sulu çözeltiler hariç, tüm katı, sıvı ve gaz madde ve elementlerin  $C_p^\circ$  değerleri mevcuttur.
- Bir reaksiyonun  $\Delta C_p^\circ$  değeri reaksiyon entalpisinde olduğu gibi hesaplanır.

$$\Delta C_p^\circ = \sum C_p^\circ (\text{ürünler}) - \sum C_p^\circ (\text{girenler})$$

## Örnek

$C_{(K, \text{grafit})} + O_{2(G)} \rightarrow CO_{2(G)}$  reaksiyonu için  $\Delta C_p^\circ$  ve 500 K'deki  $\Delta H_{500}^0$  değerini hesaplayınız.

$$C_p^\circ(\text{grafit}) = 1,2 + 5 \cdot 10^{-3} T + 1,2 \cdot 10^{-6} T^2 \quad \Delta H_{298}^0 = -94050 \text{ cal}$$

$$C_p^\circ(O_2) = 6,51 + 1 \cdot 10^{-3} T$$

$$C_p^\circ(CO_2) = 7,40 + 6,6 \cdot 10^{-3} T$$

$$\Delta C_p^\circ = C_p^\circ(CO_2) - [C_p^\circ(\text{grafit}) + C_p^\circ(O_2)]$$

$$\Delta C_p^\circ = -0,3 + 0,6 \cdot 10^{-3} T + 1,2 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$\Delta H_{500}^0 = -94050 \text{ cal} + \int_{298}^{500} (-0,3 + 0,6 \cdot 10^{-3} T + 1,2 \cdot 10^{-6} T^2) dT$$

$$\Delta H_{500}^0 = -94023 \text{ cal}$$

## Örnek

Katı  $BaSO_4$  için  $\Delta H_{298}^0 = -340 \text{ kcal/mol}$  ve  $C_p^\circ = 33,80 \text{ cal/mol.K}$  değerleri bilindiğine göre bunun 250°C'deki standart molar entalpisi nedir ?

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 \cdot dT$$

$$\Delta H_{250}^0 = -340000 + 33,80 \cdot (523 - 298) = -332395 \text{ cal / mol}$$

## Örnek

$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{K}) + 3 \text{CO}(\text{G}) \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{K}) + 3 \text{CO}_2(\text{G})$   
reaksiyonu için standart reaksiyon entalpisi ve enerjisini hesaplayınız. 500 K'deki entalpiyi bulunuz.

$$\Delta H_f(\text{Fe}_2\text{O}_3) = -196,5 \text{ kcal} \quad \Delta H_f(\text{CO}) = -26,4 \text{ kcal}$$
$$\Delta H_f(\text{CO}_2) = -94,05 \text{ kcal}$$

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f(\text{ürünler}) - \sum \Delta H_f(\text{girenler})$$

$$\Delta H^\circ = 3.(-94,05) - [(-196,5) + 3.(-26,4)] = -6,45 \text{ kcal}$$

$$\Delta H = \Delta E + \Delta n.R.T$$

$$\Delta E = \Delta H - \Delta n.R.T = -6450 \text{ cal}$$

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 \cdot dT$$

$$C_p^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 25 \quad C_p^\circ(\text{CO}) = 6,96$$

$$C_p^\circ(\text{CO}_2) = 9,37 \quad C_p^\circ(\text{Fe}) = 6,03$$

$$\Delta C_p^\circ = [2.6,03 + 3.9,37] - [1.25 + 3.6,96] = -5,71$$

$$\Delta H_{500}^0 = -6450 - 5,71.(500-298) = 7603,42 \text{ cal/mol}$$