

FİZİKOKİMYA – 1

GAZLAR

- ✓ **GAZLAR**
 - ↳ Gaz Basıncı

- ✓ **GAZ YASALARI**
 - ↳ Basıncı – Hacim İlişkisi
 - ↳ Sıcaklık Hacim ve Sıcaklık Basıncı İlişkisi
 - ↳ Hacim Miktar İlişkisi

- ✓ **İDEAL GAZ DENKLEMİ**
- ✓ **GENEL GAZ DENKLEMİ**
- ✓ **GAZLARIN KARIŞTIRILMASI**
- ✓ **TEPKİMELİ GAZ PROBLEMLERİ**
- ✓ **BÖLMELİ KAPLAR**
- ✓ **DALTON'UN KISMİ BASINÇLAR YASASI**
- ✓ **GAZLARIN YOĞUNLUĞU**
- ✓ **GAZLARIN SU ÜZERİNDE TOPLANMASI**
- ✓ **GAZLARIN KİNETİK KURAMI**
- ✓ **İDEAL VE GERÇEK GAZLAR**
- ✓ **GAZLARIN SIVILAŞTIRILMASI**
- ✓ **GRAHAM DİFÜZYON YASASI**
- ✓ **SIVILAR**

GAZLAR

1. GAZLAR

Maddenin gaz hali, en yüksek enerjili ve en düzensiz halidir. Sıvı ve katılardan çok daha düşük yoğunluğa sahiptirler. Gaz tanecikleri çok hızlı hareket eder ve aralarında büyük boşluklar bulunur. Buldukları kabın hacmini doldurur ve şeklini alırlar. Birden fazla türde gaz, aynı kaba konulduğunda tamamen kabı doldurur ve homojen olarak karışırlar.

Bir maddenin standart koşullarda gaz halinde olup olmayacağını, moleküller arası etkileşimler belirler. Moleküller arası etkileşimlerin zayıf olması halinde taneciklerin gaz halde bulunma ihtimali artar.

Buldukları ortamın sıcaklığı, gazların sürekli hareket etmelerine yetecek kinetik enerjiyi sağlar. Gazlar sürekli hareket halinde oldukları için buldukları kabı tamamen doldururlar.

$$KE = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{3}{2}kT$$

Gazların doğrusal ve zikzaklı bu hareketlerine **Brown Hareketleri** denir.

1. 1. Gaz Basıncı

Gaz tanecikleri bulunduğu kabın çeperlerine çarptıklarında bir kuvvet uygular. Gazların kabın iç yüzeyine çarparak birim yüzeye uyguladıkları dik kuvvete basınç denir.

$$\text{Basınç} = \frac{\text{Kuvvet}}{\text{Alan}}$$

SI birim sisteminde basınç birimi paskal (Pa)'dır.

$$1 \text{ Pa} = 1\text{N}/1\text{m}^2 = 1 \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{s}^2 \text{ dir.}$$

Barometre: Atmosferin, yeryüzüne uyguladığı açık hava basıncını ölçmek için kullanılır. Hava yoğunluğu, atmosfer içinde her yerde aynı değildir. Yerkabuğundan uzaklaştıkça havanın yoğunluğu azalır. Bu yüzden, yükseklere çıkıldıkça atmosfer basıncında azalma gözlenir. Standart atmosfer basıncı (1 atm), deniz seviyesinde ve 0°C sıcaklıkta tam olarak 760 mm (veya 76 cm) yükseklikte bir civa sütununun basıncına eşittir. Diğer bir deyişle, standart atmosfer basıncı, 760 mmHg basıncına eşittir. mmHg birimi, barometreyi keşfeden İtalyan bilim adamı Evangelista Torricelli anısına, torr olarak da adlandırılır. Buna göre,

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr'dur. Aynı zamanda,}$$

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101,325 \text{ kPa'dır.}$$

Torricelli yaptığı deneyde civa ile tamamen dolu bir ucu kapalı cam boruyu ters çevirerek yine civa ile dolu bir kap içerisine batırmıştır. Cam borudaki civa bir miktar döküldükten sonra sabit kalmıştır. Dengeye gelen bu sistemde kap içerisindeki sıvı üzerine etki eden açık hava basıncı, cam boru içerisindeki sıvının yaptığı basınca eşit olur.

Sıvının yaptığı basınç ise sıvının yoğunluğu ve yüksekliği ile orantılıdır. Sıvı basıncı;

$$P_o = P_{sıvı} = h_{sıvı} \cdot d_{sıvı} \cdot g \text{ bağıntısı ile bulunur.}$$

Barometredeki sıvı yüksekliği;

- Dış basınca,
- Sıvının yoğunluğuna
- Yerçekimi ivmesine
- Sıcaklığa bağlıdır.

Deniz seviyesinde barometrede civa yerine su kullanıldığında su sütununun yüksekliği;

$$P_{su} = P_{civa}$$

$$h_{su} \cdot d_{su} \cdot g = h_{civa} \cdot d_{civa} \cdot g$$

$$h_{su} \cdot 1 = 76 \cdot 13,6$$

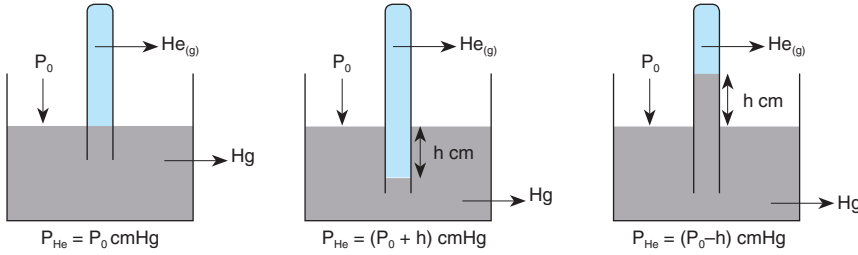
$$h_{su} = 1033,6 \text{ cm olurdu.}$$



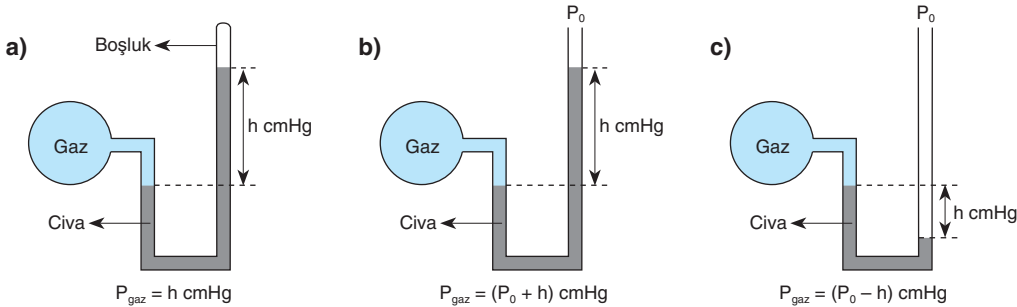
NOT

Sıvı yüksekliği, sıvının içine daldırılan cam borunun şekline, kesit alanına, sıvıya daldırılma açısına bağlı değildir.

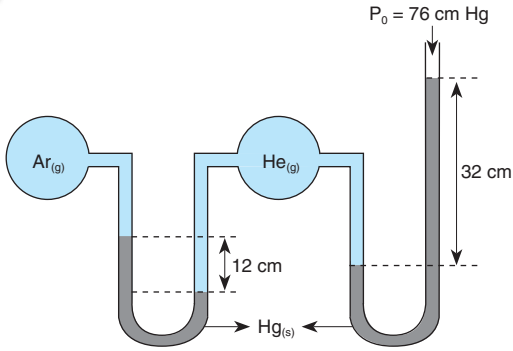
Civa Dolu Kaplara Batırılmış Tüplerdeki Gaz Basıncının Ölçülmesi



Manometre: Kapalı bir kaptaki gaz basıncını ölçmek için kullanılan, içerisinde civa bulunan U şeklindeki cam borudur. Gaz molekülleri buldukları kaba homojen olarak dağıldığından kabın her noktasına aynı basıncı uygular. Bu nedenle manometre ile kabın her hangi bir noktasından gaz basıncı ölçülebilir.



ÖRNEK



Yukarıdaki sistemde Ar gazının basıncı kaç cmHg'dir?

ÇÖZÜM

$$P_{\text{He}} = P_0 + 32$$

$$P_{\text{He}} = 76 + 32$$

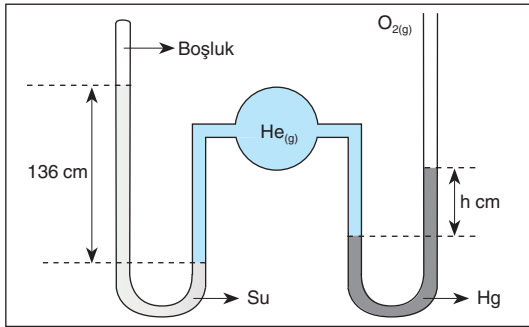
$$P_{\text{He}} = 108 \text{ cmHg}$$

$$P_{\text{Ar}} = P_{\text{He}} - 12$$

$$P_{\text{Ar}} = 108 - 12$$

$$P_{\text{Ar}} = 96 \text{ cmHg}$$

ÖRNEK



Şekildeki sistemde oksijen gazının basıncı 20 mmHg olduğuna göre h yüksekliği kaç cm'dir?

($d_{\text{su}}: 1 \text{ g/cm}^3$, $d_{\text{Hg}}: 13,6 \text{ g/cm}^3$)

ÇÖZÜM

136 cm yükseklikteki su sütununun basıncı cmHg cinsinden bulunmalıdır.

$$h_{\text{su}} \cdot d_{\text{su}} = h_{\text{Hg}} \cdot d_{\text{Hg}}$$

$$136 \cdot 1 = h_{\text{Hg}} \cdot 13,6$$

$$h_{\text{Hg}} = 10 \text{ cm Hg}$$

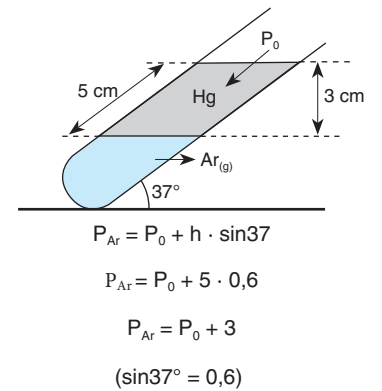
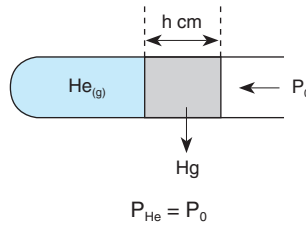
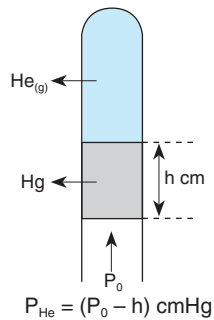
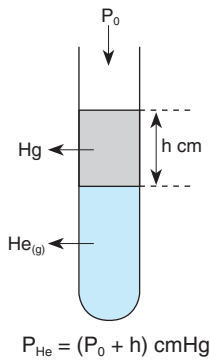
$$P_{\text{He}} = 10 \text{ cmHg} \quad P_{\text{O}_2} = 20 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{He}} = P_{\text{O}_2} + h \quad = 2 \text{ cmHg}$$

$$10 \text{ cmHg} = 2 \text{ cmHg} + h$$

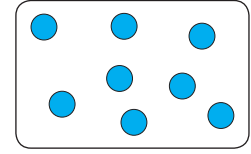
$$h = 8 \text{ cm}$$

Tüplerdeki gaz basıncının ölçülmesi



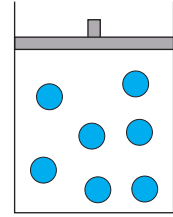
• **Önemli:** Gazların bulunduğu iki kap türü vardır.

1. Sabit hacimli kap: Camdan veya metalden yapılmış kaplar sabit hacimli kaplardır. Bu kaplarda sıcaklık artışı veya gaz miktarının artması kabın hacmini değiştirmez, basıncın artmasına yol açar. (Kabın hacmi belirli bir basınca kadar sabittir. Belirli bir basınçtan sonra kap patlar.)



$T \uparrow$ $P \uparrow$, V sbt
 $n \uparrow$ $P \uparrow$, V sbt

2. Sabit basınçlı kap: İdeal pistonlu kaplar ve elastik balonlar sabit basınçlı kaplardır. Piston serbest kaldığı sürece ve elastik balon patlamadığı sürece içerideki gaz basıncı dış basınca eşittir. Sıcaklık artışı veya gaz miktarının artması kabın hacminin artmasına yol açar, basınç değişmez.



$T \uparrow$ P sbt, $V \uparrow$
 $n \uparrow$ P sbt, $V \uparrow$

2. GAZ YASALARI

Gazların, basınç-hacim, sıcaklık-hacim ve hacim-miktar ilişkileri incelendiğinde temel gaz yasaları belirlenebilir.

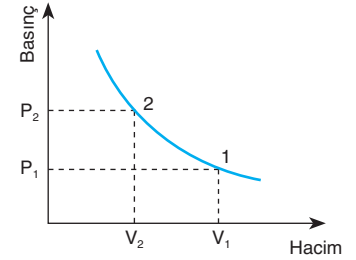
2. 1. Basınç-Hacim İlişkisi (Boyle-Mariotte Yasası)

Robert Boyle, bir gaz örneğinin basıncının artırılması ile, bu gazın hacminin basınçla ters orantılı olarak azaldığını bulmuştur. Basınç ve hacim arasındaki bu ilişkiyi gösteren matematiksel ifade şöyledir:

$$P \propto 1/V$$

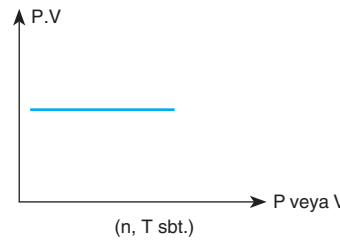
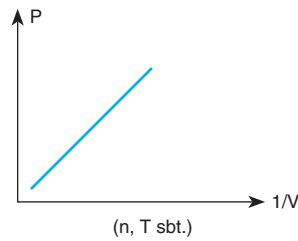
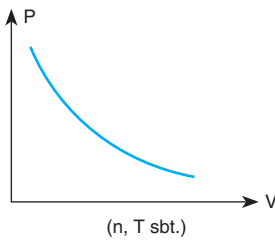
Boyle yasasına göre, sabit sıcaklıkta belirli miktardaki bir gazın basıncı, hacmi ile ters orantılıdır.

Gaz miktarı değişmedikçe (kapalı bir kapta) ve sıcaklık sabit tutulduğunda;



$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

bağıntısı yazılabilir.



ÖRNEK

Bir miktar gaz örneği 0,750 atm basınç altında 360 mL hacim kaplamaktadır. Sıcaklık sabit tutularak basınç 1,20 atm yapıldığında, bu gaz örneği ne kadar hacim kaplar?

ÇÖZÜM

Gazın mol sayısı ve sıcaklık sabit olduğundan verilen iki durum için $P_1V_1 = P_2V_2$ formülü kullanılır.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$0,750 \text{ atm} \cdot 360 \text{ mL} = 1,20 \text{ atm} \cdot V_2$$

$$V_2 = 225 \text{ mL hacim kaplar.}$$

ÖRNEK

Deniz seviyesinde 760 mmHg basınçta helyum ile şişirilmiş 0,4 L hacme sahip bir balon 2 km yüksekliğe çıktığında hacmi 0,5 L olmaktadır. Bu yükseklikte sıcaklığın sabit kaldığı varsayıldığında açık hava basıncı kaç mmHg'dır?

ÇÖZÜM

Gazın mol sayısı ve sıcaklık sabittir.

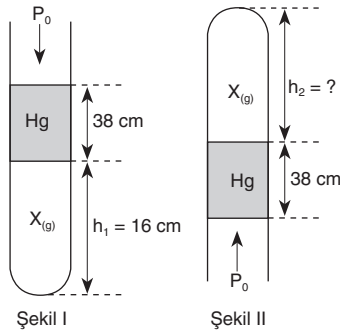
$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$760 \text{ mm Hg} \cdot 0,4 \text{ L} = P_2 \cdot 0,5 \text{ L}$$

$$P_2 = 608 \text{ mmHg}$$

ÖRNEK

Açık hava basıncının 76 cmHg olduğu bir ortamda Şekil I'deki kapiler boru sabit sıcaklıkta ters çevrilecek sistemin dengeye gelmesi bekleniyor ve Şekil II elde ediliyor. X gazının Şekil I'de kapladığı hacim $h_1=16 \text{ cm}$ olduğuna göre şekil II'deki h_2 yüksekliği kaç cm'dir?

**ÇÖZÜM**

Aynı sıcaklıkta gazın mol sayısı değiştirilmeden yalnızca kapiler boru ters çevriliyor. Bu nedenle iki durum için $P_1 V_1 = P_2 V_2$ kullanılabilir. Kapilen borudaki gazın yüksekliği, gaz hacmi ile orantılıdır.

Şekil I

$$P_x = P_0 + 38$$

$$P_x = 76 + 38 = 114 \text{ cmHg}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$114 \cdot 16 = 38 \cdot V_2$$

$$V_2 = 48 \text{ cm}$$

Şekil II

$$P_0 = P_x + 38$$

$$P_x = 76 - 38 = 38 \text{ cmHg}$$

2. 2. Sıcaklık-Hacim ve Sıcaklık – Basınç İlişkisi (Charles ve Gay-Lussac Yasaları)

Sıcaklık ve hacim arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için basıncın sabit kaldığı durumu incelemek gerekmektedir. Bunun için ideal hareketli pistonlu kaplar yani sabit basınçlı kaplar kullanılmaktadır. Sabit basınçlı kaptaki gaz ısıtılırsa, hacminin arttığı gözlenmiştir. Kelvin cinsinden sıcaklıkla, hacim doğrusal olarak değişmektedir.

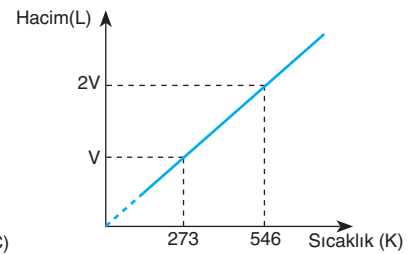
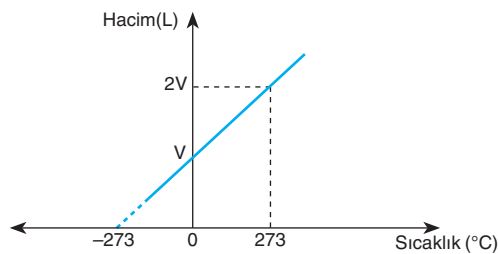
$$V \propto T$$

Bu yasaya göre, sabit basınçta, belirli miktar bir gazın hacmi, mutlak sıcaklık ile doğru orantılıdır.

Sabit basınçlı kapalı bir kaptaki;

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

bağıntısı yazılabilir.



Hacmi ve miktarı sabit olan bir gazın basıncı, mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır.

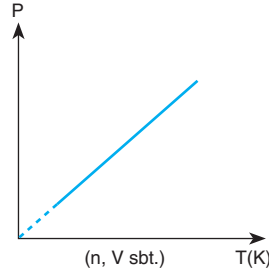
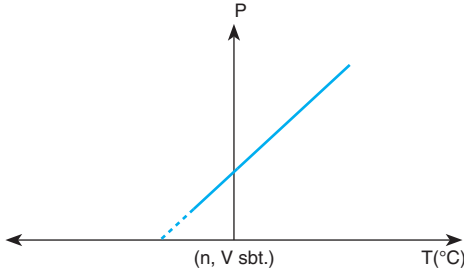
(Gay – Lusac Yasası)

$$P \propto T$$

Sabit hacimli kapalı bir kaptaki;

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

bağıntısı yazılabilir.



ÖRNEK

Sabit basınçlı kapalı bir kaptaki 27 °C'da, 120 mL' lik hacim kaplayan He gazı bulunmaktadır. Sıcaklık 277 °C'ye çıkarılırsa kabın son hacmi kaç mL olur?

ÇÖZÜM

$$T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K} \quad T_2 = 277 + 273 = 550 \text{ K}$$

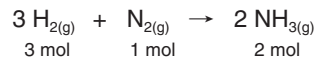
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \frac{120 \text{ mL}}{300 \text{ K}} = \frac{V_2}{550 \text{ K}} \quad V_2 = 220 \text{ mL}$$

2. 3. Hacim-Miktar İlişkisi (Avogadro Yasası)

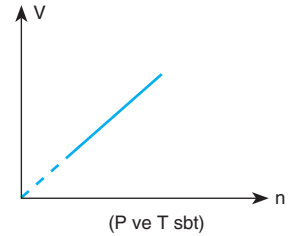
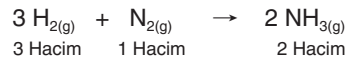
Aynı sıcaklık ve basınçta, farklı gazların eşit hacimleri, aynı sayıda molekül içermektedir. Buna göre herhangi bir gazın hacmi, mol sayısı ile doğru orantılıdır.

$$V \propto n$$

Avogadro yasasına göre, iki gaz tepkimeye girdiğinde, bu gazların hacimleri arasında basit bir oran vardır. Eğer ürün bir gaz ise, bu gazın hacmi ile tepkimeye giren gazların hacimleri arasında basit bir oran bulunur.



Aynı sıcaklık ve basınçta, gazların hacimleri, mol sayılarıyla doğru orantılı olduğundan, 3 hacim $\text{H}_{2(g)}$ ve 1 hacim $\text{N}_{2(g)}$ gazının tepkimesinden 2 hacim $\text{NH}_{3(g)}$ oluşur.



ÖRNEK

2,0 gram He gazının 8 L hacim kapladığı koşullarda 24 gram CH_4 gazı kaç litre hacim kaplar?
(H:1, He:4, C:12 g/mol)

ÇÖZÜM

$$n_{\text{He}} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ mol} \quad n_{\text{CH}_4} = \frac{24}{16} = 1,5 \text{ mol}$$

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \quad , \quad \frac{8 \text{ L}}{0,5 \text{ mol}} = \frac{V_2}{1,5 \text{ mol}}$$

$$V_2 = 24 \text{ L}$$

3. İdeal Gaz Denklemi

Boyle Yasası : $V \propto 1/P$ (n ve T sabit)

Charles Yasası : $V \propto T$ (n ve P sabit)

Avogadro yasası : $V \propto n$ (P ve T sabit)

Gazların davranışını tek bir eşitlikte vermek için, bu üç farklı ifadeyi birleştirilebiliriz.

$$V \propto \frac{nT}{P} \quad V = R \frac{nT}{P} \quad \boxed{P \cdot V = n \cdot R \cdot T}$$

Burada R ideal gaz sabitidir. Yukarıda verilen eşitlik, ideal gaz denklemidir ve dört değişken, (P, V, T ve n) arasındaki ilişkiyi verir. İdeal gazın hacim-basınç-sıcaklık davranışı ideal gaz denklemi ile açıklanabilir. İdeal gaz moleküllerinin birbirlerini itip çekmedikleri kabul edilir. Gaz taneciklerinin kendi hacimleri, kabın hacmi ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. Doğada tamamen ideal gaz olarak davranan herhangi bir gaz olmamasına rağmen, gerçek gazlar uygun sıcaklık ve basınçlarda ideal gazlara yakın davranırlar. Bu nedenle, ideal gaz denklemi birçok gaz probleminin çözümünde kullanılabilir.

0°C ve 1 atm basınçta (normal koşullar) altında 1 mol ideal gaz; 22,414 L hacim kaplamaktadır.

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1\text{atm})(22,414\text{L})}{(1\text{mol})(273,15\text{K})} = 0,082057 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$$

veya $R = 8,3145 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

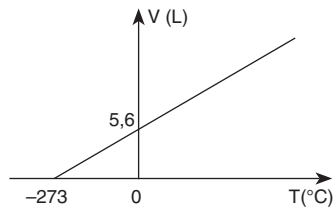
ÖRNEK

6 gram X gazı 27°C'da 410 mL hacimli kaba 12 atm basınç yapmaktadır. Buna göre X gazının molekül ağırlığı kaç gram/mol'dür?

ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} P \cdot V &= n \cdot R \cdot T & T &= 27 + 273 = 300\text{K} & V &= 0,410 \text{ L} \\ 12 \cdot 0,410 &= n \cdot 0,082 \cdot 300 \\ n &= 0,2 \text{ mol} \\ n &= \frac{m}{M_A} & 0,2 &= \frac{6}{M_A} & M_A &= 30 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

ÖRNEK



Pistonlu bir kapta bulunan 0,22 gram CO₂ gazına ait hacim-sıcaklık grafiği yukarıda verilmiştir. Buna göre kabın bulunduğu ortamın dış basıncı kaç cmHg'dir? (C:12, O:16 g/mol)

ÇÖZÜM

Grafiğe göre gaz örneği 0°C'de 5,6 L hacim kaplar.

$$\begin{aligned} n &= \frac{0,22}{44} = 0,005 \text{ mol} & P \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\ P \cdot 5,6 &= 0,005 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273 \\ P &= 0,02 \text{ atm} = 1,52 \text{ cmHg} \end{aligned}$$

4. Genel Gaz Denklemi

İdeal gaz denklemi, bir gaz örneğinin farklı şartlardaki durumlarının karşılaştırılması veya farklı gazların karşılaştırılması içinde kullanılabilir.

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = R = \frac{P_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \text{ olur.}$$

ÖRNEK

819 °C da ve 1,15 atm basıncıdaki ideal bir gaz örneğinin hacmi 400 mL dir. Buna göre, aynı gaz örneğinin normal koşullardaki hacmi kaç ml'dir?

ÇÖZÜM

Normal koşullarda $T = 273 \text{ K}$ ve $P = 1 \text{ atm}$ 'dir.

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \quad n \text{ sabit}$$

$$T_1 = 819 + 273 = 1092 \text{ K}$$

$$\frac{1,15 \cdot 400}{1092} = \frac{1 \cdot V_2}{273}$$

$$V_2 = 115 \text{ mL}$$

ÖRNEK

Sabit hacimli kapalı bir kaptaki 27 °C da, 0,8 gram He gazı bulunmaktadır. Kaba 0,2 gram H₂ gazı eklenip sıcaklık 227 °C ye çıkarıldığında ilk basıncın son basınca oranı ne olur? (H:1, He: 4 g/mol)

ÇÖZÜM

$$n_{\text{He}} = \frac{0,8}{4} = 0,2 \text{ mol} \quad T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$n_{\text{H}_2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ mol} \quad T_2 = 227 + 273 = 500 \text{ K}$$

$$V \text{ sabit}$$

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

$$\frac{P_1}{0,2 \cdot 300} = \frac{P_2}{(0,2 + 0,1) \cdot 500}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{2}{5}$$

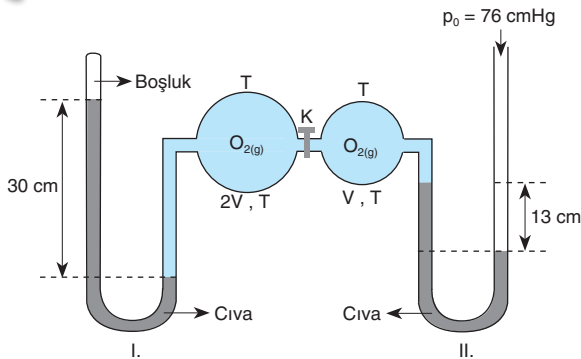
5. Gazların Karıştırılması

Gaz örnekleri karıştırıldığında kimyasal bir tepkime olmuyorsa, gazların toplam mol sayısı korunur.

$$n_1 + n_2 = n_{\text{toplam}}$$

Sıcaklık sabit ise; $PV = nRT$ formülünden gazın mol sayısının P.V çarpımıyla doğru orantılı olduğu görülür. n yerine PV yazılırsa

$$P_1 \cdot V_1 + P_2 \cdot V_2 = P_s \cdot V_s$$

ÖRNEK**ÇÖZÜM**

$$P_1 = 30 \text{ cmHg} \quad P_2 = 76 - 13 = 63 \text{ cmHg}$$

Kaplar birleştirildiği için,

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = P_{\text{son}} \cdot V_{\text{son}}$$

$$30 \cdot 2V + 63 \cdot V = P_{\text{son}} \cdot 3V$$

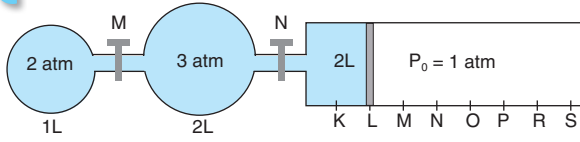
$$P_{\text{son}} = 41 \text{ cmHg}$$

II. manometrede civa düzeyleri arasındaki fark;

$$76 - 41 = 35 \text{ cm Hg olur.}$$

K musluğu sabit sıcaklıkta açıldığında II. manometrelerdeki civa seviyeleri farkı kaç cm olur?

ÖRNEK



Yukarıdaki sistemde sabit sıcaklıkta M ve N muslukları açılıyor. Dış basınç 1 atm olduğuna göre, ideal piston hangi noktada durur?

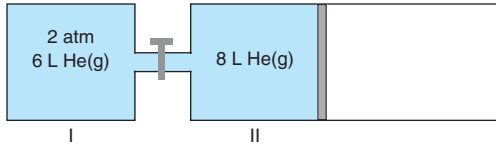
ÇÖZÜM

Musluklar açıldığında toplam mol sayısı değişmediği için, $P_1 \cdot V_1 + P_2 \cdot V_2 + P_3 \cdot V_3 = P_{\text{son}} \cdot V_{\text{son}}$ formülü kullanılabilir. Son durumda piston durduğunda kap içerisindeki basınç dış basınca eşittir. Yani $P_{\text{son}} = 1$ atm'dir.

$$2 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 1 \cdot V_{\text{son}}$$

$V_{\text{son}} = 10$ L olur. Piston R noktasında durur.

ÖRNEK



Şekildeki II kabında bulunan He gazının tamamı musluk açılarak piston yardımıyla I kabına aktarıldığında toplam basınç 4 atm oluyor. Buna göre II kabındaki gazın ilk basıncı kaç atm'dir?

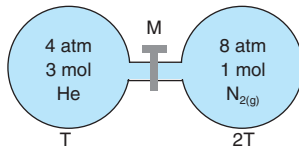
ÇÖZÜM

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = P_s V_s$$

$$2 \text{ atm} \cdot 6 \text{ L} + P_2 \cdot 8 \text{ L} = 4 \text{ atm} \cdot 6 \text{ L}$$

$$P_2 = 1,5 \text{ atm}$$

ÖRNEK



Kaplar arasındaki M musluğu açılarak sistemin son sıcaklığı 2T'ye ayarlanıyor. Son durumda gaz basıncı kaç atm olur?

ÇÖZÜM

$$PV = nRT$$

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

Kapların hacimleri bilinmiyor. Ancak iki kabın hacminin toplamı, toplam hacim olarak gösterilirse,

$$V_1 + V_2 = V_{\text{son}}$$

$$\frac{n_1 \cdot \cancel{RT_1}}{P_1} + \frac{n_2 \cdot \cancel{RT_2}}{P_2} = \frac{n_{\text{son}} \cdot \cancel{RT_{\text{son}}}}{P_{\text{son}}}$$

$$\frac{3 \cdot T}{4} + \frac{1 \cdot 2T}{8} = \frac{4 \cdot 2T}{P_{\text{son}}}$$

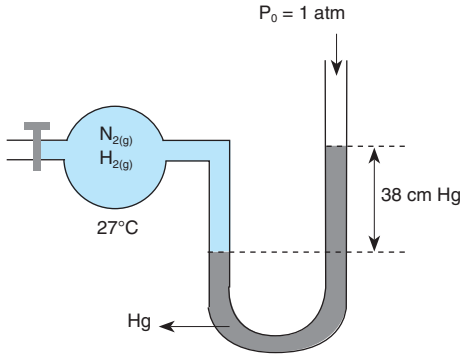
$$P_{\text{son}} = 8 \text{ atm}$$

6. Tepkimeli Gaz Problemleri

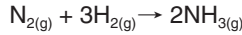
Tepkimeli gaz problemlerini çözerken genel gaz denklemini kullanabiliriz.

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$$

ÖRNEK



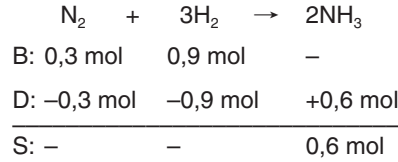
Yukarıdaki basınca dayanıklı cam balonda $8,4 \text{ g } N_2$ ve $1,8 \text{ g } H_2$ gazları bulunmaktadır. Kabin sıcaklığı $127^\circ C$ 'a çıkartıldığında gazlar arasında;



tepkimesi gerçekleşmektedir. Tepkime tam verimle gerçekleştiğine göre $127^\circ C$ 'da cam balona yapılan basınç kaç atm olur? (N: 14, H: 1 g/mol)

ÇÖZÜM

$$n_{N_2} = \frac{8,4}{28} = 0,3 \text{ mol } N_2 \quad n_{H_2} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ mol } H_2$$



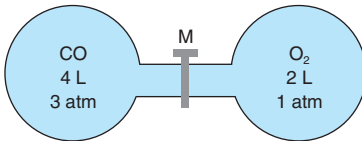
Kap sabit hacimli olduğu için;

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

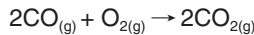
$$\frac{1,5 \text{ atm}}{1,2 \text{ mol} \cdot 300 \text{ K}} = \frac{P_2}{0,6 \text{ mol} \cdot 400 \text{ K}}$$

$$P_2 = 1 \text{ atm}$$

ÖRNEK



Yukarıdaki sistemde sabit sıcaklıkta M musluğu açılıyor. Gazların,

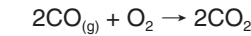


denkleminde göre tepkimeye girmeleri sağlanıyor. Tepkimeden sonra mutlak sıcaklık 2 katına çıktığına göre son basınç kaç atm'dir?

ÇÖZÜM

Gazların mol sayıları verilmemiştir. Sabit sıcaklık gazının mol sayısı $P \cdot V$ çarpımı ile orantılıdır. ($PV = nRT$)

$$n_{CO} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ n} \quad n_{O_2} = 2 \cdot 1 = 2 \text{ n}$$



$$B: 12 \text{ n} \quad 2 \text{ n} \quad -$$

$$D: -4 \text{ n} \quad -2 \text{ n} \quad +4 \text{ n}$$

$$S: 8 \text{ n} \quad - \quad 4 \text{ n}$$

Toplam: 12n gaz bulunur.

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} = \frac{P_s V_s}{n_s V_s}$$

Başlangıçtaki durumda herhangi bir gaz için verilen değerler kullanılabilir.

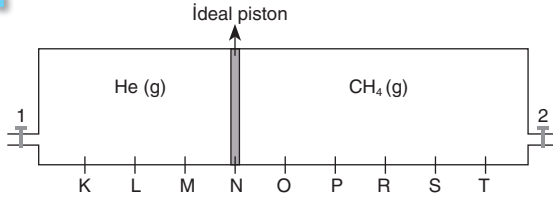
$$\frac{3 \text{ atm} \cdot 4 \text{ L}}{12 \text{ n} \cdot T} = \frac{P_s \cdot 6 \text{ L}}{12 \text{ n} \cdot 2T}$$

Başlangıçtaki CO gazı Son durumdaki gaz karışımı

$$P_s = 4 \text{ atm}$$

7. Bölmeli Kaplar

ÖRNEK



Yukarıdaki ideal piston ile ayrılmış bölmeli kaptaki 0,8 gram He ve bir miktar CH_4 gazları bulunmaktadır. Sabit sıcaklıkta sistem dengede olduğuna göre;

- Kapta kaç gram CH_4 gazı vardır? ($\text{He} = 4$, $\text{CH}_4 = 16$)
- CH_4 gazının 0,25 molü dışarı alındığında piston nerede durur?
- 1 musluğu yardımı ile kaç mol He gazı eklenirse piston P noktasına gelir? (Bölmeler eşit aralıktır.)

ÇÖZÜM

- Her iki gaz için basınç ve sıcaklık aynı olduğuna göre $PV = nRT$ mol sayıları ile hacimleri orantılıdır. He 4 birim, CH_4 6 birim hacim kaplar.

$$n_{\text{He}} = \frac{0,8}{4} \quad \frac{V_{\text{He}}}{n_{\text{He}}} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{n_{\text{CH}_4}} \quad \frac{4}{0,2} = \frac{6}{n_{\text{CH}_4}}$$

$$n_{\text{He}} = 0,2 \text{ mol} \quad n_{\text{CH}_4} = 0,3 \text{ mol CH}_4 \text{ bulunur.}$$

$$m_{\text{CH}_4} = 0,3 \cdot 16 = 4,8 \text{ g CH}_4 \text{ gazı vardır.}$$

- $0,3 \text{ mol} - 0,25 \text{ mol} = 0,05 \text{ mol CH}_4$ gazı kalır. Piston bu yeni mol oranlarına uygun olarak hareket eder. Kabinin toplam hacmi 10V'dir.

$$\frac{V_{\text{He}}}{n_{\text{He}}} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{n_{\text{CH}_4}} \quad \frac{V}{0,2 \text{ mol}} = \frac{10-V}{0,05 \text{ mol}}$$

$$0,05V = 2 - 0,2V$$

$$V = 8$$

Piston S noktasında durur.

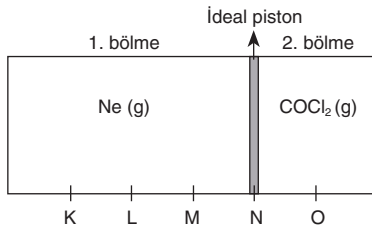
- P noktasında He 6 V, CH_4 4 V hacim kaplar.

$$\frac{V_{\text{He}}}{n_{\text{He}}} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{n_{\text{CH}_4}} \quad \frac{6V}{0,2 + n} = \frac{4V}{0,3}$$

$$n = 0,25 \text{ mol}$$

He gazı eklenmelidir.

ÖRNEK



Yukarıdaki kaptaki sabit sıcaklıkta,



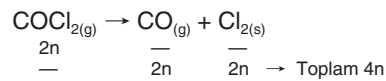
tepimesi tam verimle artansız gerçekleşiyor. Son durumda ideal piston nerede durur? (Bölmeler eşit aralıktır.)

ÇÖZÜM

Başlangıçta kaptaki gazların hacimleri ile mol sayıları orantılıdır.

$$V_{\text{Ne}} = 4V \quad V_{\text{COCl}_2} = 2V$$

$$n_{\text{Ne}} = 4n \quad n_{\text{COCl}_2} = 2n$$



Son durumda 2. bölmede 4n gaz bulunur.

1. ve 2. bölmede eşit molde gaz bulunduğu için gaz hacimleri de aynıdır. Piston tam orta noktada, M noktasında durur.

8. Dalton'un Kısmi Basınçlar Yasası

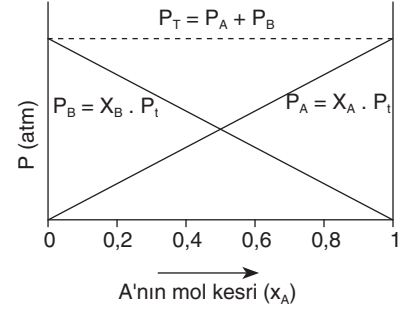
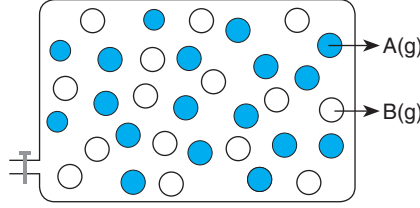
Kapalı bir kaptaki gaz karışımındaki her bir gazın kaba tek başına yaptığı basınca o gazın kısmi basıncı denir. İdeal gaz denkleminde uyan gazlar, basit gaz yasalarına da uyarlar. Bu yasalar tek tür gazlara uygulanabildiği gibi gaz karışımlarına da uygulanabilir. Bu durumda n yerine n_T , P yerine P_T kullanılır. Dalton kısmi basınçlar yasasına göre; bir gaz karışımının toplam basıncı, karışımın bileşenlerinin kısmi basınçlarının toplamına eşittir.

$$P_T = P_A + P_B$$

$$n_T = n_A + n_B$$

$$P_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \cdot P_T$$

$$\frac{P_A}{P_T} = \frac{n_A}{n_T}$$



Gaz karışımlarının bileşimi genellikle hacim % si olarak verilir.

$$\frac{P_A}{P_T} = \frac{n_A}{n_T} = \frac{V_A}{V_T}$$

$$\frac{n_A}{n_T} = X_A \text{ olduğuna göre } X_A = \frac{P_A}{P_T} \text{ 'dir.}$$

X_A , A'nın mol kesridir. Bir karışım içindeki bir bileşenin mol kesri, bileşenin mol sayısının toplam mol sayısına oranıdır. Bir karışım içinde bütün mol kesirleri toplamı 1'e eşittir.

ÖRNEK

40,0 gram oksijen gazı ve 40,0 gram helyum karışımının toplam basıncı 0,900 atm dir. Bu karışım içerisindeki oksijen gazının kısmi basıncı kaç atm'dir? (O: 16, He: 4 g/mol)

ÇÖZÜM

$$n_{O_2} = \frac{40}{32} = 1,25 \text{ mol} \quad n_{He} = \frac{40}{4} = 10 \text{ mol}$$

$$\frac{P_{O_2}}{P_T} = \frac{n_{O_2}}{n_T} \quad \frac{P_{O_2}}{1,25} = \frac{0,9}{11,25} \quad P_{O_2} = 0,1 \text{ atm}$$

ÖRNEK

11,2 litrelik bir kaba 7 g N_2 , 22 g CO_2 ve 30 g Ne gazları konulmaktadır. 273 K'de;

- Her bir gazın kısmi basıncı kaç atmosferdir?
- Kaptaki toplam basınç kaç atmosferdir?
(N_2 : 28, CO_2 : 44, Ne: 20 g/mol)

ÇÖZÜM

$$a) \quad n_{N_2} = \frac{7}{28} = 0,25 \text{ mol} \quad n_{CO_2} = \frac{22}{44} = 0,5 \text{ mol}$$

$$n_{Ne} = \frac{30}{20} = 1,5 \text{ mol}$$

$$P_{N_2} \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P_{N_2} \cdot 11,2 = 0,25 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$P_{N_2} = 0,5 \text{ atm}$$

$$\frac{P_{CO_2}}{n_{CO_2}} = \frac{P_{N_2}}{n_{N_2}}$$

$$\frac{P_{CO_2}}{0,5} = \frac{0,5}{0,25}$$

$$P_{CO_2} = 1 \text{ atm}$$

$$\frac{P_{Ne}}{n_{Ne}} = \frac{P_{N_2}}{n_{N_2}}$$

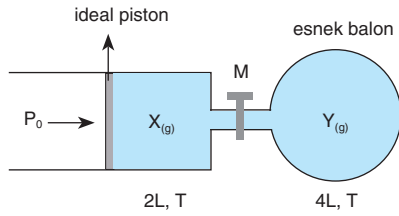
$$\frac{P_{Ne}}{1,5} = \frac{0,5}{0,25}$$

$$P_{Ne} = 3 \text{ atm}$$

$$b) \quad P_T = P_{N_2} + P_{CO_2} + P_{Ne}$$

$$P_T = 0,5 + 1 + 3 = 4,5 \text{ atm}$$

	V = sbt		P = sbt	
	P_{He}	P_{CH_4}	P_{He}	P_{CH_4}
Sıcaklık artarsa	artar	artar	değişmez	değişmez
Sıcaklık azalırsa	azalır	azalır	değişmez	değişmez
Kaba $He_{(g)}$ eklenirse	artar	değişmez	artar	azalır
Kaptan CH_4 çekilirse	değişmez	azalır	artar	azalır

ÖRNEK

Açık hava basıncının 75 cmHg olduğu ortamda, X gazının tamamı sabit sıcaklıkta piston ve M musluğu yardımı ile ideal esnek balona aktarılıyor. Buna göre son karışımda,

- X gazının mol kesri nedir?
- Her bir gazın kısmi basıncı kaç cmHg'dir?
- Esnek balonun hacmi kaç litredir?

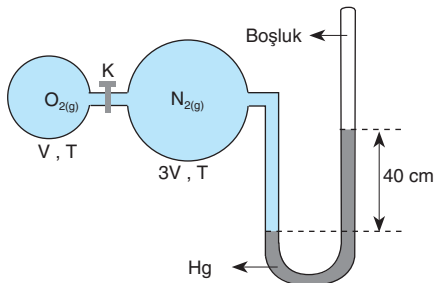
ÇÖZÜM

- a) Sabit sıcaklık ve basınçtaki gazların mol sayıları hacimleri ile orantılıdır.

$$n_x = 2n \quad n_y = 4n \text{ olur.} \quad X_x = \frac{2n}{2n + 4n} = \frac{1}{3}$$

- b) $\frac{P_x}{n_x} = \frac{P_T}{n_T}$, $\frac{P_x}{2n} = \frac{75}{6n}$
 $P_x = 25 \text{ cmHg}$ $P_y = 50 \text{ cmHg'dir.}$

- c) $\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$ $\frac{4L}{4n} = \frac{V_{\text{son}}}{6n}$ $V_{\text{son}} = 6L \text{ olur.}$

ÖRNEK

M musluğu açılarak yeterince beklendiğinde son basınç 48 cmHg olmaktadır. Buna göre, ilk durumda ve son durumda O_2 gazının kısmi basıncı kaç cmHg dir?

ÇÖZÜM

N_2 gazının ilk basıncı $P_{N_2} = 40 \text{ cmHg'dir.}$

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = P_s V_s$$

$$P_{O_2} \cdot V + 40 \cdot 3V = 48 \cdot 4V$$

$$P_{O_2} = 72 \text{ cmHg ilk durumdaki basıncı}$$

Musluk açıldığında O_2 'nin hacmi V'den 4V'ye çıkmıştır. O_2 için,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$72 \cdot V = P_{\text{son}} \cdot 4V$$

$$P_{\text{son}} = 18 \text{ cmHg son durumda } O_2 \text{'nin kısmi basıncı}$$

9. Gazların Yoğunluğu

Gaz yoğunlukları önemli ölçüde basınç ve sıcaklığa bağlıdır. Sabit sıcaklıkta basınç arttığında gaz yoğunluğu artar. Sabit basınçta sıcaklık arttığında ise azalır. Sıvı ve katıların yoğunlukları da sıcaklığa bağlı olmakla beraber basınca çok az bağlıdır. Gazın yoğunluğu sıcaklık ile ters orantılı olarak değişir. Bir gazın yoğunluğu onun mol kütlesi ile doğru orantılıdır. Sıvı ve katıların yoğunlukları ile mol kütleleri arasında önemli bir ilişki yoktur.

$$PV = nRT$$

$$PV = (m/M_A)RT$$

$$P \cdot M_A = (m/V) RT$$

$$P \cdot M_A = d \cdot R \cdot T$$

ÖRNEK

C_4H_8 gazının $0^\circ C$ da ve $0,5$ atm basınç altındaki yoğunluğu kaç g/L'dir? (C:12, H:1 g/mol)

ÇÖZÜM

$$M_A = 4 \cdot 12 + 8 \cdot 1 = 56 \text{ g/mol}$$

$$P \cdot M_A = d \cdot R \cdot T$$

$$0,5 \cdot 56 = d \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$d = 1,25 \text{ g/L}$$

ÖRNEK

C_nH_{2n} gazının normal koşullar altında yoğunluğu $1,875$ g/L olduğuna göre; bu gazın molekül formülü nedir? (C:12, H:1 g/mol)

ÇÖZÜM

$$P \cdot M_A = d \cdot R \cdot T$$

$$1 \cdot M_A = 1,875 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$M_A = 42 \text{ g/mol}$$

$$C_n H_{2n}$$

$$12 \cdot n + 2n = 42$$

$$n = 3$$

$$C_3 H_6$$

ÖRNEK

İdeal davranıştaki X_4H_8 ve YO_2 gazlarından oluşan bir karışım $4,8$ mol H ve $1,8$ mol O atomu içermektedir. Bu karışımın, $0^\circ C$ ve 1 atm deki yoğunluğu $2,0$ g/L olduğuna göre,

- a) Karışımın ortalama molekül kütlesi nedir?
b) Karışımın toplam kütlesi kaç gramdır?

ÇÖZÜM

a) $P \cdot M_A = d \cdot R \cdot T$

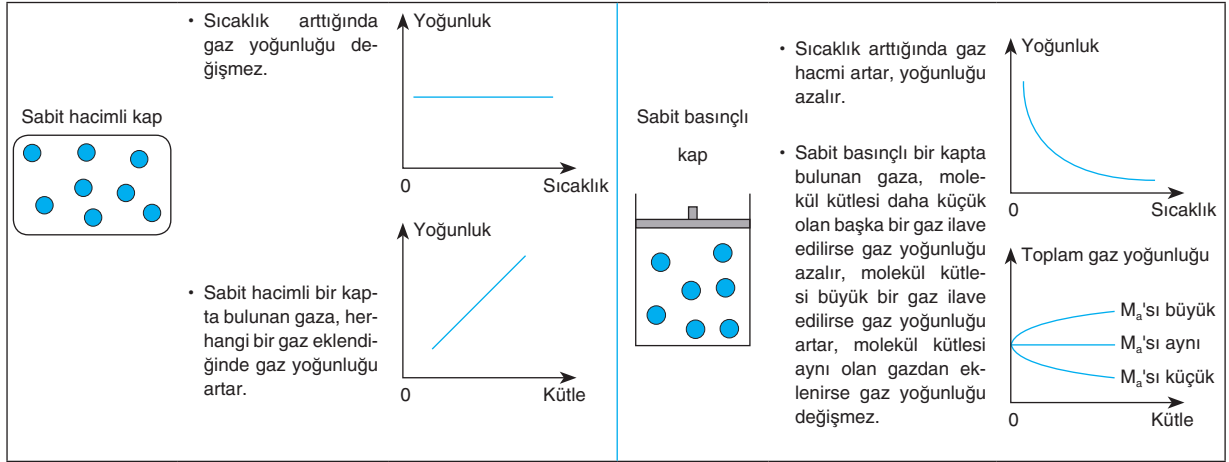
$$1 \cdot M_A = 2 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$M_A = 44,8 \text{ g/mol}$$

- b) $4,8$ mol H içeren X_4H_8 gazı $1,2$ mol'dür.
 $1,8$ mol O içeren YO_2 gazı $0,9$ mol'dür.

$$n_{\text{Top}} = n_{X_4H_8} + n_{YO_2} = 1,2 + 0,9 = 2,1 \text{ mol gaz var.}$$

1 mol karışım	44,8 gram
2,1 mol karışım	?
<hr/>	
$m = 94,08$ g karışımın toplam kütlesi	



10. Gazların Su Üzerinde Toplanması ve Sıvıların Buhar Basıncı

Belirli bir sıcaklıkta sıvı buharının yapabildiği basınca o sıvının denge buhar basıncı denir.

Bir sıvının buhar basıncı;

- sıvının türüne,
- sıvının sıcaklığına (doğru orantılı),
- sıvının saflığına (doğru orantılı)

bağlıdır.

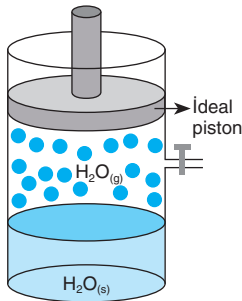
- sıvının miktarına,
- sıvının bulunduğu kabın şekline,
- sıvının yüzey alanına,
- sıvının bulunduğu ortamın dış basıncına,
- sıvının bulunduğu kabın hacmine bağlı değildir.



NOT

Saf bir sıvının buhar basıncı yalnızca sıcaklığa bağlı olarak değişir.

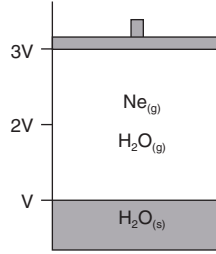
ÖRNEK



	Suyun buhar basıncı	H ₂ O gaz molekülleri sayısı	H ₂ O sıvı molekülleri sayısı
Piston aşağı itilirse (T,sbt)	Değişmez	Azalır	Artar
Piston yukarı çekilirse (T,sbt)	Değişmez	Artar	Azalır
Sıcaklık artarsa	Artar	Artar	Azalır
Sıcaklık azalır	Azalır	Azalır	Artar

ÖRNEK

T °C sıcaklıkta pistonlu kap içerisinde bulunan toplam gaz basıncı 38 cmHg'dır. Sabit sıcaklıkta piston 3V'den 2V konumuna getirilip sabitlenirse toplam gaz basıncı kaç cmHg olur? (T °C'de P_{H_2O} : 2 cmHg)

**ÇÖZÜM**

Piston aşağı itildiğinde suyun buhar basıncı değişmez. Ne gazının ise hacmi azaldığı için basıncı artar.

İlk durum; $P_T = P_{Ne} + P_{H_2O}$ Ne gazı: $P_1V_1 = P_2V_2$

$$38 = P_{Ne} + 2$$

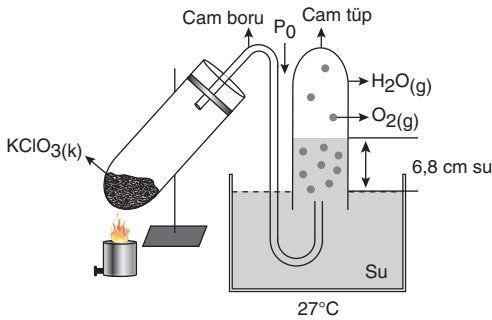
$$36 \cdot 2V = P_2 \cdot V$$

$$P_{Ne} = 36 \text{ cmHg}$$

$$P_2 = 72 \text{ cmHg}$$

Son durum: $P_{H_2O} = 2 \text{ cmHg}$

$$P_T = 72 + 2 = 74 \text{ cmHg}$$

ÖRNEK

İçerisinde 0,5 gram $KClO_3$ bulunan tüp ısıtıldığında,



tepkimesine göre açığa çıkan oksijen gazı su üzerinde bulunan cam tüp içerisinde toplanmaktadır. 27 °C'de 79 cmHg dış basınç altında toplanan gazın hacmi 147,6 cm^3 tür. Buna göre $KClO_3$ katısı % kaç verimle tepkimeye girmiştir? ($KClO_3$: 122,5; O_2 :32 g/mol; 27 °C'de suyun buhar basıncı 25 mmHg'dır.)

ÇÖZÜM

$$h_{su} \cdot d_{su} = h_{Hg} \cdot d_{Hg}$$

$$6,8 \cdot 1 = 13,6 \cdot h_{Hg}$$

$$h_{Hg} = 0,5 \text{ cm civa}$$

$$P_{Top} = P_0 - h$$

$$P_{Top} = 79 - 0,5 = 78,5 \text{ cmHg}$$

$$P_{Top} = P_{O_2} + P_{H_2O}$$

$$78,5 = P_{O_2} + 2,5$$

$$P_{O_2} = 76 \text{ cmHg}$$

$$PV = nRT$$

$$\frac{760}{760} \cdot 147,6 \cdot 10^{-3} = n \cdot 0,082 \cdot 300$$

$$n = 0,006 \text{ mol } O_2 \text{ gazı}$$

$$3 \text{ mol } O_2$$

$$2 \text{ mol } KClO_3$$

$$6 \cdot 10^{-3} \text{ mol } O_2$$

$$?$$

$$x = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol } KClO_3 \text{ katısı parçalanmıştır.}$$

$$m_{KClO_3} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 122,5 = 0,49 \text{ g}$$

$$0,5 \text{ g } KClO_3 \text{'in } 0,49 \text{ gramı tepkimeye girmişse}$$

$$\frac{100}{100} \quad ?$$

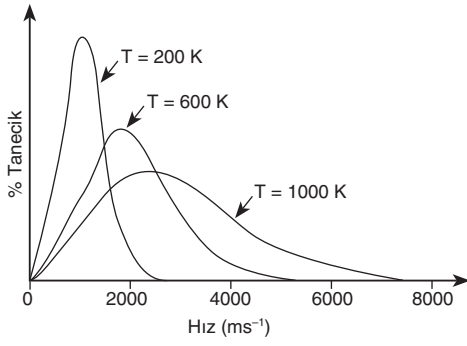
$$\%98 \text{ verimle parçalanmıştır.}$$

11. Gazların Kinetik Kuramı

Gazların kinetik kuramı, tüm gazların davranışlarını açıklamak için geliştirilmiş bir modeldir.

Gazların kinetik kuramı aşağıdaki ön kabulleri içerir.

- Gazlar tanecikli yapıdadır ve birbirlerinden bağımsız hareket eder.
- Gaz tanecikleri her yöne doğru gelişigüzel, hızla ve doğrusal hareket eder.
- Gaz tanecikleri birbirleriyle ve buldukları kabın çeperleriyle esnek çarpışır. Esnek çarpışmalar sırasında enerji kaybı olmadığı kabul edilir. Gazların çeperlere yaptığı bu çarpışmalar basınca sebep olur.



- Düşük basınçlarda gaz molekülleri arasındaki itme ve çekme kuvvetleri ihmal edilebilir.
- Düşük basınçlarda gaz taneciklerinin kapladıkları hacim, kabın hacmi yanında ihmal edilebilir.
- Gaz taneciklerinin her birinin hızı ve kinetik enerjisi farklıdır. Ancak aynı sıcaklıkta bulunan gazların ortalama kinetik enerjileri aynıdır.
- Gazların ortalama kinetik enerjileri yalnızca sıcaklığa bağlıdır ve mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır. Belirli bir sıcaklıkta tüm gazların molekülleri aynı ortalama kinetik enerjiye sahiptir.

ÖRNEK

Kinetik gaz teorisiyle ilgili;

- Gazlar sürekli ve tamamen gelişigüzel hareket ederler.
- Gaz taneciklerinin öz hacimleri, kabın hacmi yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
- Gazların kaba yaptıkları çarpımlar basınca yol açar.

yukarıdaki yargılardan hangileri doğrudur?

- A) I, II ve III B) II ve III C) I ve III
D) Yalnız III E) I ve II

ÇÖZÜM

Gazların buldukları kap içerisinde her yöne gelişigüzel yaptıkları doğrusal zigzaglı hareketlere Brown hareketleri denir. Gazlar bu hareketler sonucu kabın iç çeperine çarparak basınç yapar. Aynı zamanda öz hacimleri kabın hacmi yanında ihmal edilebilir.

Cevap A



NOT

İdeal gaz gerçekte var olmayan bir gaz örneğidir. moleküllerarası itme ve çekme kuvveti olmayan, çarpışmalar sonucunda kinetik enerji kaybı olmayan, öz hacmi bulunmayan gaz örneğine ideal gaz denir.

12. İdeal ve Gerçekler Gazlar

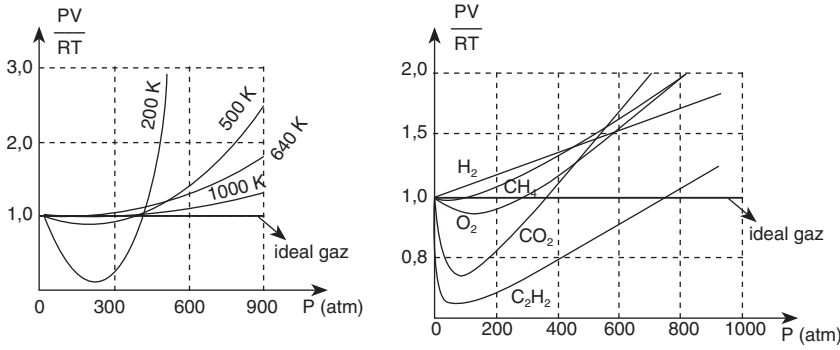
Gaz yasaları gerçek gazların, ideal olduğunu varsayarak ortaya atılmıştır. Kinetik kuram, gaz molekülleri arasında çekim kuvvetlerinin olmadığını kabul eder. Hâlbuki gazların tümü sıvılaştırılabildiğinden bu gibi çekim kuvvetleri var olmalıdır. Moleküller arası çekimler sıvı halde molekülleri bir arada tutar.

- Yüksek sıcaklıklarda gaz molekülleri çok hızlı hareket eder, moleküller arası çekim kuvvetlerinin etkisi çok küçük kalır. Düşük sıcaklıklarda moleküller daha yavaş hareket ederler ve hacim ideal gaz yasalarına göre beklenenden daha az olur. Çekim kuvvetlerinin varlığı önem kazanır.
- Kinetik kuramda ideal gazın hacmi sıfırdır. Gerçek gazlarda hacim sıfır olamaz. Basınç artırıldığında moleküller arası boşluk azalır, ancak moleküllerin kendi hacmi değiştirilemez.

$$\frac{P \cdot V}{R \cdot T} = 1$$

Yukarıdaki eşitlik 1 mol ideal gaz için sıkıştırılabilirlik faktörüdür.

Bütün gazlar yeterince düşük basınçlarda ideal davranırlar, fakat artan basınçlarda ideallikten saparlar. Yüksek basınçlarda sıkıştırılabilirlik faktörü 1'den büyüktür.

**NOT**

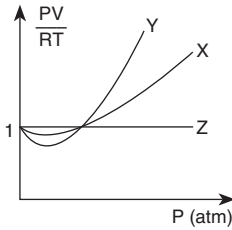
1 mol gaz için, $\frac{PV}{RT} > 1$ ise moleküler arası çekim kuvveti büyüktür.

Gazın basıncı ne olursa olsun, ideal bir gazın 1 molünün PV/RT değeri 1'e eşittir. Ancak gerçek gazlar her koşulda bu eşitliği sağlamaz. Gerçek gazlarda, yüksek basınçlarda ideallikten sapmalar gözlenir. Çok düşük basınçlarda ise bütün gazlar ideal davranış gösterir; Yani, P sıfıra yaklaştıkça PV/RT değerleri 1'e yaklaşır.

Gerçek gazlar yüksek sıcaklıklarda ve düşük basınçlarda ideallığe yaklaşırlar. Moleküllerin öz hacimlerine ve moleküller arası kuvvetlere bağlı olarak gerçek gazlar için düzeltme faktörü kullanılır.

ÖRNEK

Yandaki şekilde sabit sıcaklıkta bazı gazlara ait basınca karşı sıkıştırılabilirlik faktörü $\left(\frac{PV}{RT}\right)$ grafiği verilmiştir. Buna göre,



- I. Z, ideal gazı temsil etmektedir.
 - II. X gazı, Y gazına göre ideale daha yakındır.
 - III. Y gazının molekül kütlesi, X gazından büyüktür.
- yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

ÇÖZÜM

Z gazı ideal gazı temsil etmektedir. $\left(\frac{PV}{RT} = 1\right)$ X gazı, Y gazına göre ideale daha yakındır. M_A 'sı büyük olan gaz idealden daha fazla sapar.

Cevap E**13. Van der Waals Eşitliği (Gerçek Gaz Denklemi)**

J. van der Waals 1873 de ideal gaz denkleminde bu iki etkiyi dikkate alarak aşağıdaki Van der Waals eşitliğini geliştirmiştir.

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

Düzeltilmiş Basınç
Düzeltilmiş Hacim

a = Moleküller arası çekim kuvvetini

b = Sıkıştırılmayan hacmi ifade eder.

a ve b sayıları, gazdan gaza değişir ve deneysel olarak belirlenen sabit sayılardır. Doğadaki gazlar gerçek gazlardır.

Bazı Gazlar için Van der Waals Sabitleri

Gaz	a, L ² atm./mol ²	b, L/mol
Ar	1,345	0,03219
CO ₂	3,592	0,04267
Cl ₂	6,493	0,05622
He	0,03412	0,02370
H ₂	0,2444	0,02661
N ₂	1,390	0,03913
O ₂	1,360	0,03183

Gerçek gazlar yüksek sıcaklık düşük basınçta ideale yaklaşır. Gerçek gazlardan molekül ağırlığı küçük, kaynama noktası düşük olan ve apolar olanlar ideale en yakındır.

ÖRNEK

0,5 mol O₂ gazı 0°C de 2 L'lik bir kaba konuluyor.

- a) Gazın ideal davrandığı kabul edildiğinde,
b) Gazın gerçek gaz olduğu kabul edildiğinde basıncı kaç atm olur?

ÇÖZÜM

- a) İdeal davrandığı kabul edilirse ideal gaz denklemi kullanılır.

$$PV = nRT \quad P \cdot 2 = 0,5 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$P = 5,60 \text{ atm}$$

- b) Gerçek gaz olduğu kabul edilirse Wan der Waals denklemi kullanılır. Oksijen gazı için Wan der Waals sabitleri a = 1,360 b = 0,032

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

$$\left[P + \frac{0,5^2 \cdot 1,360}{2^2}\right] \left[2 - 0,5 \cdot 0,032\right] = 0,5 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$(P + 0,085)(1,984) = 11,2$$

$$P = 5,56 \text{ atm}$$

Gazın ideal olduğu kabul edildiğinde;

$$5,60 - 5,56 = 0,04$$

$$\% \text{hata} = \frac{0,04}{5,56} \cdot 100 = \%0,72 \text{ hata getirir.}$$

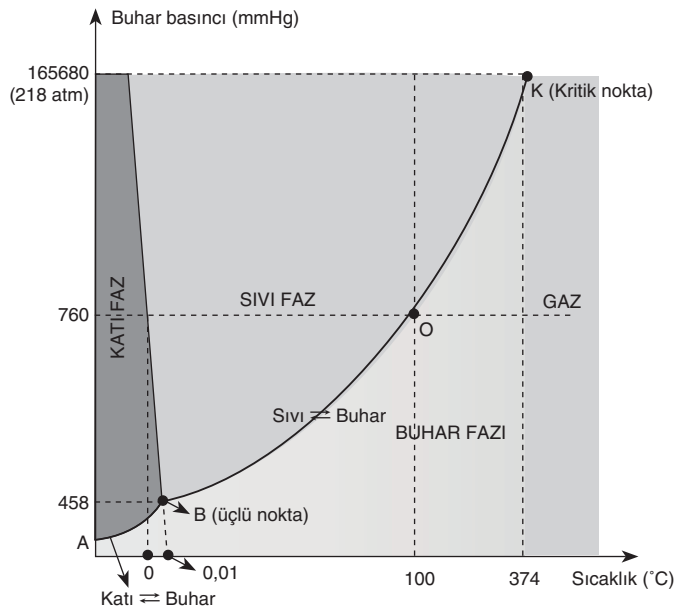
14. Gazların Sıvılaştırılması

Her gaz için öyle bir sıcaklık vardır ki, bu sıcaklığın üstünde ne kadar yüksek basınç uygulanırsa uygulansın gaz sıvılaştırılmaz. Bu sıcaklığa o gazın **kritik sıcaklığı** denir. Bu andaki basınca da kritik basınç denir.



NOT

Bulunduğu şartlarda üzerine basınç uygulandığında sıvılaşabilen gazlara, buhar adı verilir.



15. Graham Difüzyon (Yayıma) Yasası

Bir gazın başka bir gaz içinde yayılması olayına difüzyon denir. İki farklı gazın yayılma hızları, molekül ağırlıklarının karekökü ile ters orantılıdır. Gazların kinetik kuramı, aynı sıcaklıktaki gazların aynı ortalama kinetik enerjiye sahip olacağını belirtir.

$$EK_x = EK_y \text{ ise } \frac{1}{2} M_x \cdot v_x^2 = \frac{1}{2} M_y \cdot v_y^2 \text{ eşit olduğuna göre;}$$

$$\frac{v_x}{v_y} = \sqrt{\frac{M_y}{M_x}} \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Gazların difüzyon hızları; mutlak sıcaklığın kareköküyle doğru orantılıdır.

$$KE = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

k = Boltzman sabiti ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

T = Mutlak sıcaklık (K)

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \text{ Difüzyon hızı (v)}$$

$$\frac{v_x}{v_y} = \sqrt{\frac{M_y \cdot T_x}{M_x \cdot T_y}}$$

Difüzyon hızıyla, sıcaklık arasındaki ilişki yukarıdaki formülle ifade edilir.

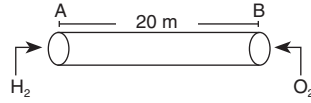


NOT

Gazların yayılma süreleri, hızları ile ters orantılıdır.

ÖRNEK

Şekildeki gibi cam borunun A ucundan H_2 , B ucundan O_2 gazları



aynı anda sabit sıcaklıkta bırakılıyor. Bu gazlar A ucundan kaç metre uzaklıkta karşılaşır?

($H = 1$, $O = 16$ g/mol)

ÇÖZÜM

$$\frac{v_{H_2}}{v_{O_2}} = \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}}$$

$$\frac{v_{H_2}}{v_{O_2}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = \frac{4}{1}$$

$x = v \cdot t$ olduğu için

$v_{H_2} = 4v$ ise $4x$ kadar

$v_{O_2} = v$ ise x kadar yol alır.

$5x = 20$ ise $x = 4$ m

$x_{H_2} = 16$ m $x_{O_2} = 4$ m

ÖRNEK

$0^\circ C$ 'de $1,12$ atm basınçta yoğunluğu $1,6$ g/L olan X gazının difüzyon hızı, aynı sıcaklıkta Y gazının difüzyon hızının $1/\sqrt{2}$ katıdır. Buna göre, Y gazının molekül ağırlığı kaç g/mol'dür?

ÇÖZÜM

$$P \cdot MA = d \cdot R \cdot T$$

$$1,12 \cdot MA_x = 1,6 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$MA_x = 32 \text{ g/mol}$$

$$\frac{v_x}{v_y} = \sqrt{\frac{MA_y}{MA_x}}$$

$$\frac{1/\sqrt{2}}{1} = \sqrt{\frac{MA_y}{32}}$$

$$MA_y = 16 \text{ g/mol}$$

ÖRNEK

Aynı koşullarda eşit mol sayıdaki He ve CH_4 gazları 60 cm uzunluğundaki cam borudan ayrı ayrı geçiyor. CH_4 gazının tamamı 24 saniyede cam borudan geçtiğine göre, He gazının tamamı cm borudan kaç saniyede geçer? (He:4, CH_4 : 16 g/mol)

ÇÖZÜM

$$\frac{v_{He}}{v_{CH_4}} = \sqrt{\frac{MA_{CH_4}}{MA_{He}}}$$

$$\frac{v_{He}}{v_{CH_4}} = \sqrt{\frac{16}{4}} = \frac{2}{1}$$

He gazı CH_4 'ün iki katı hızda hareket eder. CH_4 gazı 24 s'de geçerse He gazı 12 s'de geçer.

Efüzyon: Kapalı bir kaptaki gazın küçük bir delikten dışarıya doğru yayılmasıdır.

Belirli bir süre bekletildiğinde He gazı ile doldurulmuş balonun hava dolu balondan daha önce söndüğü görülür. Bunun sebebi hava moleküllerinden daha hafif olan He atomlarının kauçuğun gözeneklerinden dışarı daha hızlı bir şekilde çıkmasıdır. Bu olay gazların efüzyonu (dışarı yayılması) denir.

Efüzyon problemleri çözüldürken difüzyonda kullanılan formüller kullanılır.

Hız Kareleri-Ortalamasının Karekökü

Molekül hızını tahmin etmenin bir yolu da, ortalama molekül hızı olarak bilinen **hız kareleri- ortalamasının karekökünü (U_{rms})** hesaplamaktır.

Moleküller tek tek düşünüldüğünde anlık olarak farklı hızlara sahip olabilir. Bu hızlar ayrı ayrı hesaplanamayacağı için ancak hız karelerinin ortalamasından bahsedilebilir. Bu nedenle anlam olarak ortalama hız kavramı, hız kareleri ortalamasının karekökü kavramını karşılamamaktadır.

$$\begin{aligned}\overline{KE} &= \frac{3}{2} RT \\ N_A \left(\frac{1}{2} m u^2 \right) &= \frac{3}{2} RT \\ \overline{u^2} &= \frac{3RT}{M} \\ \sqrt{\overline{u^2}} &= u_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}\end{aligned}$$

ÖRNEK

Helyum atomlarının 25°C'deki hız karelerinin ortalamasının kareköklerini hesaplayınız.

(R: 8,314 J/mol.K, He: 4 g/mol)

ÇÖZÜM

He için, $m = 4 \cdot 10^{-3}$

$$\begin{aligned}U_{rms} &= \sqrt{\frac{3RT}{M}} \\ U_{rms} &= \sqrt{\frac{3 \cdot 8,314 \cdot 298}{4 \cdot 10^{-3}}} \\ U_{rms} &= 1363 \frac{m}{s}\end{aligned}$$



NOT

Sıvı molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri ne kadar büyükse sıvının yüzey gerilimi de o kadar büyüktür.

16. SIVILAR

Sıvıların viskozitesi ve yüzey gerilimi moleküller arası kuvvetlerden kaynaklanır. Damla biçimi, yüzey sınırı ve kılcallık etkisi gibi olaylar yüzey geriliminden ileri gelir.

Yüzey gerilimi: Bir sıvının yüzey alanını 1 cm² kadar arttırmak için gereken enerjiye "yüzey gerilimi" denir. Yüzey gerilimi, sıvıyı oluşturan moleküller arasında ki çekim kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Sıvının iç kısmında bulunan moleküller, tüm yönlerden eşit kuvvetlerle çekilmektedir. Yüzeyde olanlar ise yalnızca aşağıya doğru dengelenmemiş çekim kuvvetinin etkisi altındadır. Bu nedenle yüzeydeki moleküller de sıvının iç kısmında yer almak yani yüzey alanını en küçük hale getirmek istemektedir.

Yüzey gerilimini etkileyen faktörler:

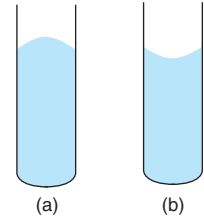
- ✓ Sıcaklık arttıkça moleküller arası çekim kuvvetleri azaltacağından yüzey gerilimi azalır, yani bir sıvının yüzeyini genişletmek için gereken iş azalır. Sıcaklık artışı yüzey gerilimini azaltır.
- ✓ Sıvı üzerindeki gaz basıncı artırıldığında yüzey gerilimi azalır.
- ✓ Sıvı karışmadığı başka bir sıvı ile temas ettirildiğinde yüzey gerilimi azalır.
- ✓ İyonik tuzlar yüzey gerilimini artırır.

Bir sıvının yüzey gerilimini azaltan maddelere **yüzey aktif maddeler** denir. Yağ asitleri, sabunlar, çamaşır ve bulaşık deterjanları yüzey aktif maddelerdir.

Çözücünün yüzey gerilimini değiştirmeyen maddelere **yüzey inaktif maddeler** denir. Asitler ve alkoller yüzey inaktif maddelerdir.

Bir sıvı damlası bir yüzey boyunca bir film halinde yayılırsa, sıvının bu yüzeyi ıslattığı söylenir. Sıvı damlasının bir yüzeyi ıslatması ve yüzeyde küresel damla halinde kalması, moleküller arası kuvvetlere bağlıdır. "**Kohezyon kuvvetleri**" benzer, "**Adezyon kuvvetleri**" ise farklı tür moleküller arasındaki çekim kuvvetleridir.

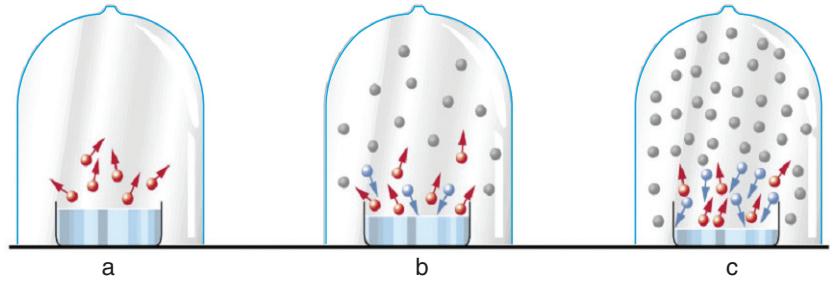
- ✓ Eğer kohezyon kuvvetleri adezyon kuvvetlerinden daha büyükse; damla biçimini korur. Bulunduğu yüzeyi ıslatmaz. Tüp içerisinde dışbükey bir yüzey oluşturur. (a)
- ✓ Adezyon kuvvetleri kohezyon kuvvetlerinden yeterince büyükse; damlanın dağılması sırasında yapılan iş, sıvının bir film halinde yayılması için gereken enerjiyi karşılar. Bulunduğu yüzeyi ıslatır. Tüp içerisinde içbükey bir yüzey oluşturur. (b)



Cam tüpte su bulunuyorsa su molekülleri, su-cam arasındaki kohezyon kuvvetleri tarafından tüpün çeperlerine doğru çekilerek yükselir. Eğer su yerine sıvı olarak civa kullanılırsa arayüzey dışbükey olur. Burada gözlenen civanın kendi atomları arasındaki kuvvetli metalik bağlardan ileri gelen kohezyon kuvvetleri, civa ile cam arasındaki adezyon kuvvetlerinden daha fazladır.

Viskozite: Bir sıvının viskozitesi, sıvının akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskozitenin tersine ise "akıcılık" adı verilir. Gliserinin ($C_3H_8O_3$) viskozitesi suyunkinden çok yüksektir. Sıvıların viskozitesi mol kütlesi, molekül yapıları ve moleküller arası kuvvetler ile ilgilidir. Moleküller arası çekim kuvvetlerinin artması viskoziteyi artırır. Yani sıvı içindeki kohezyon kuvvetleri, akış hızını düşüren bir "iç sürtünme" yaratır. Su ve etil alkol gibi düşük viskoziteye sahip sıvılarda, bu etki zayıftır. Bunlar kolay akarlar. Bal ve gliserin ise, çok daha yavaş akarlar. Bunlara ise "viskoz sıvılar" denir. Sıcaklık yükseldikçe taneciklerin kinetik enerjileri arttığından viskozite düşer.

Buhar Basıncı: Bir sıvının buhar basıncı, sıvı ile dengede bulunan buharın yaptığı basınçtır. Her sıvının belli bir sıcaklıkta buhar basıncı vardır. Herhangi bir sıcaklıkta kapalı bir kaptaki sıvı yüzeyindeki yüksek enerjili moleküller, etrafındaki diğer moleküllerin çekiminden kurtularak sıvı fazdan ayrılarak gaz fazına geçer. Gaz fazına geçen moleküller de sıvının yüzeyine çarparak enerjilerini kaybeder ve sıvıya geri dönebilir. Yani "buharlaştırma" ve "yoğunlaştırma" olayları eşzamanlı olarak gerçekleşir. Buharlaştırma hızı yoğunlaştırma hızına eşit olduğu anda bir denge kurulur. Kurulan bu dengeye sıvı – buhar dengesi denir.



Sıvısıyla dinamik dengede bulunan bir buharın oluşturduğu basınca “denge buhar basıncı” denir. Sistemin dengeye ulaşabilmesi için sistemin kapalı ve sıcaklığın sabit olması gerekir. Oda sıcaklığında yüksek buhar basıncına sahip sıvılara uçucu, çok düşük buhar basıncına sahip olanlara da uçucu olmayan sıvılar denir.

Kaynama ve Kaynama Noktası: Sıvı bir maddenin buhar basıncının dış basınca eşit olduğu sıcaklığa “kaynama noktası” denir. Farklı saf sıvıların aynı dış basınç altında kaynama noktaları (KN) farklıdır.

Buharlaştırma Isısı: Belirli bir sıcaklıkta bir mol sıvıyı buharlaştırmak için gerekli olan enerji miktarına, molar buharlaştırma ısısı (ΔH_{buh}) denir. Buharlaştırma ısısı, hem moleküller arası çekim kuvvetlerini yenmek hem de oluşan buharı genişletmek için gerekli enerjiyi kapsar. **Clausius-Clapeyron Denklemi**, sıvıların buhar basınçlarının sıcaklığa bağlılığını veren denklemdir.

P= Buhar basıncı

T= Mutlak sıcaklık

ΔH_{buh} = Buharlaştırma Entalpisi

R = 8,314 J/mol.K

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

ÖRNEK

Kloroformun normal kaynama noktası 334 K dir. 328 K de kloroformun buhar basıncı 0,824 atm olduğuna göre bu sıcaklık aralığında buharlaştırma ısısı nedir? (R: 8,314 J/molK)

ÇÖZÜM

Normal kaynama noktasında,

$$T_1 = 334 \text{ K'de} \quad P_1 = 1 \text{ atm}$$

$$T_2 = 328 \text{ K'de} \quad P_2 = 0,824 \text{ atm}$$

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\ln \frac{0,824}{1} = \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{8,314} \left(\frac{1}{334} - \frac{1}{328} \right)$$

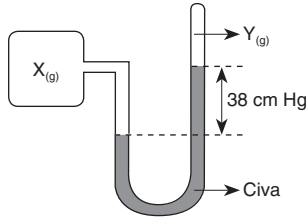
$$\ln 0,824 = \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{8,314} \left(\frac{-6}{109552} \right)$$

$$-0,194 = \frac{\Delta H_{\text{buh}}}{8,314} (-5,5 \cdot 10^{-5})$$

$$\Delta H_{\text{buh}} = 29,325 \text{ kJ/mol}$$

Konu Kavrama Testleri

1.



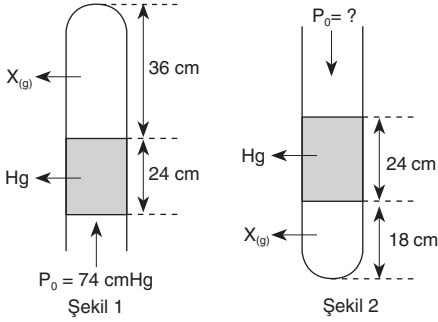
0°C 'de 0,2 mol X gazının hacmi 5,6 L'dir. Buna göre Y gazının basıncı kaç atmosferdir?

- A) 0,1 B) 0,3 C) 0,5 D) 0,8 E) 1,2

2. Bir X gazının 8 gramı 0°C 'de 0,5 atm basınç altında 2,24 L hacim kapladığına göre bu gazın molekül kütlesi kaçtır?

- A) 20 B) 40 C) 80 D) 160 E) 180

3.



Şekil 1'deki kapiler borunun bulunduğu ortamda açık hava basıncı 74 cmHg'dir. Bu kapiler boru Şekil 2'deki ortamda ters çevrilerek dengeye geliyor. Buna göre Şekil 2'deki ortamın açık hava basıncı kaç cm-Hg'dir?

- A) 38 B) 64 C) 72 D) 76 E) 82

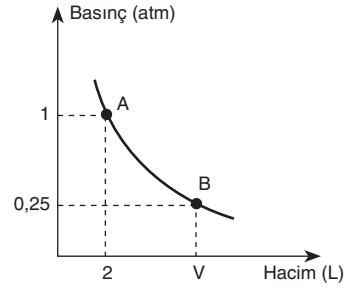
4. Belirli bir sıcaklıkta sabit hacimli bir kaptaki 0,8 g CH_4 ve 0,8 g O_2 gaz karışımı vardır. Buna göre gazlarla ilgili,

- I. Kısmi basınçları
 - II. Moleküllerin ortalama hızları
 - III. Moleküllerin ortalama kinetik enerjileri
- niceliklerinden hangileri eşittir?

(H: 1, C: 12, O: 16 g/mol)

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

5.



Sabit sıcaklıkta bir miktar gazın basıncının hacmi ile değişim grafiği verilmiştir. A noktasında bu gazın yoğunluğu 1,2 g/L olduğuna göre B noktasındaki yoğunluğu ve hacmi aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

	Yoğunluk	Hacim
A)	0,3	2
B)	0,4	8
C)	2,4	1
D)	0,6	2
E)	0,3	8

6. Buldukları kaba toplam 1,80 atm basınç yapan He ve CO_2 gazları karışımı içerisinde He gazının kısmi basıncı 0,36 atm'dir. Buna göre, CO_2 gazının mol kesri aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) 0,2 B) 0,4 C) 0,5 D) 0,6 E) 0,8

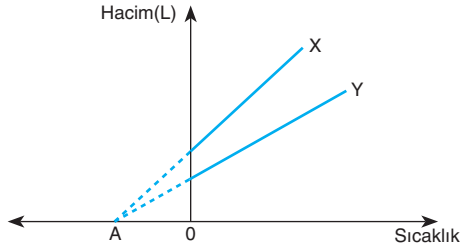
7. Kapalı bir kap içerisinde bulunan ideal gaz karışımıyla ilgili,

- I. Toplam gaz basıncı, karışımı oluşturan gazların kısmi basınçlarının toplamına eşittir.
- II. Bileşenlerin kısmi basınçları, toplam basınç ile o gazın mol kesrinin çarpımına eşittir.
- III. Bileşenlerin mol sayılarının artışı, toplam basıncı artırır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

8.



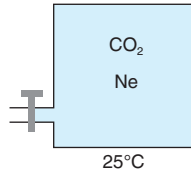
Grafikteki X ve Y doğruları, bir miktar ideal gazın, farklı basınçlardaki hacim-sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Bu grafikte ilgili,

- I. Sıcaklık birimi °C'dir.
 - II. A noktası -273 'ü göstermektedir.
 - III. X doğrusu daha yüksek basınçta elde edilmiştir.
- yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

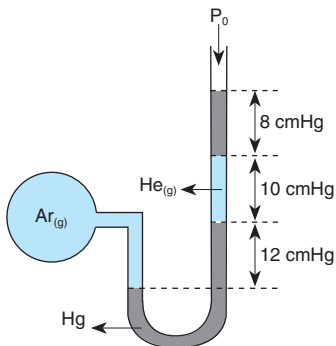
9.

Yandaki kapta bulunan CO_2 ve Ne gazlarının toplam basıncı $2,0 \text{ atm}$ 'dir. Bu karışıma aynı sıcaklıkta CO_2 gazının mol sayısı üç katına çıkacak kadar CO_2 gazı eklendiğinde toplam basınç $2,8 \text{ atm}$ 'e çıkmaktadır. Buna göre, başlangıç karışımındaki Ne gazının mol kesri nedir?



- A) 0,2 B) 0,4 C) 0,5 D) 0,6 E) 0,8

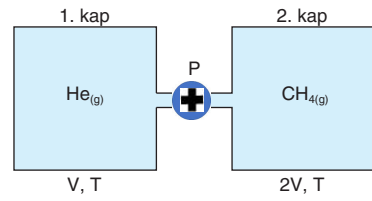
10.



Açık hava basıncının 1 atm olduğu ortamda He ve Ar gazlarının basınçları sırasıyla aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) 84-96 B) 84-106 C) 66-54
D) 66-44 E) 76-98

11.



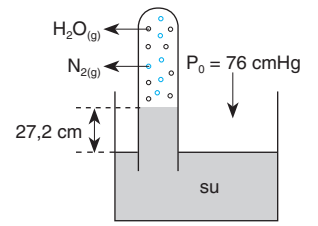
Yukarıdaki kaplarda 1'er atm basınç yapan He ve CH_4 gazları bulunmaktadır. P pompası yardımıyla bir miktar He gazı 2. kaba aktarılıyor. Son durumda 1. kaptaki gaz basıncı $0,75 \text{ atm}$ olduğuna göre,

- I. He gazının molce %25'i 2. kaba geçmiştir.
 - II. 2. kaptaki gaz basıncı $1,25 \text{ atm}$ 'e çıkmıştır.
 - III. 2. kaba yapılan basınç zamanla artar.
- yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I ve III

12.

Açık hava basıncının 76 cmHg olduğu ortamda su üzerindeki tüp içinde N_2 gazı bulunmaktadır. 27°C 'de toplanan N_2 gazının hacmi 30 cm^3 olduğuna göre, N_2 gazının 127°C 'de 50 cm^3 hacimdeki basıncı kaç cmHg 'dir?



($d_{\text{Hg}} = 13,6 \text{ g/cm}^3$, Bu sıcaklıktaki $P_{\text{H}_2\text{O}} = 4 \text{ cmHg}$ 'dir.)

- A) 42,4 B) 48,6 C) 56 D) 64,2 E) 72,6

13.

Sıvıların yüzey gerilimi ile ilgili;

- I. Moleküller arası etkileşimlere bağlıdır.
- II. Sıcaklık arttıkça artar.
- III. Madde miktarına bağlı değildir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I, II ve III

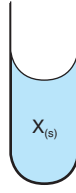
14.

- I. Adezyon ve kohezyon kuvvetleri
- II. Sıvının bulunduğu yüzeyi ıslatması
- III. Sıvı damlalarının küresel olması

Yukarıda verilenlerden hangileri yüzey geriliminin bir sonucudur?

- A) I, II ve III B) II ve III C) I ve II
D) Yalnız II E) Yalnız I

15. Yanda verilen cam tüpte X sıvısı bulunmaktadır. Sıvının tüp içerisindeki durumu gözönüne alındığında,



I. Sıvının bulunduğu tüpteki kohezyon kuvvetleri, adezyon kuvvetlerinden büyüktür.

II. X sıvısı cam üzerine damlatıldığında yayılır.

III. X sıvısı ince bir cam boru içerisinde kapiler etki ile yükselir.

Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) II ve III

16. I. Etanol

II. 1,2-Etandiol

III. 1,2,3-Propantriol

Yukarıdaki maddelerin viskoziteleri arasındaki ilişki aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) I > II > III B) I > III > II C) III > II > I
D) III > I > II E) II > III > I

Sıvı	Viskozite (Pa. s)
Metanol	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Etanol	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Propanol	$1,5 \cdot 10^{-3}$

Yukarıda bazı sıvıların aynı şartlar altındaki viskozite değerleri verilmiştir. Buna göre,

I. Moleküller arası çekim kuvvetleri en fazla olan metanoldür.

II. Propanolün akmaya karşı gösterdiği direnç en fazladır.

III. Molekül kütlesi arttıkça viskozite artar.

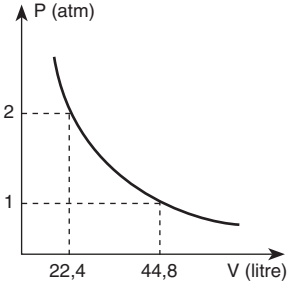
Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

18. 0°C 'ta C_3H_8 gazına ait basınç-hacim grafiği yanda verilmiştir.

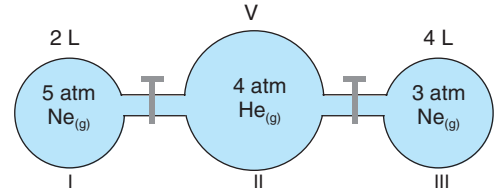
Buna göre C_3H_8 gazının kütlesi kaç gramdır?

(H: 1, C = 12 g/mol)



- A) 22 B) 44 C) 72 D) 88 E) 144

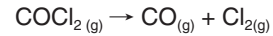
- 19.



Yukarıdaki sistemde sabit sıcaklıkta kaplar arasındaki musluklar açılıyor. Son durumda He gazının kısmi basıncı 2 atm olduğuna göre II. kabın hacmi kaç litredir?

- A) 2 B) 3 C) 4 D) 5 E) 6

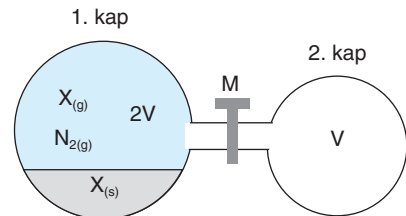
20. 127°C 'de 0,164 litrelik bir kaba 19,8 gram COCl_2 gazı konuluyor. COCl_2 gazı;



tepkimesine göre parçalanıyor. Kabın sıcaklığı 47°C 'ye düştüğünde kaptaki toplam gaz basıncı 48 atm olarak ölçüldüğüne göre COCl_2 gazının yüzde kaç parçalanmıştır? (COCl_2 : 99 g/mol)

- A) 12,5 B) 25,0 C) 37,5
D) 50 E) 67,5

- 21.



Sabit sıcaklıkta M musluğu açılmadan önce 1.kaba uygulanan toplam gaz basıncı 60 cmHg'dir. Musluk açıldıktan sonra toplam basınç kaç cmHg olur? (X sıvısının buhar basıncı 30 mmHg'dir, yeteri kadar X sıvısı bulunmaktadır, Sıcaklık sabittir.)

- A) 41 B) 48 C) 51 D) 54 E) 57

Konu Kavrama Çözümleri

1. X gazının basıncı: $h = 38 \text{ cm} = 0,5 \text{ atm}$
 $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ $P_x = P_y + 0,5$
 $P \cdot 5,6 = 0,2 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$ $0,8 = P_y + 0,5$
 $P = 0,8 \text{ atm}$ $P_y = 0,3 \text{ atm}$

Cevap B

2. $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$
 $0,5 \cdot 2,24 = \frac{8}{M_A} \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$
 $M_A = 160 \text{ g/mol}$

Cevap D

3. $P_1 V_1 = P_2 V_2$
 $(74 - 24) \cdot 36 = (P_0 + 24) \cdot 18$
 $P_0 = 76 \text{ cmHg}$

Cevap D

4. Aynı kaptaki bulunan gazların mol sayıları ile kısmi basınçları doğru orantılıdır.

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{0,8}{16} = 0,05 \text{ mol CH}_4 \quad n_{\text{O}_2} = \frac{0,8}{32} = 0,025 \text{ mol O}_2$$

CH₄ gazının kısmi basıncı O₂'nin iki katıdır. Aynı ortamdaki gazların ortalama hızları molekül kütleleri ile ters orantılıdır.

MA_{O₂} = 32 g/mol, MA_{CH₄} = 16 g/mol olduğu için CH₄ gazının ortalama molekül hızı daha fazladır. Ancak ortalama kinetik enerji yalnızca sıcaklığa bağlıdır. Aynı kaptaki oldukları için gazların ortalama KE'leri aynıdır.

Cevap B

5. $P_A \cdot V_A = P_B \cdot V_B$
 $1,2 = 0,25 \cdot V$
 $V = 8 \text{ L}$

Gaz miktarı değişmemiştir.

$$d = \frac{m}{V} \quad 1,2 = \frac{m}{2} \quad m = 2,4 \text{ g}$$

$$\text{Son durumda; } d = \frac{m}{V} = \frac{2,4}{8} = 0,3 \text{ g/L}$$

Cevap E

6. $P_{\text{CO}_2} = P_T - P_{\text{He}}$
 $P_{\text{CO}_2} = 1,80 - 0,36$
 $P_{\text{CO}_2} = 1,44 \text{ atm}$

$$\frac{P_{\text{CO}_2}}{n_{\text{CO}_2}} = \frac{P_T}{n_T}$$

$$P_{\text{CO}_2} = P_T \cdot \frac{n_{\text{CO}_2}}{n_T}$$

$$P_{\text{CO}_2} = P_T \cdot X_{\text{CO}_2}$$

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{1,44}{1,80} = 0,8$$

Cevap E

7. Verilen her üç öncül de ideal gaz karışımları için geçerlidir.

Cevap E

8. A noktası 0'dan küçük olduğu için sıcaklık birimi °C'dir. Hacmin sıfır olduğu düşünülen A noktası mutlak sıfır (0 K) yani -273°C'dir. Sıcaklık 0°C kabul edilirse X gazının hacmi Y gazından büyüktür. Basınç ve hacim ters orantılı olduğu için X doğrusu daha düşük bir basınçta elde edilmiştir.

Cevap D

9. Gaz basıncı 2 atm'den 2,8 atm çıktığına göre eklenen CO₂ gazı 0,8 atm basınç yapmaktadır. CO₂ gazının mol sayısı üç katına çıktığına göre başlangıçtaki CO₂ gazı 0,4 atm basınç yapmıştır. Bu durumda Ne gazının basıncı 1,6 atm'dir.

$$X_{\text{Ne}} = \frac{n_{\text{Ne}}}{n_T} = \frac{P_{\text{Ne}}}{P_T} = \frac{1,6}{2,0} = 0,8$$

Cevap E

10. $P_{\text{He}} = P_0 + 8$

$$P_{\text{He}} = 76 + 8 = 84 \text{ cmHg}$$

$$P_{\text{Ar}} = P_{\text{He}} + 12$$

$$P_{\text{Ar}} = 84 + 12 = 96 \text{ cmHg}$$

Cevap A

11.

1. Kap	2. Kap
$P \cdot V = n$	$P \cdot V = n$
$1 \cdot 1 = n$	$1 \cdot 2 = n$
$n = 1 \text{ mol}$	$n = 2 \text{ mol}$

Musluk kısa bir süre açılıp kapatıldığında 1. kaptaki gaz basıncı 0,75 atm oluyor.

1. Kap	2. Kap
$P \cdot V = n$	$n = 2 + 0,25$
$0,75 \cdot 1 = n$	$n = 2,25 \text{ mol}$
$n = 0,75 \text{ mol}$	$P \cdot V = n$
$1 - 0,75 = 0,25 \text{ mol gaz}$	$P \cdot 2 = 2,25$
2. kaba geçmiştir.	$P = 1,125 \text{ atm}$

2. kaba yapılan basınç zamanla artar.

Cevap E

12. $h_{su} \cdot d_{su} = h_{Hg} \cdot d_{Hg}$ $P_{buhar} + P_{N_2} + P_{sıvı} = P_0$
 $27,2 \cdot 1 = 13,6 h_{Hg}$ $4 + P_{N_2} + 2 = 76$
 $h_{Hg} = 2 \text{ cm}$ $P_{N_2} = 70 \text{ cmHg}$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{70 \cdot 30}{300} = \frac{P_2 \cdot 50}{400}$$

$$P_2 = 56 \text{ cmHg}$$

Cevap C

13. Yüzey gerilimi maddeyi oluşturan tanecikler arasındaki etkileşim sonucu açığa çıkar. Sıcaklık arttığında, tanecikler arası etkileşimler azalır ve yüzey gerilimi düşer. Madde miktarına bağlı olmayan bir özelliktir.

Cevap D

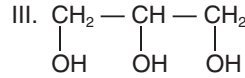
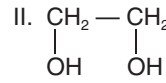
14. I, II ve III. öncüllerde verilen özellikler yüzey gerilimi ile ilgilidir.

Cevap A

15. X sıvısı cam tüp içerisinde içbükey bir yüzey oluşturduğuna göre sıvı-sıvı (kohezyon) çekim kuvvetleri, sıvı-cam (adezyon) çekim kuvvetlerinden daha küçüktür. Bu nedenle cam bir yüzeye X sıvısı damlatılırsa cam üzerinde toplanmaz, dağılır. Aynı zamanda kapiler etki ile cam tüpte yükselir.

Cevap E

16. I. $\text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{OH}$



Hidrojen bağı sayısı arttıkça moleküller arası etkileşimler, dolayısıyla viskozite artar. Bu nedenle sıralama III > II > I'dir.

Cevap C

17. Viskozitesi en fazla olan propanolün akmaya karşı direnci en fazladır. Yani akıcılığı en az olan propanoldür. Molekül kütlesi arttıkça, London kuvvetleri artar. Moleküller arası etkileşimin artması akıcılığı azaltırken viskoziteyi artırır. Moleküller arası çekim kuvvetleri en az olan ise metanoldür.

Cevap D

18. 22,4 L'de 2 atm basınç yapmaktadır.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$2 \cdot 22,4 = n \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$n = 2 \text{ mol}$$

$$m_{\text{C}_3\text{H}_8} = 2 \cdot 44 = 88 \text{ g}$$

Cevap D

19. İlk durumda 4 atm He V litre son durumda,
2 atm He (4 + V) litre He gazının mol sayısı ve sıcaklığı değişmediği için,

$$P_{ilk} \cdot V_{ilk} = P_{son} \cdot V_{son}$$

$$4 \cdot V = 2 \cdot (6 + V)$$

$$V = 6 \text{ L}$$

Cevap E

20. $n_{\text{COCl}_2} = \frac{19,8}{99} = 0,2 \text{ mol}$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P \cdot 0,164 = 0,2 \cdot 0,082 \cdot 400$$

$$P = 40 \text{ atm}$$

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \quad , \quad \frac{40}{0,2 \cdot 400} = \frac{48}{x \cdot 320}$$

$x = 0,3$ mol son durumda toplam mol sayısı

$0,2 - 0,1 = 0,1$ parçalanmış mol sayısı

$$0,2 \quad 0,1$$

$$\frac{100}{x}$$

$$x = \%50$$

Cevap D

21. Başlangıç

$$P_T = P_{N_2} + P_X$$

$$60 = P_{N_2} + 3, \quad P_{N_2} = 57 \text{ cmHg}$$

Musluk açıldıktan sonra N_2 gazı için

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$57 \cdot 2 = P_2 \cdot 3$$

$$P_2 = 38 \text{ cmHg}$$

X in buhar basıncı değişmediği için

$$P_{\text{Toplam}} = P_{N_2} + P_X$$

$$P_T = 38 + 3$$

$$P_T = 41 \text{ cmHg}$$

Cevap A

FİZİKOKİMYA – 2

KİMYASAL KİNETİK

- ✓ **TEPKİME HIZI**
- ✓ **ÇARPIŞMA TEORİSİ**
- ✓ **AKTİFLEŞME ENERJİSİ**
- ✓ **POTANSİYEL ENERJİ - TEPKİME KOORDİNATI GRAFİKLERİ**
 - ↳ Ekzotermik Tepkimeler
 - ↳ Endotermik Tepkimeler
- ✓ **TEPKİME HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**
- ✓ **TEK BASAMAKLI TEPKİMELERDE HIZ İFADESİ**
- ✓ **MEKANİZMALI TEPKİMELERDE HIZ İFADESİ**
- ✓ **DENEYSEL VERİLER YARDIMI İLE HIZ İFADESİNİN BULUNMASI**
- ✓ **İNTEGRALİ ALINMIŞ HIZ YASALARI**
 - ↳ Sıfırıncı Dereceden Tepkimeler
 - ↳ Birinci Dereceden Tepkimeler
 - ↳ İkinci Dereceden Tepkimeler
 - ↳ Üçüncü Dereceden Tepkimeler
 - ↳ Yalancı (Pseudo) Birinci Dereceden Tepkimeler

KİMYASAL KİNETİK

Kimyasal kinetik, kimyasal tepkimelerin hızlarını ve mekanizmalarını inceler. Kimyasal tepkimelerin hızlarının belirlenmesi, bu hızın hangi etkenlere bağlı olduğu, tepkimenin hangi basamaklar üzerinden gerçekleştiği, moleküler düzeyde tepkime mekanizmasının açıklanması kimyasal kinetiğin ana konularıdır.



NOT

Madde miktarındaki değişim belirli bir zaman aralığında gerçekleştiği için hesaplanan hızlar "ortalama hızlardır."



NOT

Tepkime hızı tepkime denkleminde yer alan maddelerin kat sayıları ile doğru orantılıdır.

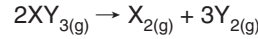
1. TEPKİME HIZI

Birim zamanda madde miktarındaki değişmeye **tepkime hızı** denir.

$$\text{Tepkime Hızı} = \frac{\text{Madde miktarındaki değişme}}{\text{Zaman aralığı}}$$

Tepkime hızı ile ilgili hesaplamalarda genellikle madde miktarının birimi olarak molar derişim (mol/L) ve zaman ise (s) cinsinden kullanılır.

Bir kimyasal tepkimenin hızı, birim zamanda girenlerin derişimindeki azalma ya da birim zamanda ürünlerin derişimindeki artma olarak tanımlanabilir.



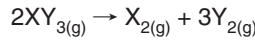
tepkimesine göre;

$$XY_3 \text{ ün harcanma hızı} = \frac{[XY_3] \text{ deki azalma}}{\text{Zaman aralığı}}$$

$$X_2 \text{ nin oluşma hızı} = \frac{[X_2] \text{ deki artma}}{\text{Zaman aralığı}}$$

$$Y_2 \text{ nin oluşma hızı} = \frac{[Y_2] \text{ deki artma}}{\text{Zaman aralığı}}$$

Bu tepkimede 2M XY_3 1 saniyede tamamen X_2 ve Y_2 ye dönüşüyorsa;



Başlangıç: 2M — —

Değişim: -2M +1M +3M

Sonuç: — 1M 3M

$$TH_{XY_3} = \frac{-2M}{1s} = -2M / s \Rightarrow -29$$

$$TH_{X_2} = \frac{1M}{1s} = 1M / s \Rightarrow 9$$

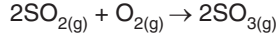
$$TH_{Y_2} = \frac{3M}{1s} = 3M / s \Rightarrow 39$$

tepkime hızları bu şekilde bulunabilir. Görüldüğü gibi XY_3 ün azalma hızı, X_2 nin oluşma hızının 2 katı, Y_2 nin oluşma hızı ise X_2 nin oluşma hızının 3 katıdır.

Hızlar arasında,

$$-\frac{1}{2} TH_{XY_3} = \frac{1}{1} TH_{X_2} = \frac{1}{3} TH_{Y_2} \text{ ilişkisi vardır.}$$

ÖRNEK



Her bir maddeye göre ortalama tepkime hızları arasındaki ilişki nasıldır?

ÇÖZÜM

$$TH_{\text{SO}_2} = -2\theta$$

$$TH_{\text{O}_2} = -\theta$$

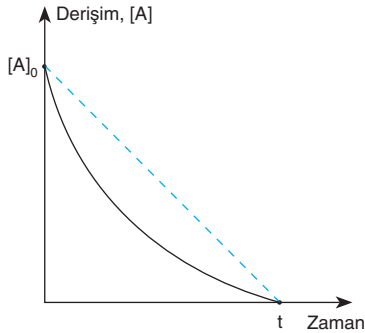
$$TH_{\text{SO}_3} = 2\theta$$

Tepkime denklemindeki her bir maddenin önündeki kat sayı harcanma ya da oluşma hızıyla doğru orantılıdır.

$$-TH_{\text{SO}_2} = -2TH_{\text{O}_2} = TH_{\text{SO}_3}$$

Yani SO_2 'nin harcanma hızı, O_2 'nin harcanma hızının iki katına eşittir. Aynı zamanda SO_3 ün oluşma hızına eşittir.

Ortalama Tepkime Hızı: Burada verilen, belli bir zaman aralığındaki tepkime hızı olduğundan ortalama tepkime hızıdır. Dolayısıyla ortalama tepkime hızının değeri seçilen t_1 ve t_2 zamanlarına bağlıdır. Çünkü kimyasal tepkimeler sırasında bir derişimin değeri, dolayısıyla tepkimenin hızı, zamana bağlı olarak değişir. Tepkime hızı, genellikle tepkime ilerledikçe azalır.



A → Ürünler

$[A]_0$ = Başlangıç derişimi

$$\text{Ortalama hız} = \frac{(0 - [A]_0)}{(t - 0)} = \frac{-[A]_0}{t}$$

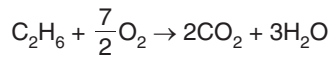
ÖRNEK

18 gram C_2H_6 gazı, 5 L lik bir kaba koyularak yakılıyor. Yanma tepkisi 2 dakika sürdüğüne göre oluşan karbondioksite göre tepkimenin ortalama hızı kaç mol / L.s dir? (C_2H_6 : 30 g/mol)

ÇÖZÜM

Öncelikle C_2H_6 nın derişimi bulunur.

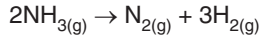
$$n_{\text{C}_2\text{H}_6} = \frac{18}{30} = 0,6 \text{ mol} \quad [\text{C}_2\text{H}_6] = \frac{0,6 \text{ mol}}{5\text{L}} = 0,12 \text{ M}$$



0,12 M C_2H_6 dan → 0,24 M CO_2 oluşur.

$$TH_{\text{CO}_2} = \frac{\Delta[\text{CO}_2]}{\Delta t} = \frac{0,24\text{M}}{2.60\text{s}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L.s dir.}$$

ÖRNEK



Tepkimesine göre, 1 litrelik kapta 3,4 g NH_3 gazı 10 saniyede tamamen parçalanıyor.

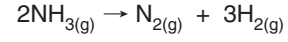
Buna göre NH_3 ün ortalama harcanma hızı ve H_2 nin ortalama oluşma hızını M/s cinsinden hesaplayınız.

(N: 14, H: 1 g/mol)

ÇÖZÜM

Önce NH_3 ün başlangıç derişimi bulunur.

$$n_{\text{NH}_3} = \frac{3,4}{17} = 0,2 \text{ mol} \quad [\text{NH}_3] = \frac{0,2 \text{ mol}}{1\text{L}} = 0,2 \text{ M}$$



Başlangıç:	0,2M	—	—
Değişim:	-0,2M	+0,1M	+ 0,3M
Sonuç	—	0,1M	0,3M

NH_3 ün harcanma hızı:

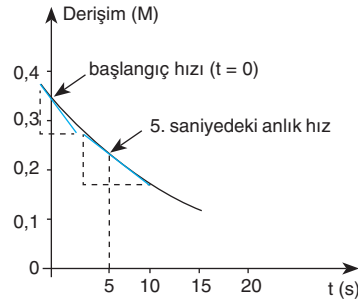
$$T_{\text{NH}_3} = -\frac{\Delta[\text{NH}_3]}{\Delta t} = -\frac{-0,2\text{M}}{10 \text{ s}} = 0,02 \text{ M/s}$$

H_2 nin oluşma hızı:

$$T_{\text{H}_2} = \frac{\Delta[\text{H}_2]}{\Delta t} = \frac{0,3\text{M}}{10\text{s}} = 0,03 \text{ M/s}$$

Anlık Tepkime Hızı: Tepkimenin herhangi bir t anındaki hızıdır. Bir tepkimeye ait zaman derişim grafiğindeki eğri üstünde bulunan herhangi bir noktadan eğriye çizilen teğetin eğimi o noktaya karşılık gelen zamandaki anlık hızı verir. Tepkimeye girenlerin derişimi zamanla azaldığından anlık hızda zamanla azalır.

- Tepkimenin başladığı andaki (t = 0 anındaki) anlık tepkime hızına **tepkime başlangıç hızı** denir.



ÖRNEK

Bir kimyasal tepkime ile ilgili,

- Tepkimenin anlık hızı zamanla azalır.
- Zaman - Derişim grafiğine t anında çizilen teğetin eğiminden ortalama hızı bulunur.
- Tepkimenin başlangıç hızı en yüksektir.

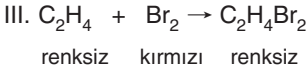
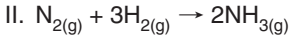
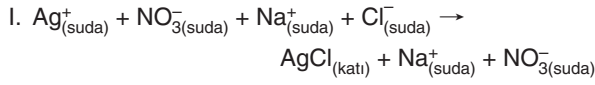
yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I ve III

ÇÖZÜM

Tepkimenin herhangi bir t anındaki hızına anlık hız denir. t – M grafiğine t anında çizilen teğetin eğiminden ortalama hız değil anlık hız bulunur.

Cevap E

ÖRNEK

Yukarıda verilen tepkimelerin hızlarının ölçülebilmesi için birer yöntem öneriniz?

ÇÖZÜM

I. tepkimede girenler kısmındaki iyon sayısı, ürünler kısmındaki iyon sayısından daha fazladır. Ag^+ ve Cl^- iyonları birleşerek çökmüştür. Bu nedenle tepkimenin gerçekleştiği çözeltinin elektrik iletkenliği zamanla azalır. Tepkimenin hızı çözeltinin iletkenliğinin azalması ile izlenebilir.

II. tepkimede toplam 4 mol gazdan 2 mol gaz oluşmaktadır. Yani toplam mol sayısı azalmıştır.

– Sabit hacimli kaptaki basınç azalması olur.

– Sabit basınçlı kaptaki ise hacim azalması olur.

Tepkimenin hızı kabın durumuna göre basınç azalması veya hacim azalması ile izlenebilir.

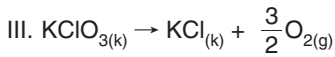
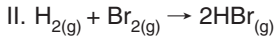
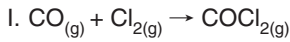
III. tepkimede girenler kısmında bulunan Br_2 kırmızı renklidir. Oluşan ürün ise renksizdir. Tepkimenin hızı Br_2 renginin kaybolması ile izlenebilir.

**NOT**

Çok hızlı tepkimelerin hızları spektroskopik yöntemlerle belirlenebilir.

ÖRNEK

Sabit hacimli bir kaptaki belirli bir sıcaklıkta gerçekleşen,



tepkimelerinden hangilerinin hızı basınçtaki azalmanın ölçülmesi ile belirlenebilir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

ÇÖZÜM

Bir tepkimede gaz moleküllerinin sayısı azaldığında basınç da azalır. Tepkimenin hızı basınçtaki bu azalma takip edilerek belirlenebilir. I. tepkimede basınçta bir azalma vardır. II. tepkimede basınç değişimi yoktur. III. tepkimede ise basınç artmaktadır.

Cevap A

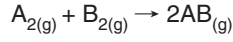
2. ÇARPIŞMA TEORİSİ

Bir kimyasal tepkimenin gerçekleşebilmesi için tepkimeye giren atom, iyon ya da moleküllerin birbirleriyle çarpışmaları gerekir. Kimyasal tepkimeler çarpışmalar sonucu oluşur. Bu çarpışmalar sonucunda tepkimeye giren taneciklerdeki bağlar kopar ve ürünlerde yeni bağlar oluşur.

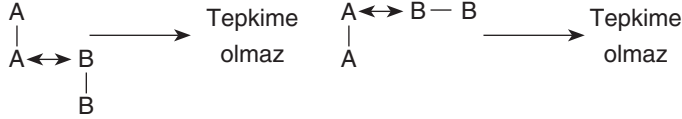
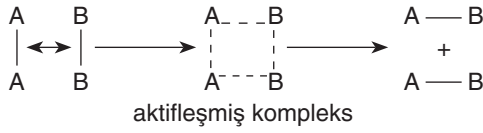
Ancak her çarpışma bir tepkimeyle sonuçlanmaz.

Tepkimenin gerçekleşmesi için,

1. Tepkime verebilecek taneciklerin birbirleriyle çarpışmaları gerekir,
2. Tepkimeyi meydana getirecek tanecikler belirli bir kinetik enerjiyle çarpışmalıdır. Bu enerjiye **eşik enerjisi** denir.
3. Tepkimeyi meydana getirecek tanecikleri uygun geometride çarpışmalıdır.



Tepkimesi gerçekleşirken moleküller aşağıdaki gibi çarpışmalıdır.



Bir çarpışma bu üç şartı sağlıyorsa **etkin çarpışma** adını alır. Tepkime ortamındaki etkin çarpışma sayısı arttıkça tepkime hızı da artar.

Aktifleşmiş Kompleks

İki molekülün tepkime vermek üzere çarpışmasıyla oluşan yüksek enerjili kararsız geçiş hâline **aktifleşmiş kompleks** denir. Aktifleşme enerjisi tepkime hızını belirler.

3. AKTİFLEŞME ENERJİSİ

Taneciklerin tepkimeye girebilmeleri için gerekli olan minimum kinetik enerjiye **eşik enerjisi** denir. Bu taneciklerin aktifleşmiş kompleks oluşturması için gereken minimum potansiyel enerjiye ise **aktifleşme enerjisi** denir.

Eai: İleri tepkimenin aktifleşme enerjisi, aktifleşmiş kompleksin potansiyel enerjisi ile girenlerin toplam potansiyel enerjileri arasındaki farka eşittir.

Eag: Geri tepkimenin aktifleşme enerjisi, aktifleşmiş kompleksin potansiyel enerjisi ile ürünlerin toplam potansiyel enerjileri arasındaki farka eşittir.

Moleküller arasında birim zamandaki toplam çarpışma sayısı, tepkime hızı ile kıyaslanırsa, genellikle toplam çarpışma sayısının küçük bir kısmının tepkimeyle sonuçlandığı anlaşılır. Birim zamandaki etkin çarpışma sayısının toplam çarpışma sayısına oranı, etkin çarpışma kesri olarak tanımlanır.

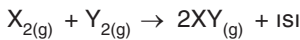


NOT

Aktifleşme enerjisi küçük olan tepkimeler daha hızlı gerçekleşir.

4. POTANSİYEL ENERJİ – TEPKİME KOORDİNATI GRAFİKLERİ

4. 1. Ekzotermik Tepkimeler



Ekzotermik tepkimesi için PE – TK grafiği

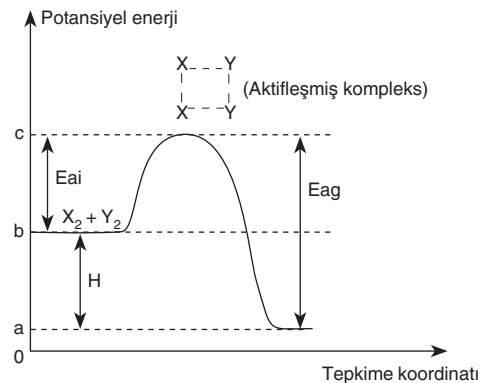
Eai = İleri tepkimenin aktifleşme enerjisi = (c – b)

Eag = Geri tepkimenin aktifleşme enerjisi = (c – a)

Aktifleşmiş kompleksin enerjisi = c

ΔH = Tepkime ısısı = (a – b)

ΔH = Eai – Eag = (c – b) – (c – a) = (a – b)

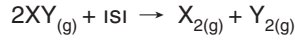


**NOT**

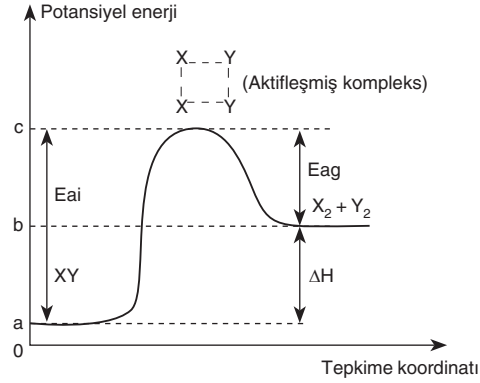
Ekzotermik tepkimelerde yüksek sıcaklıklarda girenler, düşük sıcaklıklarda ürünler daha kararlıdır.

**NOT**

Endotermik tepkimelerde yüksek sıcaklıklarda ürünler, düşük sıcaklıklarda girenler daha kararlıdır.

4. 2. Endotermik Tepkimeler

Endotermik tepkimesi için PE – TK grafiği:



$$E_{ai} = (c - a)$$

$$E_{ag} = (c - b)$$

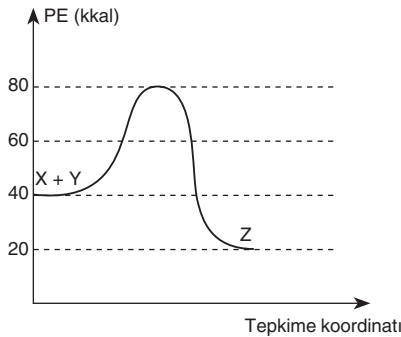
Aktifleşmiş kompleksin enerjisi = c

$$\Delta H = \text{Tepkime ısısı} = (b - a)$$

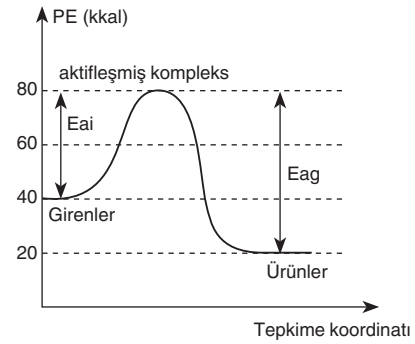
$$\Delta H = E_{ai} - E_{ag} = (c - a) - (c - b) = (b - a)$$

ÖRNEK

$X + Y \rightarrow Z$ tepkimesi için çizilen yukarıdaki PE – TK grafiğine göre

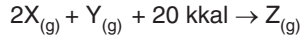


- Girenlerin toplam potansiyel enerjisi kaç kkal dir?
- Ürünlerin toplam potansiyel enerjisi kaç kkal dir?
- Aktifleşmiş kompleksin enerjisi kaç kkal dir?
- Eai kaç kkal dir?
- Eag kaç kkal dir?
- ΔH , tepkime ısısı kaç kkal dir?
- Yüksek sıcaklıklarda ürünler mi yoksa girenler mi daha kararlıdır?

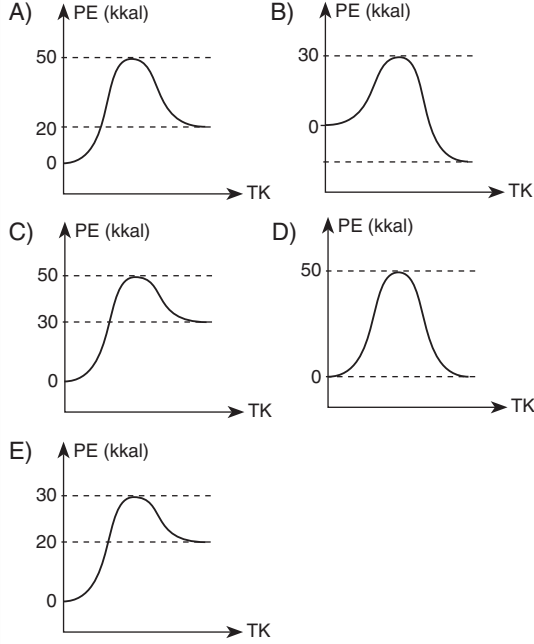
ÇÖZÜM

- Girenlerin PE si 40 kkal dir.
- Ürünlerin PE si 20 kkal dir.
- Aktifleşmiş kompleksin PE si 80 kkal dir.
- $E_{ai} = 80 - 40 = 40$ kkal
- $E_{ag} = 80 - 20 = 60$ kkal
- $\Delta H = E_{ai} - E_{ag} = 40 - 60 = -20$ kkal Tepkime ısısı negatif olduğu için ekzotermik tepkimedir.
- Ekzotermik tepkimelerde yüksek sıcaklıklarda girenler yani $X + Y$ daha kararlıdır.

ÖRNEK



Tepkimesinin aktifleşme enerjisi 50 kkal olduğuna göre, bu tepkimenin potansiyel enerji – tepkime koordinatı grafiği aşağıdakilerden hangisidir?

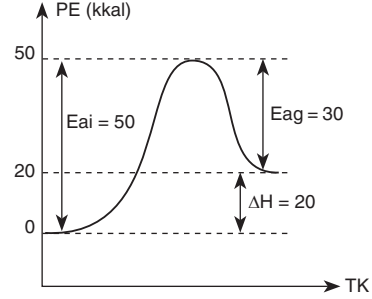


ÇÖZÜM

$\Delta H = 20 \text{ kkal}$ $\Delta H > 0$ tepkime endotermiktir.

$E_{ai} = 50 \text{ kkal}$

$\Delta H = E_{ai} - E_{ag} \Rightarrow E_{ag} = 50 - 20 = 30 \text{ kkal}$



Cevap A'dır.

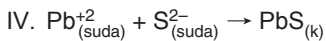
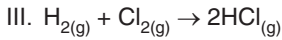
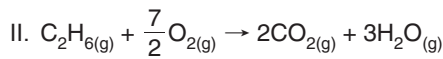
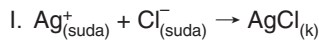
5. TEPKİME HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

5. 1. Tepkimeye Giren Maddelerin Cinsi

Kimyasal tepkimelerin hızı tepkimeye giren maddelerin cinsine bağlıdır.

- Çok sayıda bağın kopduğu ve çok sayıda yeni bağın oluştuğu tepkimeler yavaştır.
- Ürünler çok sayıda maddenin bir araya gelmesiyle oluşuyorsa yavaştır.
- Zıt yüklü iyonların birleşmesiyle oluşan tepkimeler çok hızlıdır.
- Aynı yüklü iyonlar arasında gerçekleşen tepkimeler yavaştır.

ÖRNEK



Yukarıdaki tepkimelerin hızlarını karşılaştırınız.

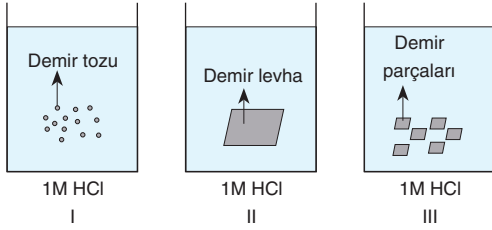
ÇÖZÜM

- I. Zıt yüklü iyonlar birbirlerini çekeceği için hızlıdır.
 - II. Çok sayıda bağ kopup yeni birçok bağ oluşacağı için çok yavaştır.
 - III. Daha az sayıda bağ kopup yeniden oluşacağı için orta hızdadır.
 - IV. Zıt yüklü iyonlar arasındaki tepkimelerde iyon yükü arttıkça çekim artacağından tepkime çok hızlıdır.
- Tepkime hızları, $IV > I > III > II$ şeklinde sıralanabilir.

5. 2. Temas Yüzeği

Tepkimeye girenler maddelerin birbirleri ile teması artarsa tepkime hızı da artar. Temas yüzeyi fazla ise tepkime hızlıdır. Örneğin toz hâldeki demirin yüzeyi levha hâlindeki demir yüzeyinden büyük olduğu için daha çabuk paslanır.

ÖRNEK



Yukarıda üç ayrı kaptaki bulunan eşit sıcaklık ve derişimdeki HCl çözeltilerine eşit kütlede üzerlerinde yazan demirler atılıyor. Bu kaplardaki H_2 gazı çıkış hızlarının sıralanışı nasıldır?

ÇÖZÜM

Toz demir, demir parçalarından, demir parçaları da demir levhadan daha büyük temas yüzeyine sahiptir. Bu durumda,

$I > III > II$ şeklinde olur.

5. 3. Derişim

Tepkimeye giren maddelerin derişimi artarsa tepkime hızı da artar. Girenlerin derişimi arttığında etkin çarpışma sayısı artar. Böylece eşik enerjisini geçen tanecik sayısı artmış olur.



NOT

Sıcaklık artışı eşik enerjisini düşürmez, eşik enerjisini aşan tanecik sayısını artırır.

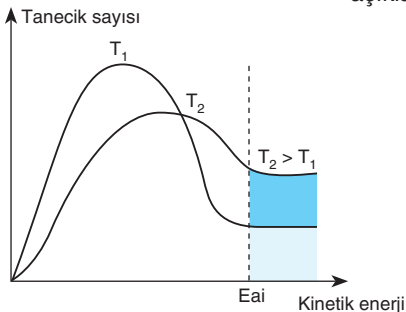
5. 4. Basınç ve Hacmin Tepkime Hızına Etkisi

Gaz fazında gerçekleşen bir tepkimede hacim küçültülürse basınç artar. Moleküller birbirine yaklaşır ve çarpışma olasılıkları artar. Bu da tepkimeyi hızlandırır.

5. 5. Sıcaklığın Tepkime Hızına Etkisi

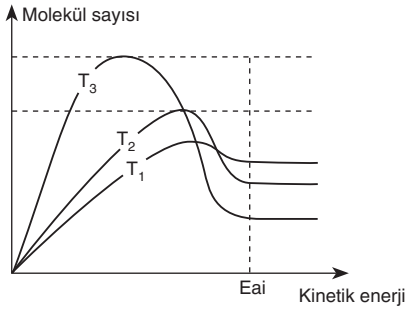
Sıcaklık artışı endotermik ve ekzotermik tüm tepkimelerin hızını artırır. Sıcaklık arttığında tepkime ortamındaki taneciklerin kinetik enerjisi yani hızı artar. Sonuçta çarpışma sayısı ve bu çarpışma sonucu eşik enerjisini aşan tanecik sayısı artar. Bu da tepkime hızını artırır. Sıcaklık artışı eşik enerjisini değiştirmez.

Sıcaklığın tepkime hızına etkisi, taneciklerin kinetik enerji dağılımını gösteren grafikte açıklanabilir.



Grafikte T_1 ve T_2 sıcaklıklarında tepkime ortamındaki taneciklerin kinetik enerji dağılımları görülmektedir. T_1 sıcaklığındaki eğrinin altında kalan taralı alan eşik enerjisini aşabilen tanecik sayısını verir. Bu tanecikler tepkime sonucu ürüne dönüşmüşlerdir. T_1 sıcaklığındaki eğrinin altındaki boş alan ise eşik enerjisini geçemeyen tepkimeye girmemiş tanecik sayısını gösterir. Sıcaklık T_2 ye çıkarıldığında eşik enerjisini geçen tanecik sayısı artar. Bu, grafikteki T_2 eğrisinin altında kalan taralı alanın daha büyük olmasından anlaşılabilir.

ÖRNEK



Yukarıdaki grafik, bir gaz örneğinde T_1 , T_2 ve T_3 sıcaklıklarındaki kinetik enerji dağılımını göstermektedir.

Bu gaz örneği ile ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) Sıcaklık yükseldikçe eşik enerjisinin değeri büyür.
- B) Sıcaklık yükseldikçe eşik enerjisi değerini aşan molekül sayısı artar.
- C) Sıcaklık düştükçe ortalama kinetik enerji değeri küçülür.
- D) T_1 sıcaklığı T_2 den yüksektir.
- E) T_3 sıcaklığı T_2 den düşüktür.

Arrhenius Eşitliği

Bir tepkimenin sıcaklığı artırıldığında, ortamdaki yüksek enerjili moleküllerin sayısı ve etkin çarpışma kesri artacağı için tepkime hızı artar.

Bir tepkimede, hız sabiti ile sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius tarafından bulunmuştur ve bu ilişkiyi veren denklem "Arrhenius denklemi" olarak bilinir.

$$k = A e^{-E_a/RT}$$

aynı zamanda, $\ln k = -(E_a/RT) + \ln A$

Burada k ; reaksiyon hız sabiti, E_a ; aktivasyon enerjisi, A ; bir sabittir.

İki farklı sıcaklıktaki hız sabitleri için bu denklem;

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

hâlinde düzenlenebilir. Bu denklem yardımıyla belli sıcaklıklarda tepkime hız sabitleri bilinen reaksiyonların aktivasyon enerjileri veya belli sıcaklıkta hız sabiti bilinen tepkimenin başka bir sıcaklıktaki hız sabiti hesaplanabilir.

ÖRNEK

Bir tepkimenin 300 K'deki tepkime hız sabiti 1.10^{-3} s^{-1} 'dir. 400 K'de ise 2.10^{-3} s^{-1} olduğuna göre tepkimenin aktivasyon enerjisi kaç kJ/mol'dür. ($R = 8,314 \text{ J/mol.K}$)

- A) 6,930
- B) 5,275
- C) 7,623
- D) 8,215
- E) 9,372

ÇÖZÜM

Eşik enerjisi maddenin cinsine bağlıdır. Sıcaklık değişimi eşik enerjisini değiştirmez. sıcaklık artarsa eşik enerjisini geçen tanecik sayısı artar. Grafik incelendiğinde E_{ai} yi aşan sayılarından $T_1 > T_2 > T_3$ olduğu anlaşılır.

Cevap A'dır.

ÇÖZÜM

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\ln \frac{2.10^{-3}}{1.10^{-3}} = \frac{E_a}{8,314} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{400} \right)$$

$$0,693 = \frac{E_a}{8,314} \left(\frac{1}{1200} \right)$$

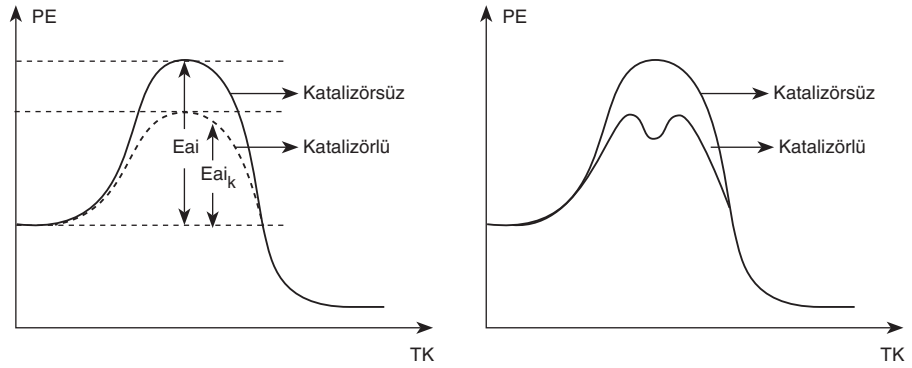
$$E_a = 6930 \text{ J/mol} = 6,930 \text{ kJ/mol}$$

Cevap A

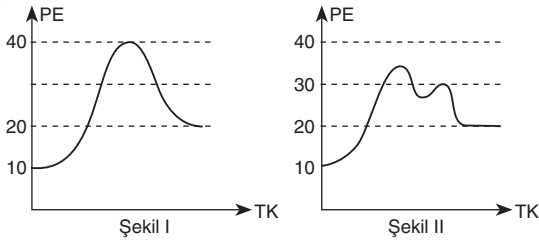
5. 6. Katalizör

Kimyasal bir tepkimeye katıldığında eşik enerjisini düşürerek tepkimenin hızını arttıran, tepkime sonunda miktar ve özelliklerini kaybetmeden geri elde edilen maddelere **katalizör** denir.

- Katalizör tepkime mekanizmasını değiştirir.
- Katalizör mekanizmada yer alan en yavaş basamağın aktifleşme enerjisini düşürür.
- E_{ai} 'yi ve E_{ag} 'yi aynı oranda düşürdüğü için tepkime ısısını (ΔH) değiştirmez.
- Aktifleşmiş kompleksin türünü değiştirir.
- Hız sabitinin (k) sayısal değerini artırır.
- Katalizör tepkimenin yönünü değiştirmez.
- Katalizör tepkimede oluşacak ürünün türünü ve miktarını değiştirmez.
- Katalizör kullanılan bir tepkimenin PE – TK grafiği aşağıdaki gibidir.



ÖRNEK



ÇÖZÜM

Tepkime sabit sıcaklıkta gerçekleştiği için kinetik enerji değişmez.

Cevap C'dir.

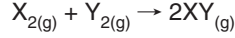
PE – TK grafiği Şekil I'deki gibi olan bir tepkimenin PE – TK grafiği sabit sıcaklıkta Şekil II'ye dönüşmektedir.

Buna göre, aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- Katalizör kullanılmıştır.
- Eşik enerjisi düşmüştür.
- Taneciklerin kinetik enerjisi artmıştır.
- Tepkime hızı artmıştır.
- Eşik enerjisini aşan tanecik sayısı artmıştır.

6. TEK BASAMAKLI TEPKİMELERDE HIZ İFADESİ

Tek basamakta gerçekleşen bir tepkimenin hız ifadesi tepkimeye girenlerin derişimleri-ne bağıdır.



X_2 ve Y_2 nin derişimi artarsa etkin çarpışma sayısı yani girenlerin ürünlere dönüşme ihtimali artacağından tepkime hızı artar.

Tepkime hızı hem X_2 ve hem de Y_2 derişimi ile doğru orantılıdır.

Tepkime hızı $\alpha [X_2] \cdot [Y_2]$

Hız sabiti (k) da kullanılırsa,

Tepkime hızı = $k \cdot [X_2] [Y_2]$ dir.

$aA + bB \rightarrow cC$ şeklinde bir tepkimenin hız ifadesi,

TH = $k \cdot [A]^a \cdot [B]^b$ şeklindedir.

- k = hız sabiti, sıcaklığa ve eşik enerjisine bağıdır. Katalizör kullanıldığında büyür.
- (a + b) değerine tepkimenin hız **derecesi** denir.
- Gaz fazında gerçekleşen tepkimelerde hız ifadesinde derişimler yerine kısmî basınçlarda kullanılabilir. Yukarıdaki tepkimenin hız ifadesi
TH = $k \cdot P_A^a \cdot P_B^b$ şeklinde de yazılabilir.
- Hız ifadesinde tepkimeye girenlerden gaz hâlde olanlar ve çözelti içerisinde bulunan maddeler kullanılır. Saf sıvı ve katıların derişimleri sabit olduğu için hız ifadesinde yer almazlar.

ÖRNEK

- I. $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$ TH = $k \cdot [N_2] [H_2]^3$ dir. (3 + 1), 4. dereceden
- II. $Pb^{+2}_{(suda)} + 2Cl^{-}_{(suda)} \rightarrow PbCl_{2(k)}$ TH = $k \cdot [Pb^{+2}] [Cl^{-}]^2$ dir. (1 + 2), 3. dereceden
- III. $SO_{2(g)} + H_2O_{(s)} \rightarrow H^+_{(suda)} + HSO^-_{3(suda)}$ TH = $k \cdot [SO_2]$, 1. dereceden
- IV. $CaCO_{3(k)} \rightarrow CaO_{(k)} + CO_{2(g)}$ TH = k, 0. dereceden

7. MEKANİZMALI TEPKİMELERDE HIZ İFADESİ

Kimyasal tepkimelerin iki ya da üç taneciğin çarpıştığı basit adımlar dizisi üzerinden yürüyebilir. Bu basit adımlar dizisine **tepkime mekanizması** denir.

Mekanizmayı oluşturan tepkime basamaklarının hızları birbirine eşit değildir. Net tepkimenin hızını en yavaş basamak belirler. Hız ifadesi ise bu en yavaş basamağa göre yazılır.

ARA ÜRÜN: Başlangıçta tepkime ortamında olmayıp sonradan oluşan ve tepkime bitiminde kaybolan maddelere **ara ürün** denir. Bu maddeler toplu (net) tepkimede yer almazlar.

Tepkimenin bir basamaktan mı, yoksa birden fazla basamaktan oluşan bir mekanizma üzerinden mi yürüdüğü ancak deneysel olarak bulunabilir. Dolayısıyla tepkimelerin hız ifadeleri de deneysel yöntemler ile belirlenebilir. Deneysel veriler sonucunda tepkime derecesi tam sayı değerler olabileceği gibi negatif değerler veya kesirli sayılar da olabilir.



NOT

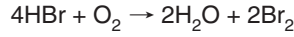
$2O_{3(g)} \rightarrow 3O_{2(g)}$
tepkimesine ait hız ifadesi;

$Hız = k [O_3]^2 [O_2]^{-1}$
şeklindedir.

ÖRNEK

1. Basamak: $\text{HBr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HOBr}$ (Yavaş) $\Delta H < 0$
2. Basamak: $\text{HBr} + \text{HOBr} \rightarrow 2\text{HOBr}$ (Hızlı) $\Delta H < 0$
3. Basamak: $2\text{HBr} + 2\text{HOBr} \rightarrow$
 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Br}_2$ (En hızlı) $\Delta H < 0$

Yukarıdaki üç tepkime

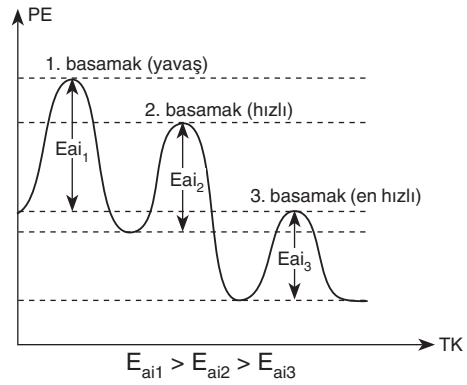


tepkimesinin mekanizmasının adımlarıdır.

- A) Tepkimenin hız ifadesi nedir?
- B) Tepkime hızı kaçinci derecedendir?
- C) Tepkimede ara ürün var mıdır?
- D) Tepkimede katalizör var mıdır?
- E) Bu tepkimenin potansiyel enerji – tepkime koordinatı grafiği nasıldır?

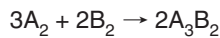
ÇÖZÜM

- A) Tepkimenin hız ifadesi mekanizmadaki en yavaş basamağa göre yani 1. basamağa göre yazılır.
 $\text{TH} = k \cdot [\text{HBr}] [\text{O}_2]$
- B) Hız ifadesinde yer alan maddelerin üstlerinin toplamı $(1 + 1) = 2$ derecedendir.
- C) Basamaklardan birinde oluşup daha sonra harcanan maddeler ara üründür. Buna göre HOBr ve HOBr ara üründür.
- D) Bir basamakta girenler kısmında olup harcanan daha sonra tekrar oluşan maddeler katalizördür. Bu tepkimede katalizör kullanılmamıştır.
- E) Tepkimenin PE – TK grafiği aşağıdaki gibidir.



Aktifleşme enerjisi büyük olan tepkime 1. basamak çok yavaş, en küçük olan 3. basamak en hızlıdır.

ÖRNEK

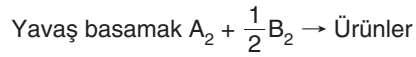


tepkimesi için hız ifadesi $\text{Hız} = k [\text{A}_2] [\text{B}_2]^{1/2}$ olduğuna göre aşağıdaki denklemlerden hangisi bu tepkimenin mekanizmasındaki en yavaş adımdır?

- A) $\text{A}_2 + \text{B}_2 \rightarrow 2\text{AB}$
- B) $\text{A}_2 + 2\text{AB}_2 \rightarrow 2\text{A}_2\text{B}_2$
- C) $\text{A}_2 + 2\text{B}_2 \rightarrow \text{A}_2\text{B}_2$
- D) $\text{A}_2 + \frac{1}{2}\text{B}_2 \rightarrow \text{A}_2\text{B}$
- E) $\text{A}_2\text{B} + \frac{1}{2}\text{B}_2 \rightarrow \text{A}_2\text{B}_2$

ÇÖZÜM

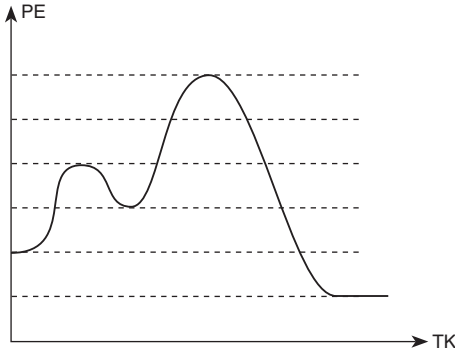
En yavaş basamak hız ifadesini belirler. Hız ifadesine bakılarak girenlerin derişimi ve katsayıları bulunur. A_2 nin derişimiyle doğru orantılı, B_2 nin derişiminin karaköküyle doğru orantılı olabilmesi için



şeklinde olmalıdır.

Cevap D'dir.

ÖRNEK



Yukarıdaki potansiyel enerji diyagramı bir kimyasal tepkimeye aittir.

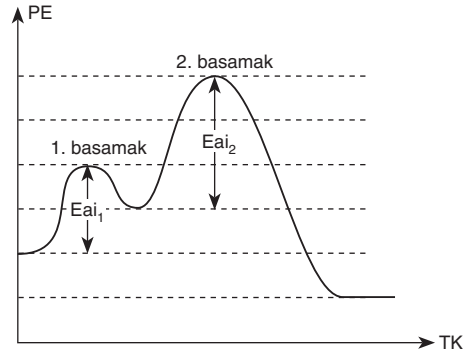
Bu diyagrama göre;

- I. Tepkime katalizör kullanılmıştır.
- II. Tepkime iki basamaklıdır.
- III. Tepkime hızını ikinci basamak belirlemektedir.

yargılarından hangileri kesinlikle doğrudur?

- A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

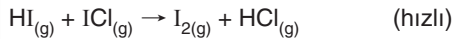
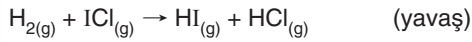
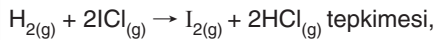
ÇÖZÜM



PE – TK grafiği incelendiğinde tepkimenin iki basamaklı olduğu görülür. $E_{ai2} > E_{ai1}$ olduğuna göre 1. basamak hızlı 2. basamak yavaştır. Tepkime hızını yavaş olan 2. basamak belirler. Katalizör kullanıp kullanılmadığı ise belli değildir.

Cevap D'dir.

ÖRNEK



mekanizması üzerinden yürümektedir.

Bu tepkime için aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

- A) Tepkime 3. derecedendir.
- B) Tepkime hızı $= k \cdot [H_2] [ICl]^2$ 'dir.
- C) Yavaş basamağın aktivasyon enerjisi hızlı basamağınkinden küçüktür.
- D) HCl tepkime ara ürünüdür.
- E) ICl derişimi iki katına çıktığında tepkime hızı iki katına çıkar.

ÇÖZÜM

Mekanizmalı tepkimelerde, tepkimenin hızını yavaş basamak belirler.

$$TH = k \cdot [H_2] [ICl]^2 \text{ dir.}$$

Tepkime hızı, ICl derişimi ile doğru orantılıdır. ICl derişimi iki katına çıktığında tepkime hızı da iki katına çıkar.

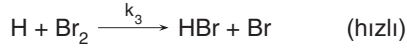
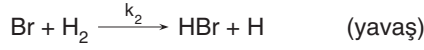
Cevap E

Kararlı Hâl Yaklaşımı (Denge Basamakları İçeren Tepkimelerde Hız Yasaları)

Mekanizmalı tepkimelerde en yavaş basamak tepkime hızını belirleyen basamaktır. Tepkimeye ait hız ifadesi de bu basamağa göre yazılır. Bazı tepkimelerde hız belirleyen basamağın girenler kısmında “ara ürün” bulunabilir. Ara ürünler, tepkime ortamında oluşan ve aynı zamanda harcanan maddeler olduklarından derişimleri deneysel olarak bulunamaz. Bu nedenle hız ifadesinde yer alan ara ürün derişimi yerine bazı kabuller yapılarak tepkenlerden bazılarının derişimleri yazılır. Bu kabuller ile hız yasasının ölçülebilir hâle getirilmesi kararlı hâl yaklaşımı olarak adlandırılır.

Örneğın; deneysel çalışmalar sonucunda

$H_{2(g)} + Br_{2(g)} \rightarrow 2HBr_{(g)}$ tepkimesinin mekanizması aşağıdaki gibi bulunmuştur.



Bu mekanizmaya göre tepkimenin hızını yavaş olan 2. basamak belirler. Tepkimenin hız ifadesi,

$$TH = k_2 [Br] [H_2] \text{ şeklindedir.}$$

Ancak hız ifadesinde yer alan “Br” bir ara üründür. Ara ürünün derişimi deneysel olarak belirlenemez. Hız ifadesinde Br yerine, derişimi belirlenebilen reaktifler kullanılmalıdır. Bu amaçla,

$$1. \text{ Tepkimede} \quad K_C = \frac{[Br]^2}{[Br_2]} \text{ de } [Br] \text{ çekilirse,}$$

$$[Br] = (K_C [Br_2])^{\frac{1}{2}} \text{ Bunu hız bağıntısında yerine yazarsak;}$$

$$TH = k_2 (K_C [Br_2])^{\frac{1}{2}} [H_2]$$

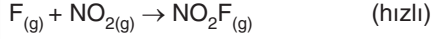
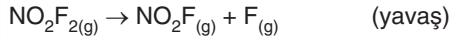
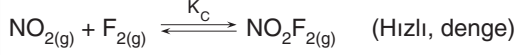
$$TH = \underbrace{k_2 \cdot K_C^{\frac{1}{2}}}_k [Br_2]^{\frac{1}{2}} [H_2]$$

$$TH = k [Br_2]^{\frac{1}{2}} [H_2]$$

Bu durumda hız belirleyen yavaş basamakta yer alan ara ürün (Br) hız bağıntısında derişimi belirlenebilen Br_2 türünden ifade edilmiş olur. Deneysel sonuçlar da bu bağıntı ile uyum içerisindedir.

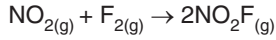
ÖRNEK

NO₂ ve F₂ gazlarının tepkimesi,



basamakları üzerinden yürüyen bir mekanizmaya sahiptir. Buna göre,

I. Net tepkime denklemi,



şeklindedir.

II. Tepkimenin hızını yavaş olan 2. basamak belirler.

III. TH = k [NO₂] [F₂]'dir.

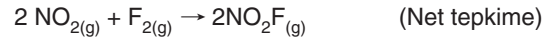
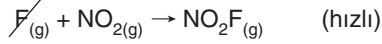
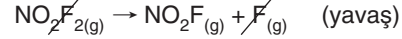
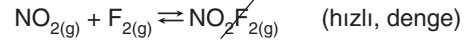
ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) II ve III

ÇÖZÜM

Verilen üç basamak taraf tarafa toplanırsa net tepkime denklemi elde edilir.



Tepkimenin hızını yavaş olan 2. basamak belirler.

TH = k . [NO₂F₂] şeklindedir. Ancak NO₂F₂ ara üründür.

Bunun derişimini ürünler veya girenler cinsinden yazmak gerekir. Denge tepkimesinden,

$$K_C = \frac{[\text{NO}_2\text{F}_2]}{[\text{NO}_2][\text{F}_2]}$$

$$[\text{NO}_2\text{F}_2] = K_C \cdot [\text{NO}_2] [\text{F}_2] \text{ bulunur.}$$

Bu ifade hız yasasında yerine yazılırsa,

$$\text{TH} = k \cdot [\text{NO}_2\text{F}_2]$$

$$\text{TH} = k \cdot \underbrace{K_C}_k \cdot [\text{NO}_2] [\text{F}_2]$$

$$\text{TH} = k \cdot [\text{NO}_2] [\text{F}_2] \text{ 'dir.}$$

I. öncül yanlış, II. ve III. öncüller doğrudur.

Cevap E

8. DENEYSEL VERİLER YARDIMI İLE HIZ İFADESİNİN BULUNMASI (Başlangıç Hızları Yöntemi)

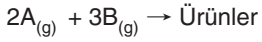
Bir tepkimeye giren maddelerin bilinmesi tepkime hızını ve hız ifadesini bulmak için yeterli olmayabilir. Bunun için genellikle deneysel sonuçlar değerlendirilerek hız ifadesi bulunur.

Deneysel veriler yardımıyla hız ifadesi bulunurken tepkimeye girenlerin derişimlerindeki değişim ile hızdaki değişim arasındaki ilişki incelenir.

Tepkimeye girenlerden birinin derişimi değiştii hâlde hız değişmiyorsa o madde tepkime hızına etki etmez ve hız denkleminde yer almaz.

ÖRNEK

Sabit sıcaklık ve hacimde gerçekleşen



tepkimesine ilişkin deney sonuçları aşağıdaki gibidir.

Deney no	[A] (mol/L)	[B] (mol/L)	Hız (M/s)
1	0,01	0,01	$2 \cdot 10^{-6}$
2	0,01	0,02	$4 \cdot 10^{-6}$
3	0,02	0,01	$8 \cdot 10^{-6}$

- Bu tepkimenin hız denklemi nedir?
- Hız sabiti k'nın sayısal değeri ve birimi nedir?
- $[A]_0 = 0,1 \text{ M}$ ve $[B]_0 = 0,2 \text{ M}$ iken tepkimenin başlangıç hızını belirleyiniz.
- Tepkime kabının hacmi yarıya indirilirse tepkime hızı kaç kat değişir?

ÇÖZÜM**a) 1. Yöntem**

Öncelikle 1. ve 2. deneyler karşılaştırılır. İki deneyde de A'nın derişimi sabitken B'nin derişimi iki katına çıkıyor. Hızda iki katına çıktığına göre tepkime hızı B'nin derişimi ile doğru orantılıdır.

$$TH \propto [B]$$

Sonra 1. ve 3. deneyler karşılaştırılır. B'nin derişimi sabitken A'nın derişimi iki katına çıkıyor. Hız dört katına çıktığına göre tepkime hızı A'nın derişiminin karesi ile orantılıdır.

$$TH \propto [A]^2$$

Bu sonuçlar birleştirilirse

$$TH = k \cdot [A]^2 [B] \text{ şeklindedir.}$$

2. Yöntem:

Tepkimenin hız ifadesi,

$TH = k \cdot [A]^x [B]^y$ şeklinde yazılır. İlk olarak 1. ve 2. deney verileri bu eşitlikte yazılarak, oranlanır.

$$\frac{TH_1}{TH_2} = \frac{k \cdot (0,01)^x [0,01]^y}{k \cdot (0,01)^x [0,02]^y} \quad (1. \text{ deney})$$

$$\frac{2 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-6}} = \frac{(0,01)^y}{(0,02)^y}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^1 = \left(\frac{1}{2}\right)^y \text{ ise } y = 1 \text{ 'dir.}$$

1. ve 3. deney verileri kullanılırsa;

$$\frac{TH_1}{TH_3} = \frac{k \cdot (0,01)^x [0,01]^y}{k \cdot (0,02)^x [0,01]^y}$$

$$\frac{2 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-6}} = \frac{(0,01)^x}{(0,02)^x}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^x \text{ ise } x = 2 \text{ 'dir.}$$

$$TH = k \cdot [A]^2 [B] \text{ 'dir.}$$

b) Tepkimenin hız ifadesi bulunduğundan sonra herhangi bir deneyin verileri kullanılarak k bulunur.

1. deneye göre;

$$TH = k \cdot [A]^2 [B]$$

$$2 \cdot 10^{-6} = k \cdot (0,01)^2 (0,01)$$

$$2 \cdot 10^{-6} = k \cdot 10^{-6}$$

$$k = 2 \text{ dir.}$$

Birimi ise;

$$TH = k \cdot [A]^2 [B]$$

$$\frac{M}{s} = k \cdot M^2 \cdot M$$

$$k = \frac{1}{M^2 \cdot s} = \frac{L^2}{mol^2 \cdot s}$$

c) $TH = k \cdot [A]^2 [B]$

$$TH = 2 \cdot (0,1)^2 (0,2)$$

$$TH = 4 \cdot 10^{-3} \text{ M/s}$$

d) $TH = k \cdot [A]^2 [B]$

A ve B derişimi 1 M olsun. Kabın hacmi yarıya düşerse derişimler iki katına çıkar, 2'şer M olur.

$$TH_1 = k \cdot (1)^2 (1) = k$$

$$TH_2 = (2)^2 (2) = 8k$$

$$k \rightarrow 8k$$

Hız 8 kat artar.

ÖRNEK

Sabit sıcaklık ve hacimde gerçekleşen yukarıdaki tepkimeye ait deney sonuçları aşağıdaki gibidir.

Deney no	[A] (mol/L)	[B] (mol/L)	[C] (mol/L)	Hız (mol /Ls)
1	0,1	0,1	0,1	$2 \cdot 10^{-8}$
2	0,1	0,2	0,1	$4 \cdot 10^{-8}$
3	0,2	0,1	0,1	$8 \cdot 10^{-8}$
4	0,1	0,1	0,2	$2 \cdot 10^{-8}$

Buna göre bu tepkimenin hız ifadesi nasıldır?

ÇÖZÜM

Sırayla deneyler karşılaştırılır.

1. ve 2. deneylere bakılırsa, diğerleri sabitken B nin derişimi iki katına çıktığında hız da iki katına çıkmıştır.

$$TH \propto [B]$$

1. ve 3. deneylere bakılırsa, diğerleri sabitken A nın derişimi iki katına çıktığında hız dört $[2]^2$ katına çıkmıştır.

$$TH \propto [A]^2$$

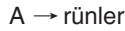
1. ve 4. deneylere bakılırsa, diğerleri sabitken C nin derişimi iki katına çıktığında hızın değişmediği görülür. Bu durumda hız [C]'ye bağlı değildir.

Bu sonuçlar birleştirilirse

$$TH = k \cdot [A]^2 [B] \text{ şeklindedir.}$$

9. İNTEGRALİ ALINMIŞ HIZ YASALARI**9. 1. Sıfıncı Dereceden Tepkimeler**

Hız ifadesinde, üstlerin toplamı sıfır olan tepkimeler sıfıncı derecedendir. Sıfıncı dereceden bir tepkimenin hızı, tepkimeye girenlerin derişiminden bağımsızdır. Tepkime hızı, hız sabiti k'ya eşittir ve bu nedenle reaksiyon hızı zamanla değişmez sabit kalır. Bazı heterojen sistemler sıfıncı dereceden hız ifadesine sahiptir.



şeklinde bir tepkimede hız;

$$TH = k \cdot [A]^0 \text{ olduğundan } TH = k = \text{sabittir.}$$

Aynı zamanda $TH = \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k$ eşitliği için $t = 0$ 'dan t 'ye ve $[A]_0$ 'dan $[A]_t$ 'ye sınır değerleri için integral alındığında, sıfıncı dereceden bir tepkime için integrali alınmış hız denklemi;

$$[A]_t = -kt + [A]_0$$

şeklindedir.

t : geçen süre

$[A]_0$: Başlangıç derişimi

$[A]_t$: t anındaki derişimi

k : hız sabiti

Sıfıncı dereceden tepkimeler için başlangıç derişimi $[A]_0 = [A]$ ve $[A]_t = [A]/2$ alındığında yarılanma süresi için aşağıdaki denklem bulunur.

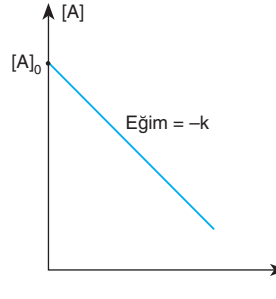
$$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$$

ÖNEMLİ! Bu ifade de $[A]_0$ bulunduğu için sıfıncı dereceden tepkimelerin yarılanma süresi başlangıç derişimine bağlıdır.

**NOT**

Yarılanma süresi ($t_{1/2}$): Bir tepkimede, tepkimeye girenlerden herhangi birinin başlangıç derişiminin yarıya inmesi için geçen süredir.

Sıfırıncı dereceden tepkimelerde; A'nın t derişiminin zamanla değişim grafiği ($[A] - t$) eğimi negatif olan bir doğrudur.



Ayrıca bu grafikten belli bir t anındaki $[A]$ okunarak A'nın o andaki derişimi bulunabilir. Sıfırıncı dereceden tepkimelerde:

- $[A]_t = -kt + [A]_0$
- $t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$
- Tepkimenin hızı, hız sabiti k'ya eğittir.
- $[A] - t$ grafiğinin eğimi $-k$ 'ya eğittir.
- k'nın birimi M/s yani mol/L.s'dir.

ÖRNEK

Sıfırıncı dereceden olduğu bilinen bir tepkimede, başlangıç derişimi 0,48 M olan A'nın 15. saniyede derişimi 0,18 M olduğuna göre, bu tepkimenin hızı kaç M/s'dir?

- A) 0,01 B) 0,02 C) 0,03 D) 0,1 E) 0,2

ÇÖZÜM

Sıfırıncı dereceden tepkimeler için,

$$[A]_t = -kt + [A]_0$$

denklemini kullanılır.

$$[A]_0 = 0,48\text{M}, \quad [A]_t = 0,18\text{M} \quad t = 15 \text{ s}$$

$$0,18 = -k \cdot 15 + 0,48$$

$$k = 0,02$$

Sıfırıncı dereceden tepkimenin hızı, hız sabiti k'ya eğittir.

Tepkime hızı = $k = 0,02 \text{ M/s}$

Cevap B

ÖRNEK

Sıfırıncı dereceden olduğu bilinen bir tepkimede 100 M olan başlangıç derişiminin %60'ının harcanması için geçen süre 2 dakikadır. Buna göre bu tepkimenin yarılanma süresi aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) 10 s B) 50 s C) 100 s D) 500 s E) 1000 s

ÇÖZÜM

İlk olarak k hız sabiti bulunur. Başlangıç derişimi 100 M olduğuna göre $100 - 60 = 40 \text{ M}$ geriye kalır.

$$[A]_t = -kt + [A]_0$$

$$40 = -k \cdot 2 \cdot 60 + 100$$

$$k = 0,5$$

k ve başlangıç derişimi $[A]_0$ kullanılarak yarılanma süresi bulunabilir.

$$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$$

$$t_{1/2} = \frac{100}{2 \cdot 0,5} = 100 \text{ saniye}$$

Cevap C

ÖRNEK

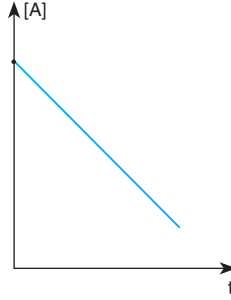
Yandaki grafikte "A → ürün" tepkimesi için A'nın derişiminin zamanla değişim grafiği verilmiştir.

Buna göre;

- I. Tepkime sıfırncı derecedendir.
- II. Grafiğin eğimi $-k$ 'yı verir.
- III. Yarılanma süresi ($t_{1/2}$) başlangıç derişimine bağlıdır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) I, II ve III

**ÇÖZÜM**

$[A] - t$ grafiği doğrusal olduğundan bu sıfırncı dereceden bir tepkimedir. Grafiğin eğimi $-k$ 'yı verir. Sıfırncı dereceden tepkimelerde yarılanma ömrü $t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$ 'ya eşittir. Eşitlikte $[A]_0$ olması yarılanma süresinin başlangıç derişimine bağlı olduğunu gösterir. Her üç öncül de doğrudur.

Cevap E

9. 2. Birinci Dereceden Tepkimeler

Birinci dereceden bir tepkimede hız ifadesinde üstlerin toplamı bire eşittir. Tepkimenin hızı sadece bir tepkenin derişimine bağlıdır.

A → Ürünler tepkimesinin hızı için,

$TH = k[A]$ yazılabilir.

Aynı zamanda $TH = \frac{-\Delta[A]}{\Delta t} = k[A]$ eşitliği için $t = 0$ 'dan t 'ye ve $[A]_0$ 'dan $[A]_t$ 'ye sınır değerleri için integral alındığında, birinci dereceden bir tepkime için integrali alınmış hız denklemi;

$$\ln [A]_t = -kt + \ln [A]_0$$

elde edilir.

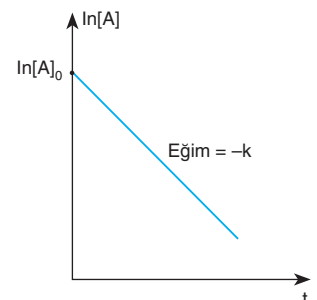
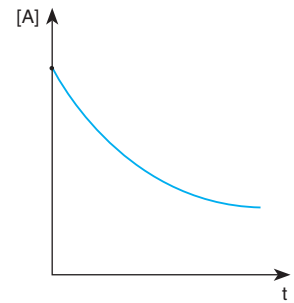
Birinci dereceden tepkimeler için başlangıç derişimi $[A]_0 = [A]$ ve $[A]_t = [A]/2$ alındığında yarılanma süresi için aşığıdaki denklem bulunur.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}$$

ÖNEMLİ! Bu ifade de $[A]_0$ bulunmadığı için birinci dereceden tepkimelerin yarılanma süresi başlangıç derişimine bağlı değildir. Yalnızca birinci dereceden tepkimelerde yarılanma süresi sabit bir değere sahiptir. Diğer tepkimelerde yarılanma süresi derişime bağlıdır. Diğer tepkimelerde derişim zamanla azaldığı için yarılanma süresi de zamanla değişir.

Birinci dereceden tepkimelerde; A'nın derişiminin zamanla değişim grafiği ($[A] - t$) grafiği doğrusal değil, parabolik azalan bir grafikdir. Ancak bu grafik yerine $\ln[A]$ 'ya karşı zaman grafiği çizilirse eğimi negatif olan bir doğru elde edilir.

$\ln[A] - t$ grafiğinin eğimi $-k$ 'ya eşittir. Ayrıca grafikten belli bir t anındaki $\ln[A]$ okunarak A'nın o andaki derişimi bulunabilir.



Birinci dereceden tepkimelerde:

- $\ln[A]_t = -kt + \ln[A]_0$
- $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}$
- Tepkimenin hızı A'nın derişimine bağıdır.
- $\ln[A]_0 - t$ grafiği doğrusaldır ve eğimi $-k$ 'ya eşittir.
- k 'nın birimi $1/s$ dir.

ÖRNEK

Birinci dereceden bir tepkimede, tepkimeye başladıktan 460 s sonra tepkenin %10'unun geriye kaldığı görülmüştür. Bu reaksiyonun deney sıcaklığındaki hız sabiti nedir? ($\ln 0,1 : -2,30$)

- A) $1 \cdot 10^{-3}$ B) $5 \cdot 10^{-3}$ C) $1 \cdot 10^{-5}$
D) $5 \cdot 10^{-5}$ E) $1 \cdot 10^{-7}$

ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} \ln[A]_t &= -kt + \ln[A]_0 \\ \ln 10 &= -k \cdot 460 + \ln 100 \\ \ln 10 - \ln 100 &= -k \cdot 460 \\ \ln \frac{10}{100} &= -k \cdot 460 \quad \text{ise} \quad \ln 0,1 = -k \cdot 460 \\ -2,30 &= -k \cdot 460 \\ k &= 5 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Cevap B

ÖRNEK

Bir madde birinci dereceden bir tepkime ile bozunmaktadır. Bu tepkimeye ait yarılanma süresi 231 s olduğuna göre, hız sabiti k 'nin sayısal değeri nedir?

- A) $1 \cdot 10^{-3}$ B) $2 \cdot 10^{-3}$ C) $3 \cdot 10^{-3}$
D) $5 \cdot 10^{-3}$ E) $6 \cdot 10^{-3}$

ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} t_{1/2} &= \frac{0,693}{k} \\ 231 &= \frac{0,693}{k} \\ k &= 3 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Cevap C

ÖRNEK

Birinci dereceden bir tepkime için hız sabiti $k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ dir. Başlangıç derişiminin %60 azalması için gerekli süre kaç saniyedir? ($\ln 0,4 = -0,916$)

- A) 229 B) 343 C) 458 D) 687 E) 916

ÇÖZÜM

Başlangıç derişimi 100 alınırsa %60 azaldığında $[A]_t = 40$ olur.

$$\begin{aligned} \ln[A]_t &= -kt + \ln[A]_0 \\ \ln 40 &= -1 \cdot 10^{-3} \cdot t + \ln 100 \\ \ln 0,4 &= -1 \cdot 10^{-3} \cdot t \\ -0,916 &= -1 \cdot 10^{-3} \cdot t \\ t &= 916 \text{ s} \end{aligned}$$

Cevap E

9. 3. İkinci Dereceden Tepkimeler

İkinci dereceden bir tepkimede hız ifadesinde üstlerin toplamı ikidir. Tepkimenin hızı bir bileşen veya iki bileşenin derişimlerine bağılı olabilir. Bu durumda ikinci dereceden bir tepkimenin hız denklemi;

$$TH = k[A]^2 \text{ veya } TH = k[A] [B]$$

şekindedir.

2A → Ürünler tepkimesinin hızı için,

$$TH = k[A]^2 \text{ yazılabilir.}$$

Aynı zamanda $TH = \frac{-\Delta[A]}{\Delta t} = k[A]^2$ eşitliği için $t = 0$ 'dan t 'ye ve $[A]_0$ 'dan $[A]_t$ 'ye sınır değerleri için integral alındığında, ikinci dereceden bir tepkime için integrali alınmış hız denklemi;

$$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$$

şeklinde bulunur.

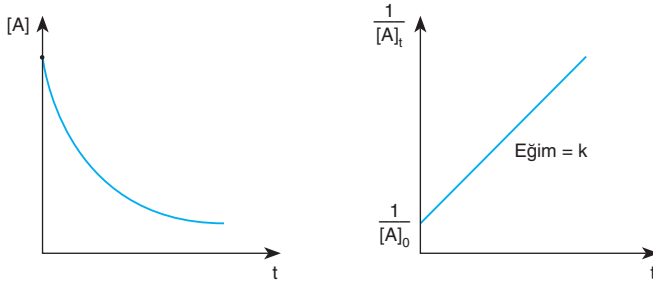
Tepkime A + B ürünler şeklinde ise A ve B'nin derişimlerinin eşit olması durumunda da bu eşitlik geçerlidir. Bu tepkenlerin derişimleri farklı ise integrali alınmış hız denklemi farklı şekilde bulunur.

İkinci dereceden tepkimeler için yarılanma süresi için aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$$

Bu ifade de $[A]_0$ bulunduğu için ikinci dereceden tepkimelerin yarılanma ömrü başlangıç derişimine bağılıdır.

İkinci dereceden tepkimelerde; A'nın derişiminin zamanla değışim grafiğı ($[A] - t$) de birinci dereceden tepkimelerde olduğu gibi doğrusal değıl, parabolik azalan bir grafiğdir. Ancak bu grafik yerine $1/[A]$ 'ya karşı zaman grafiğı bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi diğğerlerinden farklı olarak pozitifdir.



Bu grafiğın eğiminden reaksiyon hız sabiti (k) hesaplanabilir. Ayrıca grafikten belli bir t anındaki $1/[A]$ okunarak bileşenin o andaki derişimi bulunabilir.

İkinci dereceden tepkimelerde:

- $\frac{1}{[A]} = kt + \frac{1}{[A]_0}$
- $t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$
- Tepkimenin hızı A'nın derişimine bağılıdır.
- $[A] - t$ grafiğı doğrusal değıl, paraboliktir.
- $1/[A]_0 - t$ grafiğı doğrusaldır ve eğimi k'ya eşittir.
- k'nın birimi 1/M.s yani L/mol.s'dir.

ÖRNEK

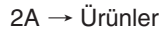
NOBr nin gaz fazında gerçekleşen bozunma tepkimesi ikinci dereceden olup tepkimenin 10°C deki hız sabiti $0,80 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. NOBr nin başlangıç derişimi 0,40 M olduğuna göre 0,30 M NOBr nin tükenmesi için geçen süre kaç saniyedir?

- A) 9,375 B) 18,750 C) 37,250
D) 56,250 E) 75,000

ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} [A]_0 &= 0,40 \text{ M} \\ [A]_t &= 0,40 - 0,30 \\ &= 0,10 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{[A]_t} &= kt + \frac{1}{[A]_0} \\ \frac{1}{0,10} &= 0,80 \cdot t + \frac{1}{0,40} \\ t &= 9,375 \text{ s} \end{aligned}$$

Cevap A**ÖRNEK**

şeklindeki ikinci dereceden bir reaksiyon için hız sabiti $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ L/mol.dk'}$ dir. A'nın başlangıç derişimi 0,2 M ise reaksiyonun yarılanma süresi kaç dakikadır?

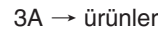
- A) 122,5 B) 225,5 C) 275,5
D) 312,5 E) 372,5

ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} t_{1/2} &= \frac{1}{k[A]_0} \\ t_{1/2} &= \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 0,2} = 312,5 \text{ dak.} \end{aligned}$$

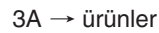
Cevap D**9. 4. Üçüncü Dereceden Tepkimeler**

Üçüncü dereceden tepkimeler aynı veya üç farklı tür molekülün aynı anda ürüne dönüştüğü tepkimelerdir. Üç molekülün aynı anda uygun geometride ve yeterli enerji ile çarpışarak tepkime vermesi çok zordur. Bu nedenle üçüncü dereceden tepkimelere çok az rastlanır.



şeklindeki üçüncü dereceden bir tepkimenin integrali alınmış hız denklemi ve yarılanma süresini gösteren bağıntılar aşağıdaki şekildedir.

$$\frac{1}{[A]_0^2} = 2kt + \frac{1}{[A]_0^2} \quad \text{ve} \quad t_{1/2} = \frac{3}{2k[A]_0^2}$$

ÖRNEK

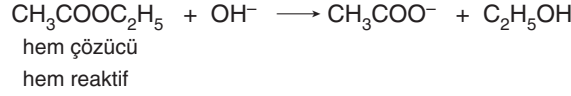
Üçüncü dereceden olan yukarıdaki tepkimede 0,2M A'nın 10 saniye sonunda %90'ı tepkimeye girdiğine göre tepkimenin hız sabiti k'nın değeri kaçtır? Bu derişimdeki A için yarılanma süresi kaç saniyedir?

ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} \frac{1}{[A]_t^2} &= 2kt + \frac{1}{[A]_0^2} \\ \frac{1}{(0,02)^2} &= 2k \cdot 10 + \frac{1}{(0,2)^2} \\ k &= 123,75 \\ t_{1/2} &= \frac{3}{2k[A]_0^2} = \frac{3}{2 \cdot 123,75 \cdot (0,2)^2} \\ t_{1/2} &= 0,303 \end{aligned}$$

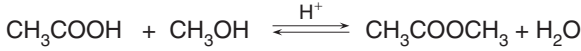
9. 5. Yalancı (Pseudo) Birinci Dereceden Tepkimeler

Yüksek dereceli karmaşık bir tepkimede, tepkimeye giren maddelerin başlangıç derişimleri uygun bir şekilde düzenlenerek tepkimenin birinci dereceden bir hız eşitliğine sahip olması sağlanabilir. Bu durumda tepkimelerin hız ifadeleri basitleştirilmiş olur. Bu durum genellikle tepkimeye girenlerden birinin çözücü olduğu durumlarda uygulanır. Örneğin, etil asetatın bazik hidrolizi ikinci dereceden bir hız yasasına sahiptir. Tepkimenin hızı hem etil asetat hem de hidroksit derişimine bağlıdır.



Ancak tepkimede, etil asetat aynı zamanda hem reaktif hem de çözücü olarak kullanılabilir. Yani etil asetat olması gerekenden çok daha fazla miktarda kullanılabilir. Bu tepkimede etil asetatın derişimindeki değişme ihmal edilebilecek kadar az olur. Tepkime hızı yalnızca OH^- derişimine bağlı olarak değişir. Yani tepkime hızı etil asetata göre sıfırıncı dereceden, OH^- ye göre ise birinci dereceden olur. Bu durumda ikinci dereceden bir hız yasasına sahip olan tepkime birinci dereceden gibi davranır. Bu tür birinci dereceden tepkimelere **yalancı (pseudo) birinci dereceden tepkime** denir.

ÖRNEK



Tepkimesi asit katalizöründe gerçekleşmektedir. Metanolün aynı zamanda çözücü olarak kullanıldığı tepkime için asetik asit derişimi 0,05 M'dir. Tepkimenin yarılanma süresi 13,86 saniye olduğuna göre,

I. Yalancı birinci dereceden tepkimedir.

II. Hız sabiti $k = 0,2$ 'dir.

III. 0,02M asetik asitin tükenmesi 14 s sürer.

Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) II ve III

ÇÖZÜM

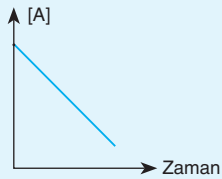
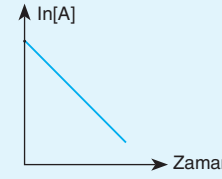
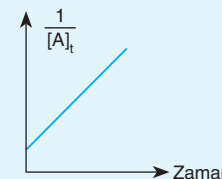
Tepkimede metanol çözücü olarak kullanıldığı için derişimi çok yüksektir. Bu nedenle derişimindeki azalma çok azdır ve tepkime hızı yalnızca asetik asit derişimine bağlı gibi davranır. Yalancı birinci dereceden tepkimeye dönüşür. Birinci derece tepkime için 0,02 M başlangıç derişimi olan 0,05 M'in yarısından daha azdır ve 13,86 s'den daha kısa sürede tükenir.

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$$

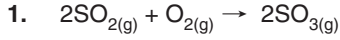
$$13,86 = \frac{0,693}{k}$$

$$k = 0,05$$

Cevap A

Derece	İntegrali alınmış hız yasası	yarı ömür	zaman-derişim grafiği
0°	$[A]_t = -kt + [A]_0$	$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$	
1°	$\ln[A]_t = -kt + \ln[A]_0$	$t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$	
2°	$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$	$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$	

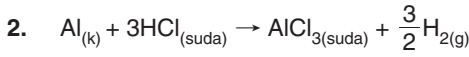
Konu Kavrama Testleri



Tepkimesi tek basamakta gerçekleşmektedir. 1 L'lik bir kaba 2'şer mol SO_2 ve O_2 gazları konuyor.

Sabit sıcaklıkta SO_2 nin yarısı harcılandığı anda tepkime hızı kaç M/s'dir? ($k = 1 \cdot 10^{-4}$)

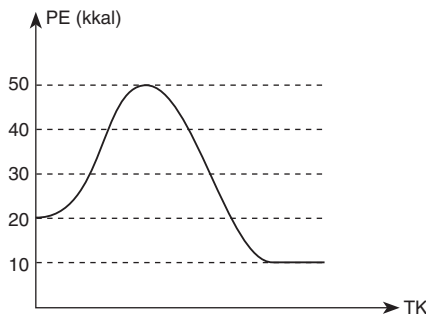
- A) $1,5 \cdot 10^{-4}$ B) $1,5 \cdot 10^{-3}$ C) $3 \cdot 10^{-4}$
D) $3 \cdot 10^{-5}$ E) $3 \cdot 10^{-3}$



Tepkimesine göre sabit sıcaklıkta 24,3 gram Alüminyum 3 dakikada tamamen çözündüğüne göre hidrojen gazının ortalama oluşma hızı kaç mol/s'dir? (Al: 27 g/mol)

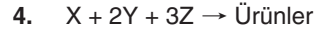
- A) $5 \cdot 10^{-3}$ B) $7,5 \cdot 10^{-3}$ C) $5 \cdot 10^{-2}$
D) $7,5 \cdot 10^{-2}$ E) $7,5 \cdot 10^{-1}$

3. 1 mol A ve 1 mol B elementlerinin $\text{A} + \text{B} \rightarrow 2\text{C}$ tepkimesine ait potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği aşağıdaki gibidir.



Buna göre, tepkime ile ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) $E_{ai} = 30$ kkal dir.
B) $E_{ag} = 40$ kkal dir.
C) Aktifleşmiş kompleksin enerjisi 50 kkal dir.
D) C nin molar oluşum entalpisi -5 kkal dir.
E) Tepkime entalpisi $\Delta H = 10$ kkal dir.



Tepkimesinin hız ifadesi

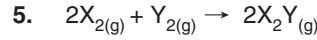
$\text{TH} = k \cdot [\text{X}] [\text{Y}]^2$ şeklindedir.

Buna göre,

- I. Tepkime en az iki basamaktan oluşan bir mekanizma üzerinden yürür.
II. Mekanizmadaki yavaş basamağın girenler kısmı, $\text{X} + 2\text{Y}$ şeklindedir.
III. Z nin derişiminin artması tepkime hızını artırır.

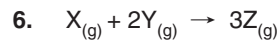
yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III



Tepkimesi tek basamakta gerçekleşiyor. Sabit sıcaklıkta kabın hacmi yarıya indirilirse tepkime hızı nasıl değişir?

- A) 4 kat artar. B) 4 kat azalır.
C) 8 kat artar. D) 8 kat azalır.
E) 2 kat artar.



Tepkimesindeki maddelerin harcanma ve oluşma hızları ile ilgili;

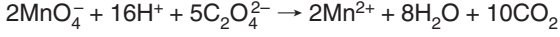
- I. $\text{TH}_X = \frac{\text{TH}_Y}{2}$
II. $\text{TH}_Z = 3\text{TH}_X$
III. $\text{TH}_Y = \frac{3}{2} \text{TH}_Z$

verilen eşitliklerden hangileri yanlıştır?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

7. Tepkime hızı ile ilgili yapılan bir deneyde 5,0 mL 3×10^{-4} M KMnO_4 ve 1 mL 0,25 M H_2SO_4 çözeltisini içeren bir deney tüpüne 45°C sıcaklıkla 4 mL 5×10^{-3} M $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ çözeltisi ekleniyor. Pembe rengin kaybolması için geçen süre 150 s olarak bulunuyor.

Buna göre KMnO_4 'ün harcanma hızı kaç M/s'dir?



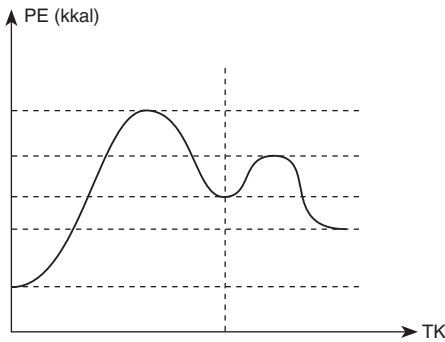
- A) 5×10^{-6} B) 5×10^{-4} C) 3×10^{-4}
D) 1×10^{-4} E) 1×10^{-6}

8. Fosfin (PH_3)'in, fosfor ve hidrojene bozunması birinci dereceden bir reaksiyondur. Bu reaksiyonun 680°C 'deki yarılanma ömrü 33 saniyedir.

Bu reaksiyonun hız sabiti k'nın değeri kaç s^{-1} 'dir?

- A) 2,079 B) 1,926 C) 1,386
D) 0,693 E) 0,021

9.



İki basamakta gerçekleşen mekanizmalı tepkimeye ait PE-TK grafiği yukarıdaki gibidir.

Buna göre tepkime ile ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) I. basamak hız belirleyen basamaktır.
B) II. basamağın aktifleşme enerjisi daha küçüktür.
C) II. basamak ekzotermiktir.
D) Tepkime süresinci bir aktifleşmiş kompleks oluşur.
E) Toplam tepkime endotermiktir.

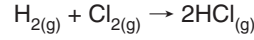
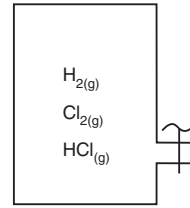
10. Gaz fazında pistonlu bir kapta gerçekleşen tepkimenin hızını eşik enerjisini değiştirmeden arttırmak için,

- I. Piston sabit tutularak sıcaklığı arttırmak
II. Sıcaklık sabit tutularak pistonu aşağı itmek
III. Katalizör kullanmak

İşlemlerinden hangileri tek başına uygulanabilir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

11.



Tepkimesinin tek basamakta gerçekleştiği kaba dışarıdan,

- I. $\text{H}_{2(g)}$
II. $\text{HCl}_{(g)}$
III. $\text{He}_{(g)}$

gazları ayrı ayrı ilave ediliyor. Buna göre hangi gazlar ilave edildiğinde tepkime hızı artar?

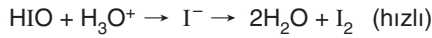
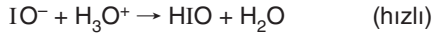
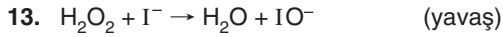
- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

12. Kapalı bir kapta sabit sıcaklıkta gerçekleşen,

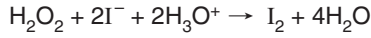
- I. $\text{H}_{2(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightarrow 2\text{HCl}_{(g)}$
II. $2\text{NH}_{3(g)} \rightarrow \text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)}$
III. $\text{CaCO}_{3(k)} \rightarrow \text{CaO}_{(k)} + \text{CO}_{2(g)}$

tepkimelerinden hangilerinin hızı basınç artışı ile ölçülebilir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III



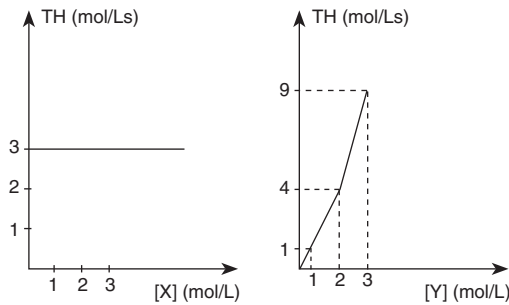
yukarıdaki mekanizma üzerinden yürüyen



tepkime için aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) IO^- ve HIO ara üründür.
 B) Tepkimenin hız ifadesi $TH = k \cdot [H_2O_2] [I^-]$ 'dir.
 C) Tepkime kabına eşit hacimde su eklenirse tepkime hızı dört kat azalır.
 D) Yavaş basamağın aktivasyon enerjisi en düşüktür.
 E) Hız sabiti k'nın birimi $\frac{L}{mol \cdot s}$ 'dir.

14.



X ve Y arasında gerçekleşen tepkimede X ve Y nin derişimlerinin değışimi ile tepkime hızının değışimi görülmektedir.

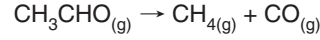
Buna göre,

- I. X, katı olabilir.
 II. X ve Y nin derişimi 2 şer kat artarsa tepkime hızı 4 kat artar.
 III. Tepkimenin hız bağıntısı $TH = k \cdot [Y]^2$ dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

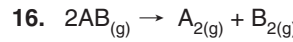
- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve II E) I, II ve III

15. Asetaldehit (CH_3CHO) aşağıdaki tepkimeye göre birinci dereceden bir hız yasası ile bozunmaktadır.



Asetaldehitin 420 saniyede %10'u bozunduğuna göre, %50'sinin bozunması için kaç saniye gerekir? ($\ln 0,9 = -0,105$)

- A) 1324 B) 2772 C) 3842
 D) 4276 E) 6342

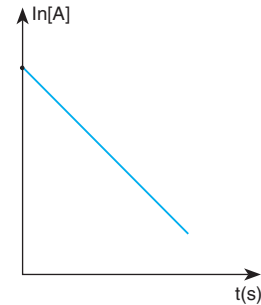


Tepkimesi tek basamakta gerçekleşmektedir.

0,4 M AB gazının 25 saniyede %90'ı tepkimeye girdiğine göre, tepkimenin hız sabiti k kaçtır?

- A) 0,2 B) 0,25 C) 0,5 D) 0,9 E) 1,2

17. $2A \rightarrow$ ürünler tepkimesine ait zaman-derişim grafiği

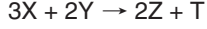


şeklindedir.

Buna göre bu tepkime ile ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) 1. dereceden hız denkleminde sahiptir.
 B) Hız sabiti k'nın birimi s^{-1} 'dir.
 C) Grafiğin eğimi $-k$ 'yi verir.
 D) Yarı ömür, $t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$ bağıntısı ile bulunur.
 E) Tek basamakta gerçekleşen bir tepkimedir.

18. Deney No	[X] (M)	[Y] (M)	Hız (M/s)
1	0,1	0,2	$2 \cdot 10^{-2}$
2	0,2	0,1	$4 \cdot 10^{-2}$
3	0,2	0,2	$8 \cdot 10^{-2}$

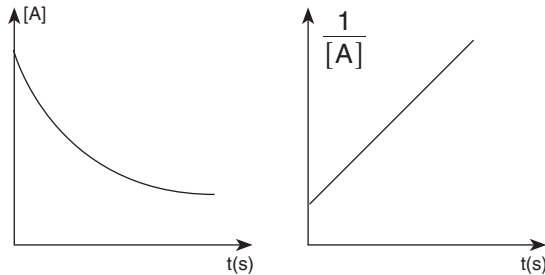


Tepkimesi için belirli bir sıcaklıkta yapılan deneylerin sonuçları yukarıda verilmiştir.

Bu verilere göre, aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) Tepkimenin hız derecesi 3'tür.
 B) k sabitinin değeri $10 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{s}$ 'dir.
 C) Tek basamakta gerçekleşen bir tepkimedir.
 D) Tepkime Hızı = $k \cdot [X]^2 (Y)$ 'dir.
 E) Kabın hacmi yarıya düşürülürse tepkime hızı 8 kat artar.

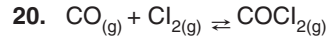
19.



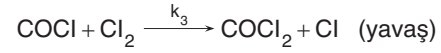
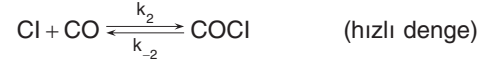
A → Ürünler tepkimesine ait iki grafik yukarıda verilmiştir.

Sabit sıcaklıkta 0,10M A'nın derişiminin %80 azalması için geçen süre 100s olduğuna göre tepkimeye ait hız sabiti k'nın sayısal değeri kaçtır?

- A) 0,2 B) 0,4 C) 0,6
 D) 0,02 E) 0,04



Yukarıda verilen fosgen(COCl_2) gazının oluşmasına ait tepkime mekanizması,



basamaklarından oluşmaktadır.

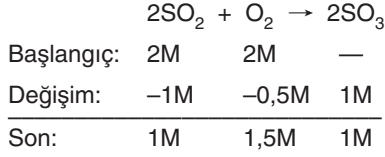
Buna göre tepkimesine ait hız denklemini aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) $\text{TH} = k \cdot [\text{Cl}_2]^{\frac{3}{2}} [\text{CO}]$
 B) $\text{TH} = k \cdot [\text{Cl}_2]^{\frac{1}{2}} [\text{CO}]$
 C) $\text{TH} = k \cdot [\text{Cl}_2] [\text{CO}]^{\frac{1}{2}}$
 D) $\text{TH} = k \cdot [\text{Cl}_2] [\text{CO}]^{\frac{3}{2}}$
 E) $\text{TH} = k \cdot [\text{Cl}_2]^{\frac{1}{2}} [\text{CO}]^{\frac{3}{2}}$

Konu Kavrama Çözümleri

1. Kabın hacmi 1L olduğu için mol sayıları derişimlerine eşittir.

SO₂ nin yarısı harcıdığına göre 1M SO₂ harcanmıştır.



$$\text{TH} = k \cdot [\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]$$

$$\text{TH} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot (1)^2 (1,5) = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ M/s}$$

Cevap A'dir.

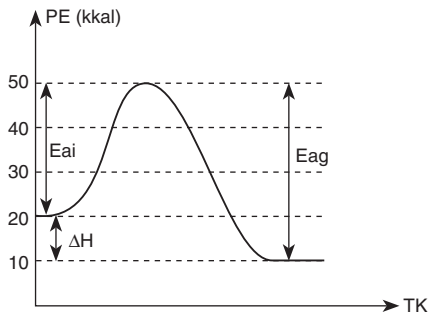
2. $n_{\text{Al}} = \frac{24,3}{27} = 0,9 \text{ mol}$

$$n_{\text{H}_2} = 0,9 \cdot \frac{3}{2} = 1,35 \text{ mol}$$

$$\text{TM}_{\text{H}_2} = \frac{\Delta n_{\text{H}_2}}{\Delta t} = \frac{1,35 \text{ mol}}{60 \cdot 3 \text{ s}} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/s}$$

Cevap B'dir.

3.



Ekzotermik bir tepkimedir.

$\Delta H < 0$ dir.

$$\Delta H = E_{\text{ai}} - E_{\text{ag}} = 30 - 40 = -10 \text{ kkal}$$

Cevap E'dir.

4. Tepkimenin hız ifadesi girenlerin hepsini içermediğine göre mekanizmalı bir tepkimedir. Hız ifadesi yavaş basamağın girenler kısmını verir. Hız ifadesinde yer almayan maddelerin derişimindeki değişme tepkime hızını etkilemez.

Cevap C'dir.

5. $\text{TH} = k \cdot [\text{X}_2]^2 [\text{Y}_2]$

X₂ ve Y₂ nin başlangıç derişimleri M olsun.

$$\text{TH} = k \cdot (\text{M})^2 \cdot \text{M} = k \cdot \text{M}^3 = 9$$

Hacim yarıya inerse derişimler iki katına çıkar, 2m olur.

$$\begin{aligned} \text{TH} &= k \cdot (2\text{M})^2 (2\text{M}) = k \cdot 8 \cdot \text{M}^3 \\ &= 8 \cdot k \cdot \text{M}^3 \\ &= 8 \cdot 9 \end{aligned}$$

Tepkime hızı 9'den 89'ye çıktığına göre 8 kat artmıştır.

Cevap C'dir.

6. Tepkimede oluşma ve harcanma hızları maddelerin katsayıları ile orantılıdır.

$$\text{TH}_x = 9$$

$$\text{TH}_y = 29$$

$$\text{TH}_z = 39$$

$$6\text{TH}_x = 3\text{TH}_y = 2\text{TH}_z \text{ dir.}$$

I ve II doğru III yanlıştır.

Cevap C'dir.

7.

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$3 \cdot 10^{-4} \text{ M} \cdot 5 \text{ mL} = [\text{MnO}_4^-] \cdot (5 + 1 + 4) \text{ mL}$$

$$[\text{MnO}_4^-] = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \text{KMnO}_4 \text{ 'ün harcanma hızı} &= \frac{\Delta [\text{MnO}_4^-]}{\Delta t} \\ &= \frac{1,5 \cdot 10^{-4} \text{ M}}{150 \text{ s}} \\ &= 1 \cdot 10^{-6} \text{ M/s} \end{aligned}$$

Cevap E'dir.

$$8. \ln \frac{[A]_0}{[A]_t} = k \cdot t$$

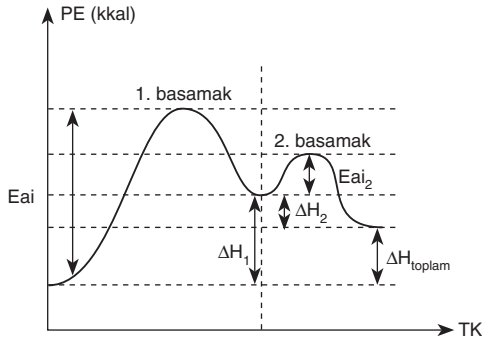
$$\ln \frac{100}{50} = k \cdot t_{1/2}$$

$$\ln 2 = k \cdot 33$$

$$k = \frac{0,693}{33} = 0,021 \text{ s}^{-1}$$

Cevap E'dir.

9.



$$E_{ai1} > E_{ai2}$$

olduğu için 1. basamak yavaştır ve hızı belirler. 1. tepkime endotermik, 2. tepkime ekzotermik, toplam tepkime ise endotermiktir.

İki basamaklı olduğuna göre 2 aktifleşmiş kompleks oluşmalıdır.

Cevap D'dir.

10. I ve II işlemleri uygulandığında çarpma sayısı artar. Bu da hızı artırır. Sıcaklık ve hacim değişikliği eşik enerjisini değiştirmez. Katalizör ise eşik enerjisini düşürerek tepkimeli hızlandırır.

Cevap D'dir.

11. Tek basamakta gerçekleşen tepkimelerin hızını girerler belirler. Yani H₂ ve Cl₂ derişimi artarsa tepkime hızı artar. Diğerleri etkilenmez.

Cevap A'dir.

12. Gaz moleküllerinin sayısı tepkime sırasında artarsa basınçta artacağı için gaz basıncındaki artış ile tepkime hızı ölçülebilir. I. tepkimede gaz basıncı değişmez. II. ve III. tepkimelerde zamanla gaz molekül sayısı ve gaz basıncı artar. Tepkime hızı gaz basıncının artışı ile ölçülebilir.

Cevap E'dir.

13. Mekanizmalı tepkimelerin hızını en yavaş basamak belirler. Bu nedenle TH = k · [H₂O₂] [I⁻]'dir. En yavaş basamağın aktivasyon enerjisi en büyüktür.

Cevap D'dir.

14. X'in derişimi arttığında tepkime hızı değişmemiştir. Y'nin derişimi arttığında ise tepkime hızı derişimin karesi ile orantılı olarak artmaktadır. Bu durumda hız yasası.

$$TH = k \cdot [Y]^2 \text{ şeklindedir.}$$

X katı olabilir. X'in derişimi tepkime hızını etkilemez, Y'nin derişimindeki 2 kat artış tepkime hızını 4 kat artırır.

Cevap E'dir.

15. %10'u bozduğuna göre %90 geride kalır.

$$\ln[A]_t = -kt + \ln[A]_0$$

$$\ln 90 = -k \cdot 420 + \ln 100$$

$$\ln 90 - \ln 100 = -k \cdot 420$$

$$\ln 0,9 = -k \cdot 420$$

$$-0,105 = -k \cdot 420$$

$$k = 2,5 \cdot 10^{-4}$$

%50'sinin bozunması için geçen süre yarılanma süresidir.

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{2,5 \cdot 10^{-4}} = 2772 \text{ saniye}$$

Cevap B'dir.

16. Tek basamakta gerçekleşen tepkimenin hız yasası $TH = k \cdot [AB]^2$ şeklindedir. 2. dereceden bir tepkimedir. $\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$ denklemi kullanılarak k sabiti bulunabilir. 25 saniyede %10'u kalmıştır.

$$[A]_0 = 0,4 \text{ M} \quad [A]_t = 0,4 \cdot \frac{10}{100} = 0,04 \text{ M}$$

$$\frac{1}{0,04} = k \cdot 25 + \frac{1}{0,4}$$

$$\frac{1}{0,04} - \frac{1}{0,4} = k \cdot 25$$

$$25 - 2,5 = k \cdot 25$$

$$k = 0,90$$

Cevap D'dir.

17. $t - \ln[A]$ grafiği eğimi (-) olan bir doğru olduğuna göre 1. dereceden bir tepkimedir. $2A \rightarrow$ ürünler tepkimesine göre 2. dereceden olması beklenirken 1. dereceden olduğu için tek basamaklı değil mekanizması bir tepkimedir.

Cevap E'dir.

18. Tepkimenin hız denklemi $TH = k[X]^2 [Y]$ şeklindedir. Hız denklemi soruda verilen denklem ile uyumlu değildir. Bu nedenle mekanizmalı bir tepkime gerçekleşmiştir.

Cevap C'dir.

19. $t - [A]$ grafiği parabolik ve $t - \frac{1}{[A]}$ grafiği doğrusal olduğuna göre tepkime 2'nden hız yasasına sahiptir.

$$[A]_c = 0,10 \text{ M'dir. } \%80 \text{ azaldığında } \%20 \text{ kalır.}$$

$$[A]_t = 0,10 \cdot \frac{20}{100} = 0,02 \text{ M}$$

$$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_c}$$

$$\frac{1}{0,02} = k \cdot 100 + \frac{1}{0,10}$$

$$\frac{1}{0,02} - \frac{1}{0,10} = k \cdot 100$$

$$\frac{4}{0,10 \cdot 100} = k$$

$$k = 0,4$$

Cevap B'dir.

20. Tepkimenin hızını yavaş olan üçüncü basamak belirler. Bu basamağa göre hız denklemi, $TH = k_3 [COCl] [Cl_2]$ şeklindedir. Ancak $[COCl]$ tepkime ara ürünüdür. Ana ürün derişimi belirlenemediği için $COCl$ yerine denge basamakları yardımı ile derişimi belirlenebilen türler cinsinden yazılmalıdır.

2. dengede:

$$\frac{k_2}{k_{-2}} = \frac{[COCl]}{[Cl][CO]} \text{ ise } [COCl] = \frac{k_2}{k_{-2}} \cdot [Cl][CO]$$

1. dengede:

$$\frac{k_1}{k_{-1}} = \frac{[Cl]^2}{[Cl_2]} \text{ ise } [Cl]^2 = \frac{k_1}{k_{-1}} \cdot [Cl_2]$$

$$[Cl] = \sqrt{\frac{k_1}{k_{-1}}} \cdot \sqrt{[Cl_2]}$$

$[Cl]$ için bulunan ifade bir önceki denklemde yazılırsa

$$[CaCl] = \frac{k_2}{k_{-2}} \cdot \sqrt{\frac{k_1}{k_{-1}}} \cdot \sqrt{[Cl_2]} \cdot [CO]$$

$[COCl]$ hız denkleminde yazılırsa

$$TH = k_3 \cdot [COCl] [Cl_2]$$

$$TH = k_3 \cdot \frac{k_2}{k_{-2}} \cdot \sqrt{\frac{k_1}{k_{-1}}} \cdot \sqrt{[Cl_2]} \cdot [CO] \cdot [Cl_2]$$

$$TH = k \cdot [Cl_2]^{\frac{3}{2}} [CO]$$

Cevap A'dir.

FİZİKOKİMYA – 3

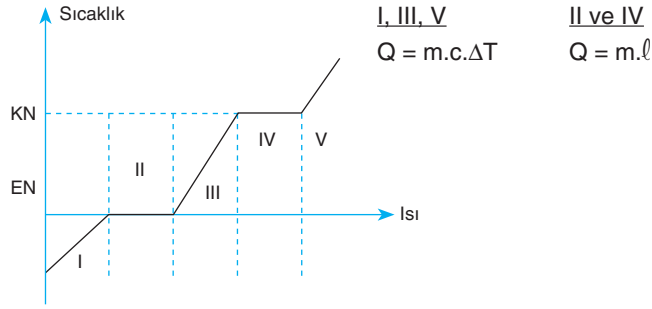
HAL DEĞİŞİMLERİ VE FAZ DİYAGRAMLARI

- ✓ HAL DEĞİŞİMLERİ
- ✓ FAZ DİYAGRAMLARI
 - ↳ Serbestlik Derecesi
 - ↳ Tek Bileşenli Sistemlerde Faz Diyagramları

HAL DEĞİŞİMLERİ VE FAZ DİYAGRAMLARI

1. HAL DEĞİŞİMLERİ

Maddenin üç temel hali olan katı, sıvı ve gaz hali (fazı) arasındaki dönüşümler fiziksel olaylardır. Belli basınç altındaki katı ısıtıldığında sıvıya, sıvı da ısıtıldığında gaza dönüşür. Bu dönüşümler sırasında eğer madde hal değiştirmeden sıcaklığı artıyorsa (I, III ve V. bölgeleri) maddenin aldığı ısı $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ formülü ile bululur. Hal değişimi sırasında ise sıcaklık sabit kalır (II ve IV. bölge) ve maddenin aldığı ısı $Q = m \cdot \ell$ ile bulunur.



ÖRNEK

-20°C 'deki 100 gram buzun 40°C 'de su haline gelmesi için kaç kalori ısı gerekir?

($\ell_e = 80 \text{ kal/g}$, $c_{\text{buz}} = 0,5 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{su}} = 1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$)

ÇÖZÜM

$$Q_1 = m \cdot c_{\text{buz}} \cdot \Delta T$$

$$Q_1 = 100 \cdot 0,5 \cdot 20$$

$$Q_1 = 1000 \text{ kal}$$

$$Q_2 = m \cdot \ell_e = 100 \cdot 80$$

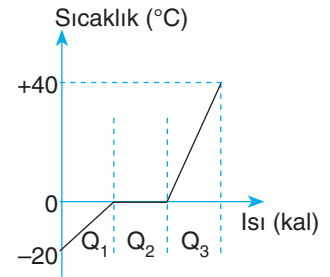
$$Q_2 = 8000 \text{ kal}$$

$$Q_3 = m \cdot c_{\text{su}} \cdot \Delta T$$

$$Q_3 = 100 \cdot 1 \cdot 40 = 4000 \text{ kal}$$

$$Q_{\text{Top}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

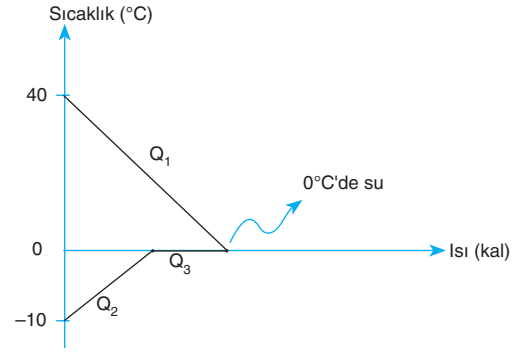
$$Q_{\text{Top}} = 1000 + 8000 + 4000 = 13000 \text{ kal ısı gerekir.}$$



ÖRNEK

Yalıtılmış bir kaptaki bulunan 40°C 'deki 8 gram su içerisine -10°C 'deki 2 gram buz parçası atılıyor. Sistem ısıl dengeye geldiğinde son sıcaklık kaç $^{\circ}\text{C}$ olur?

($c_{\text{buz}} = 0,5 \text{ kal/g}$, $c_{\text{su}} = 1 \text{ kal/g}$, $\ell_e = 80 \text{ kal/g}$)

**Suyun Verdiği Isı**

$$Q_1 = m \cdot c_{\text{su}} \cdot \Delta T$$

$$Q_1 = 8 \cdot 1 \cdot 40 = 320 \text{ kal}$$

Buzun aldığı Isı

$$Q_2 = m \cdot c_{\text{buz}} \cdot \Delta T$$

$$Q_2 = 2 \cdot 0,5 \cdot 10$$

$$Q_2 = 10 \text{ kal}$$

$$Q_3 = m \cdot \ell_e$$

$$Q_3 = 2 \cdot 80 = 160 \text{ kal}$$

$$Q_2 + Q_3 = 10 + 160 = 170 \text{ kal}$$

Suyun verdiği ısı, buzun erimesi gereken ısıdan daha fazla bulunmuştur. Bu durumda buz tamamen erir ve aradaki fark kadar ısı karışımın sıcaklığını artırır.

$$320 - 170 = 150 \text{ kal ısı artar.}$$

$$0^{\circ}\text{C}'de (8 + 2) = 10 \text{ g su } 150 \text{ kal ısı alırsa}$$

$$Q = m \cdot c_{\text{su}} \cdot \Delta T$$

$$150 = 10 \cdot 1 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 15^{\circ}\text{C} \text{ Son sıcaklık } 15^{\circ}\text{C} \text{ olur.}$$

ÇÖZÜM

Son sıcaklık bilinmiyor. Bu nedenle su ve buz karışımının hangi noktada bulunacağı da bilinmiyor. Yani 0°C 'de, 0°C 'nin altında ya da üstündeki bir noktada ısıl denge kurulabilir.

Öncelikle, yaklaşık olarak son sıcaklığın hangi bölgede olacağı belirlenmelidir.

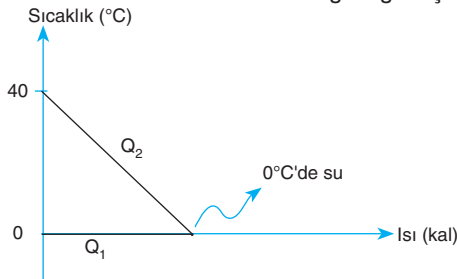
Bu amaçla -10°C 'deki buzun tamamen eriyerek 0°C 'de su olması için ne kadar ısı alması gerektiği ve 40°C 'deki suyun 0°C 'de su haline gelmesi sırasında ne kadar ısı vereceği bulunur. Burada her iki maddeninde 0°C 'de su noktasında bulunması keyfi olarak seçilmiştir.

ÖRNEK

Isıca yalıtılmış bir kaptaki 0°C 'de 10 gram buz ile 10°C 'de 40 g su karıştırılıyor. Isıl denge kurulduğunda sistemin fiziksel hali ve sıcaklığı ne olur? ($c_{\text{su}} = 1 \text{ kal/g}$, $\ell_e = 80 \text{ kal/g}$)

ÇÖZÜM

Her iki maddeninde 0°C 'de su hâline geldiği düşünülür.

**Buzun aldığı Isı**

$$Q_1 = m_{\text{buz}} \cdot \ell_e$$

$$Q_1 = 10 \cdot 80$$

$$Q_1 = 800 \text{ kal ısı}$$

$$\text{alır} \text{sa} \text{ buz} \text{ tamamen} \text{ erir. } Q_2 = 400 \text{ kal ısı} \text{ verebilir.}$$

Buzun tamamen erimesi için 800 kal ısı gerekir. Ancak su 400 kal ısı verebilir.

800 kal ile 10 g buz erir

400 kal ile x

x = 5 g buz erir son durumda 0°C 'de 5 g buz kalır. 45 g su bulunur.

ÖRNEK

Yoğunluğu 0,8 g/mL olan 50 mL etanol çözeltisinin sıcaklığı 20°C'den 58°C'ye çıkarıldığında alınan ısı miktarı 3800 J olduğuna göre, etanol çözeltisinin özgül ısısı kaç J/g°C'dir?

ÇÖZÜM

$$d = \frac{m}{V} \quad 0,8 \text{ g/mL} = \frac{m}{50 \text{ mL}} \quad \text{ise } m = 40 \text{ g çözelti}$$

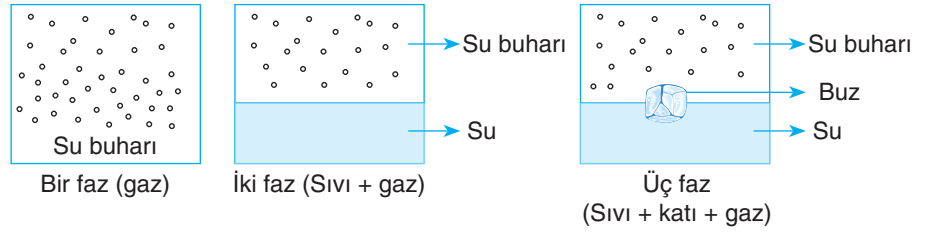
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$3800 \text{ J} = 40 \text{ g} \cdot c \cdot (58^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

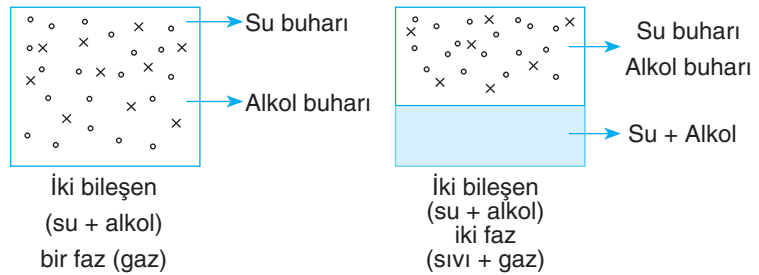
$$c = 2,5 \text{ J/g}^\circ\text{C}$$

2. FAZ DİYAGRAMLARI

Bir sistemin homojen bir parçası olan ve sistemin diğer parçalarından kesin bir sınırla ayrılmış her bir bölüme **faz** denir. Bir fazın her noktasında şiddet özellikleri aynıdır. Şiddet özellikleri yoğunluk, bileşim, basınç, sıcaklık ve ısı kapasitesi gibi madde miktarına bağlı olmayan özelliklerdir.



Yukarıdaki sistemlerin içerdikleri faz sayıları verilmiştir. Bir sistem, farklı maddelerden oluşan bir karışım ise karışımı oluşturan her bir maddeye **bileşen** denir.

**NOT**

$S = B - F + 2$ formülünde yer alan 2 sayısı şiddet özellikleri olan sıcaklık ve basınçtır.

**NOT**

Serbestlik derecesi sistemin mevcut konumunu koruyabilmesi için bilinmesi gereken en az değişken sayısıdır.

Bir sistemin sıcaklık, basınç ve bileşime bağlı olarak faz dönüşümlerini ve faz dengesini gösteren grafiklere faz diyagramları denir. Faz diyagramları yardımı ile,

- Sistemin hangi fazda olduğu
- Faz dengesinin kurulup kurulmadığı
- Çok bileşenli sistemlerde bileşenlerin birbiri içinde çözünüp çözünmediği
- Sistemin homojen yada heterojen oluşu belirlenebilir.

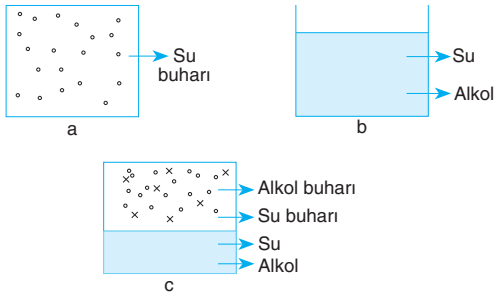
2.1. Serbestlik Derecesi: Bir sistemi tanımlayabilmek için bilinmesi gereken değişken sayısına serbestlik derecesi denir. Bu değişkenler sıcaklık, basınç ve bileşenlerin oranı gibi değişkenlerdir. Dengedeki fiziksel bir sistem için serbestlik derecesi (S);

$$S = B - F + 2$$

formülü ile bulunur.

B : Bileşen sayısı

F : Faz sayısı

ÖRNEK

Yukarıdaki sistemlerin serbestlik derecelerini bulunuz.

ÇÖZÜM

a) Yalnızca su buharından oluşan bu sistem tek bileşenli (su buharı) ve tek fazlı (gaz)'dir.

$$S = B - F + 2$$

$$S = 1 - 1 + 2 = 2'dir.$$

Bu serbestlik derecelerinden biri sıcaklık diğeri ise basınçtır.

b) Su ve alkol homojen karışım oluşturur. Bu nedenle faz sayısı $F = 1$ (sıvı) ve bileşen sayısı $B = 2$ 'dir. (Su ve alkol)

$$S = B - F + 2$$

$$S = 2 - 1 + 2$$

$$S = 3 \text{ tür.}$$

Bu serbestlik dereceleri sıcaklık, basınç ve bileşenlerden birinin derişimidir.

c) Su ve alkol homojen karışımının üzerinde buhar fazlarında bulunur. Faz sayısı $F = 2$ 'dir. (Sıvı + Gaz)

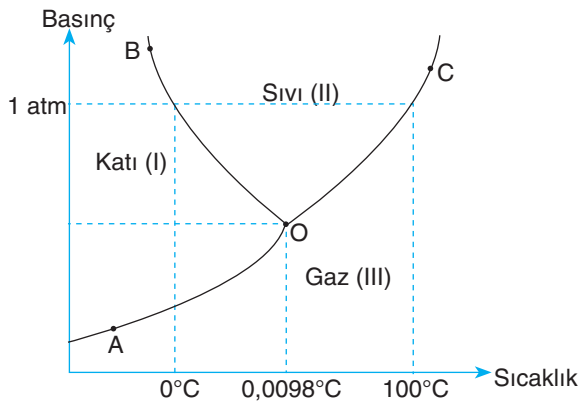
Birleşen sayısı $B = 2$ 'dir. (Su ve alkol)

$$S = B - F + 2$$

$$S = 2 - 2 + 2$$

$$S = 2'dir.$$

Bu serbestlik dereceleri sıcaklık ve basınçtır.

2. 2. Tek Bileşenli Sistemlerde Faz Diyagramları**Suyun Üçlü Faz Diyagramı**

B – O : Erime eğrisi

C – O : Buharlaşma eğrisi

A – O : Süblimleşme eğrisi

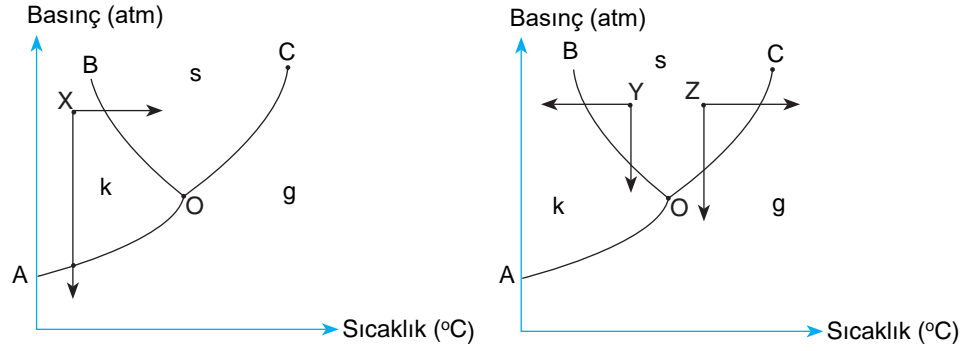
Bu grafikteki I, II ve III bölgeleri suyun tek bir fazdan oluştuğu katı, sıvı ve gaz bölgeleridir. Bu bölgelerin içindeki herhangi bir noktada su tek fazlıdır.

Bu bölgelerde $B = 1$ (su), $F = 1$ (Katı, sıvı veya gaz)

$$S = B - F + 2 = 1 - 1 + 2$$

$$S = 2$$

Bu noktada sıcaklık ve basınçtan herhangi biri değiştirildiğinde sistemin özelliğide değişir.



X noktasında madde katı halindedir. Sıcaklık artarsa katı erir. Sabit sıcaklıkta basınç düşürülürse süblimleşme olur. Y noktasında bulunan sıvı sabit basınç altında soğutulursa donar, benzer şekilde sabit sıcaklıkta basıncı düşürülürse yine donar. Z noktasında bulunan sıvı ise ısıtılırsa gaz hale geçerken soğutulduğunda donar. Sabit sıcaklıkta basınç düşürülürse gaz hale geçer.

Fazlar arasındaki eğriler üzerinde iki faz dengededir. B – O eğrisi katı ve sıvı fazın bir arada bulunduğu erime eğrisidir. C – O eğrisi ise sıvı ve gaz halinin bir arada bulunduğu buharlaşma eğrisidir. A – O eğrisi üzerinde katı ve gaz hali dengededir ve süblimleşme eğrisidir. Bu eğriler üzerinde B = 1 (su) ve F = 2 (sıvı – katı, sıvı – gaz veya katı – gaz) olduğu için;

$$S = B - F + 2$$

$$S = 1 - 2 + 2 = 1$$

Serbestlik derecesi birdir.

O noktası suyun katı – sıvı – gaz fazının bir arada dengede bulunduğu noktadır. Bu noktaya üçlü nokta denir. Bu noktada B = 1 (su) ve F = 3 (katı – sıvı – gaz) olduğu için,

$$S = B - F + 2$$

$$S = 1 - 3 + 2 = 0$$

serbestlik derecesi sıfırdır. Bu sistemde üç fazın aynı anda dengede bulunabilmesi için hiçbir değişkenin değiştirilmemesi gerekir. Sıcaklık veya basınç değiştirilirse sistem üçlü noktada kalmaz.

Tek bileşenli sistemlerin faz diyagramlarında buharlaşma eğrisinin bittiği K noktasına kritik nokta denir. Bu noktadaki sıcaklığa kritik sıcaklık (T_k) ve basınca da kritik basınç (P_k) denir. Su için kritik noktada $T_k = 374^\circ\text{C}$ ve $P_k = 218 \text{ atm}$ 'dir. Kritik sıcaklığın üzerindeki bir sıcaklıkta bulunan gazın basıncı arttırılırsa sıvılaşamaz. Kritik sıcaklığın altında ise gaz haldeki madde üzerine uygulanan basınç ile sıvılaşabilir ve buhar olarak nitelendirilir.

Kritik sıcaklık ve basınç değerlerinden daha yüksek sıcaklık ve basınçlarda sıvı – buhar dengesi kurulamaz. Bu haldeki sistem süperkritik akışkan adını alır.

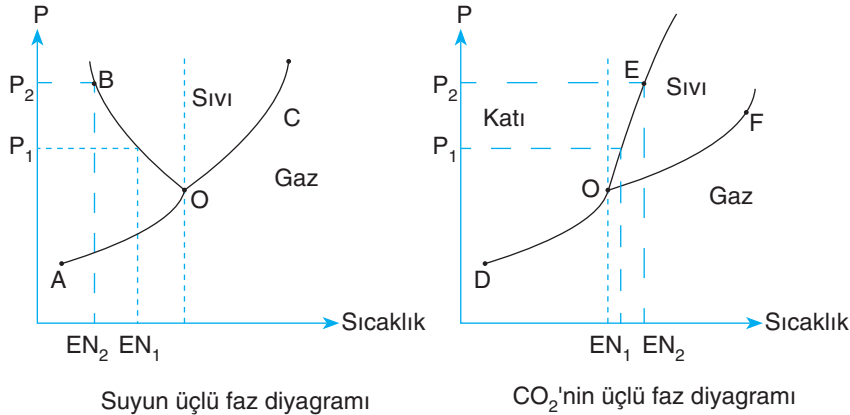
Süperkritik akışkanlar gaz olmalarına rağmen, yoğunluğu neredeyse bir sıvıya yakındır. Bu sayede sıvı ve katılar için çözücü olarak davranabilirler.



NOT

Buhar, bir maddenin kritik sıcaklığının altındaki gaz fazıdır. Gazlar ancak kritik sıcaklığın altında sıkıştırılırsa sıvılaşabilir.

Su ve Karbondioksitin Faz Diyagramlarının Karşılaştırılması

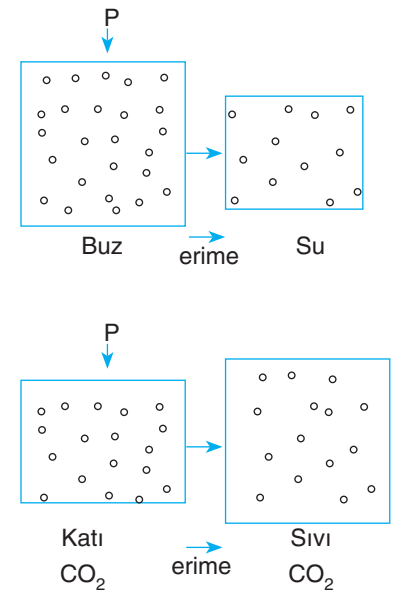


H₂O ve CO₂ gibi tüm tek bileşenli sistemlerin faz diyagramları benzerdir. Ancak temelde aralarında önemli bir fark vardır. Suyun erime eğrisi (B – O)'nun eğimi negatiftir. Sola yatıktır. Bu basınç arttıkça buzun daha düşük sıcaklıkta eriyeceğini gösterir. Bu durum su, bizmunt ve antimon için geçerlidir. Bu durum suyun buz halinin sıvı haline göre yoğunluğunun az olmasından kaynaklanır.

Buzun erimesi sırasında hacmi azalır. Üzerine uygulanan basıncın artırılması buzun hacminin küçülmesine ve erimesine yardımcı olur. Böylece buzun erimesi kolaylaşır ve daha düşük sıcaklıkta erir. Buzun erime noktası düşer.

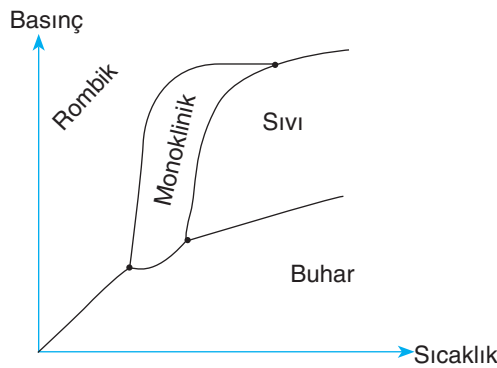
CO₂ ve diğer maddelerde ise erime eğrisi (E – O) pozitif eğime sahiptir ve sağa yatıktır. Bu nedenle katı CO₂ üzerine uygulanan basınç arttırılırsa erime noktası artar. Bu durum katı CO₂'nin eridiğinde hacminin artmasından kaynaklanır.

Erime sırasında hacim artacağı için basınç arttırıldığında erimeyi zorlaştırır. Erime daha yüksek sıcaklıkta olur ve erime noktası yükselir.



Kükürt İçin Faz Diyagramı

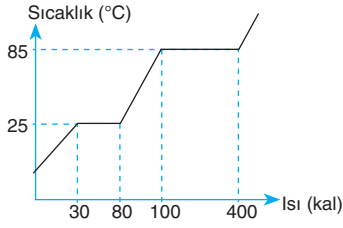
Kükürtün katı halde rombik ve monoklinik olmak üzere iki farklı allotropu vardır. Faz diyagramını incelendiğinde bu iki katı fazda gözlemlenir.



Bu grafiğe göre kükürt, iki katı, bir sıvı ve bir gaz fazda bulunabilir. Üç tane de üçlü nokta bulunur. Ancak dört fazın bir arada dengede bulunabileceği dördüncü nokta yoktur. Böyle bir nokta termodinamik olarak mümkün değildir.

Konu Kavrama Testleri

1.



Sabit basınçta, saf bir katının ısı – sıcaklık grafiği yukarıda verilmiştir. **Buna göre, aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?**

($c_k = 2 \text{ kal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, $c_s = 2,5 \text{ kal/g} \cdot ^\circ\text{C}$)

- A) Katının kütlesi 4 gramdır.
 B) Erime için 50 kal enerji kullanılmıştır.
 C) Kaynama sıcaklığı 85°C 'dir.
 D) Buharlaşma ısısı 2250 kal/g 'dir.
 E) Erime sıcaklığı 25°C 'dir.

2. 1 atm basınç altında -20°C 'deki 5 gram buz 100°C'de tamamen su haline getirmek için gerekli olan ısı kaç kkal'dir?

($L_e = 80 \text{ kal/g}$, $c_{\text{buz}} = 0,5 \text{ kal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, $c_{\text{su}} = 1 \text{ kal/g} \cdot ^\circ\text{C}$)

- A) 0,41 B) 0,95 C) 3,65 D) 4,05 E) 4,40

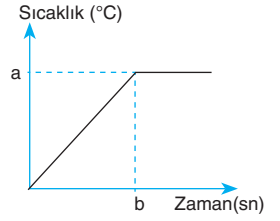
3. Isıca yalıtılmış bir kaptaki 0°C 'de 20 gram buz bulunan kaba $t^\circ\text{C}$ 'de 10 gram su ilave edilmiştir.

Isıl denge kurulduktan sonra kaptaki 20 gram su olduğuna göre t değeri nedir?

($c_{\text{su}} = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, $L_e = 80 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$)

- A) 20 B) 40 C) 60 D) 80 E) 100

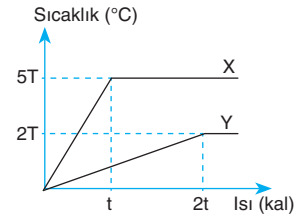
4. 10 gram saf X katısının sıcaklık – zaman grafiği yanda verilmiştir.



Isıtıcı şiddeti değiştirilmeden madde miktarı iki katına çıkarılırsa a ve b değerleri nasıl değişir?

	a	b
A)	Artar	Azalır
B)	Artar	Değişmez
C)	Değişmez	Azalır
D)	Azalır	Azalır
E)	Değişmez	Artar

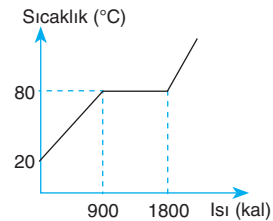
5.



Özdeş ısıtıcılarda ısıtılan X ve Y sıvılarına ait sıcaklık – zaman grafiği yukarıda verilmiştir. X sıvısının kütlesi Y sıvısının 2 katı olduğuna göre, **X sıvısının öz ısısının Y sıvısının öz ısısına oranı hangisidir?**

- A) $\frac{1}{10}$ B) 10 C) $\frac{2}{5}$ D) $\frac{1}{5}$ E) 5

6.

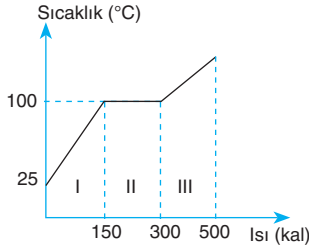


20°C 'deki bir X katısının ısı sıcaklık grafiği verilmiştir.

Buna göre, X maddesinin erime ısısı kaç kal/g'dir? ($c_k = 1,5 \text{ kal/g} \cdot ^\circ\text{C}$)

- A) 30 B) 60 C) 90 D) 120 E) 150

7.



25°C'deki m gram suyun ısı – sıcaklık grafiği yukarıda verilmiştir.

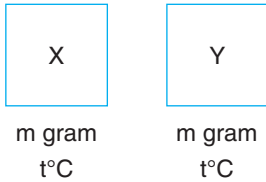
Buna göre;

- I. Kaynama sırasında suya 350 kalori ısı verilmiştir.
- II. 3. bölgede maddenin potansiyel enerjisi I. bölgeden yüksektir.
- III. 2. bölgede suyun kinetik enerjisi değişmez.

Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

8.



Öz ısısı $c_x > c_y$ olan saf katılarının yukarıdaki örnekleri özdeş ısıtıcılarla ısıtılıyor.

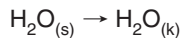
Hal değişimi olmadığına göre;

- I. Aynı sıcaklığa ulaştıklarında aldıkları ısı miktarı $Q_x > Q_y$ dir.
- II. Aynı süre sonunda aldıkları ısı miktarı $Q_x = Q_y$ dir.
- III. Aynı süre sonunda sıcaklıkları $t_x > t_y$ dir.

İfadelerinden hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

9. 0°C'de 9 gram buzun 0°C'de su haline gelmesi için 720 kal ısı gerektiğine göre,



tepkimesinin molar entalpi değişimi kaç kkal'dir?

- A) 4 B) 1,44 C) 0,96 D) -1,44 E) -0,96

10. Bir sistemin serbestlik derecesi 3 olduğuna göre bu sistem,

- I. Buharıyla dengede olan su
- II. Su içerisinde yüzen buz
- III. Donmuş haldeki etanol – su karışımı

yukarıda verilenlerden hangisi olamaz?

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

11. 0°C'deki 20 gram buz ile 25°C'de 40 gram su karıştırılıyor.

Isıl dengesi kurulduğunda;

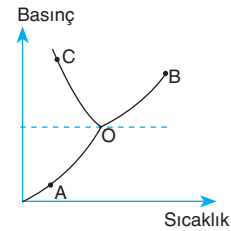
- I. Buzun tamamı erir.
- II. Toplam su kütlesi artar.
- III. Son sıcaklık 0°C olur.

İfadelerinden hangileri doğru olur?

($l_{\text{buz}} = 80 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$, $c_{\text{su}} = \text{kal/g}^\circ\text{C}$)

- A) Yalnız II B) Yalnız III C) I ve II
D) I ve III E) II ve III

12.



Saf bir X maddesine ait üçlü faz diyagramı verilmiştir.

Buna göre aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) O noktasında katı – sıvı – gaz hali dengededir.
- B) B noktası kritik noktadır.
- C) C noktasında katı ve sıvı dengededir.
- D) A noktasında gaz ve sıvı dengededir.
- E) Katı üzerine basınç uygulanırsa erime noktası düşer.

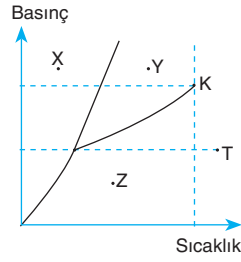
13. Saf haldeki bir maddeye ait sıcaklık – basınç grafiği verilmiştir.

Buna göre,

- I. X noktasında madde katıdır.
- II. Y noktasında sabit basınçta sıcaklık düşürülürse madde donar.
- III. Z noktasında madde buhar halde bulunur.
- IV. T noktasında üzerinde basınç uygulanırsa sıvı hale geçer.

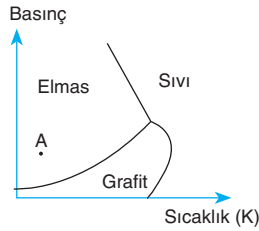
yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız IV C) II ve III
D) I, II ve III E) III ve IV



14. Karbon için yanda verilen faz diyagramına göre A noktasında bulunan karbon sabit basınçta ısıtılırsa sırasıyla hangi hallerde bulunur?

- A) Elmas – grafit – sıvı
B) Elmas – sıvı – grafit
C) Grafit – elmas – sıvı
D) Grafit – sıvı – elmas
E) Sıvı – grafit – elmas



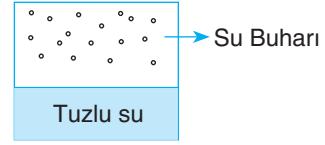
15. Saf bir maddeye ait bir faz diyagramı ile ilgili,

- I. Her fazın kararlı olduğu sıcaklık ve basınç bölgelerini gösterir.
- II. Faz sınırları, iki fazın aynı anda birbiri ile dengede olduğu koşulları gösterir.
- III. Her diyagramda yalnızca bir üçlü nokta olur.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

- 16.



Yukarıdaki verilen sistem için serbestlik derecesi kaçtır?

- A) 0 B) 1 C) 2 D) 3 E) 4

17. Saf bir maddeye ait faz diyagramında üçlü noktada bulunan bir sistem için,

- I. Her üç fiziksel hal bir arada dengededir.
- II. Serbestlik derecesi 0'dır.
- III. Sıcaklık, basınç gibi herhangi bir değişken değiştirilirse faz dengesi bozulur.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) I, II ve III B) I ve II C) II ve III
D) Yalnız III E) Yalnız II

Konu Kavrama Çözümleri

1. Katının erimesi için $80 - 30 = 50$ kal ısı harcanmıştır.

Sıvının 25°C 'den 85°C 'ye çıkması için ise

$100 - 80 = 20$ kal ısı harcanmıştır. Sıvı için,

$$Q = m \cdot c_{\text{sıvı}} \cdot \Delta T$$

$$20 = m \cdot 2,5 \cdot (85 - 25)$$

$$m = \frac{2}{15} \text{ g'dır.}$$

Buharlaştırma ısısı

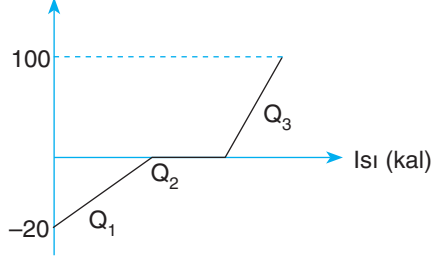
$$Q = m \cdot \ell_{\text{buh.}}$$

$$300 = \frac{2}{15} \cdot \ell_{\text{b}}$$

$$\ell_{\text{b}} = 2250 \text{ kal/g}$$

Cevap A'dir.

2. Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)



$$Q_1 = m \cdot c_k \cdot \Delta T$$

$$Q_1 = 5 \cdot 0,5 \cdot 20$$

$$Q_1 = 50 \text{ kal}$$

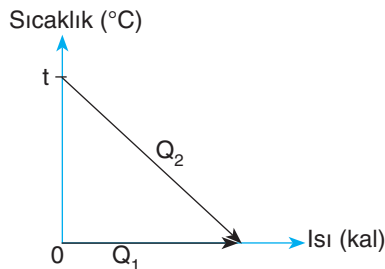
$$Q_2 = m \cdot \ell_e \quad Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_2 = 5 \cdot 80 = 400 \text{ kal} \quad Q_3 = 5 \cdot 1 \cdot 100$$

$$Q_2 = 50 + 400 + 500 = 950 \text{ kal} = 0,95 \text{ kkal}$$

Cevap B'dir.

- 3.



Son durumda 20g suyun yanında 10 g'da buz kaldığı için son sıcaklık 0°C 'dir.

Denge kurulduğunda kaptaki 20 g su bulunduğu göre buzun 10 g'ı erimiştir. $t^\circ\text{C}$ 'deki 10 g su ise 0°C 'de 10 g su haline dönüşmüştür.

Q_1 hesaplanırken eriyen 10 gram buzun kütlesi kullanılır.

$$Q_1 = m \cdot \ell_e = 10 \cdot 80 = 800 \text{ kal}$$

$$Q_1 = -Q_2 \text{ ise } Q_2 = m_{\text{su}} \cdot c_{\text{su}} \cdot \Delta T$$

$$-800 = 10 \cdot 1 \cdot (0 - t)$$

$$\Delta T = 80^\circ\text{C}$$

Cevap D'dir.

4. X katı olduğu için a, erime noktasıdır. Erime noktası madde miktarına bağlı olmayan bir şiddet özelliğidir. O yüzden a değişmez. Kütle arttığında ısınması ve erimesi daha fazla zaman alır ve b artar.

Cevap E'dir.

$$5. \quad Q_x = m_x \cdot c_x \cdot \Delta T$$

$$Q_y = m_y \cdot c_y \cdot \Delta T$$

$$t = 2m \cdot c_x \cdot 5T$$

$$2t = m \cdot c_y \cdot 2T$$

$$C_x = \frac{t}{10m \cdot T}$$

$$C_y = \frac{t}{m \cdot T}$$

$$\frac{C_x}{C_y} = \frac{\frac{t}{10m \cdot T}}{\frac{t}{m \cdot T}} = \frac{1}{10}$$

Cevap A'dir.

$$6. \quad Q = m \cdot c_k \cdot \Delta T$$

$$Q = m \cdot \ell_e$$

$$(900 - 0) = m \cdot 1,5 \cdot 60$$

$$(1800 - 900) = 10 \cdot \ell_e$$

$$m = 10 \text{ g}$$

$$\ell_e = 90 \text{ kal/g}$$

Cevap C'dir.

7. Kaynama sırasında $300 - 150 = 150$ kal ısı verilmiştir. Kaynama gerçekleşirken maddenin potansiyel enerjisi arttığı için III. bölgede PE, I. bölgeden fazladır. II. bölgede sıcaklık sabit kaldığı için KE değişmez.

Cevap D'dir.

8. $\uparrow Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ $c_x > c_y$ kütleleri eşit ΔT aynı ise Q ile c doğru orantılıdır. $Q_x > Q_y$ 'dir.

Özdeş ısıtıcılarla ısıtıldıklarında eşit sürede eşit ısı alırlar Aynı süre sonunda ısıları eşitse,

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \downarrow$$

c ile ΔT ters orantılıdır.

$$c_x > c_y$$

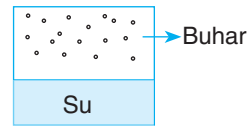
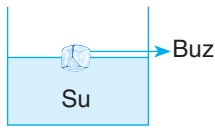
$$\Delta T_x < \Delta T_y$$

Cevap C'dir.

9. 9 gram buzun erimesi için 720 kal ısı gerekiyor. 18 g (1 mol) için 1440 kal ısı gerekir. Verilen tepkime suyun donmasına ait olduğu için $\Delta H < 0$ olmalı

$$\Delta H_{\text{donma}} = -1440 \text{ kal} = -1,44 \text{ kkal}$$

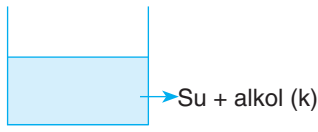
Cevap D'dir.

10. I.  II. 

$$S = B - F + 2$$

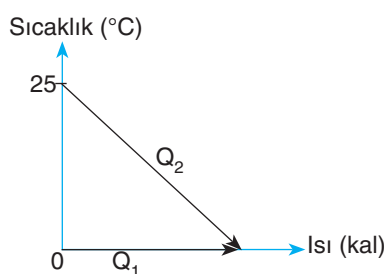
$$S = 1 - 2 + 2 = 1$$

$$S = 1 - 2 + 2 = 1$$

- III. 

$$S = 2 - 1 + 2 = 3$$

Cevap C'dir.

11. 

Buzun tamamen erimesi için

$$Q_1 = m \cdot l_e$$

$$Q_1 = 20 \cdot 80$$

$$Q_1 = 1600 \text{ kal ısı gerekir.}$$

Su 0°C'ye düşerken $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

$$Q = 40 \cdot 1 \cdot 25$$

$$Q_2 = 1000 \text{ kal ısı verir.}$$

1000 kal ısı buzun tamamını eritmez. Toplam su kütlesi artar ve son sıcaklık 0°C olur.

Cevap E'dir.

12. O noktası maddenin katı – sıvı – gaz halinin bir arada dengede bulunduğu üçlü noktadır. Bu noktası C noktasında bileşen sayısı (B, su) 1, faz sayısı (F, katı – sıvı) 2'dir. $S = B - F + 2 = 1 - 2 + 2 = 1$ 'dir. A noktasında maddenin katı ve gaz hali dengededir. 0 – C eğrisi sola yatık olduğu için basınç arttığında erime noktası düşer.

Cevap D'dir.

13. Madde X'de katı, Y'de sıvı, Z'de ise buhar halinde bulunur. Buhar bir tür gazdır. Üzerine basınç uygulandığında sıvılaşabilen gazlara buhar adı verilir. Kritik nokta üzerindeki bir sıcaklıkta, örneğin T noktasındaki gaz üzerine basınç uygulanırsa buhar olmadığı için sıvılaşmaz. Y noktasındaki sıvı soğutulursa katı bölgesine (X'e doğru) geçer yani donar.

Cevap D'dir.

14. A noktasında bulunan elmas sabit basınç altında ısıtılırsa önce grafikte dönüşür. Sonra sıvılaşır.

Cevap A'dir.

15. Kükürt gibi birden fazla sayıda allotropu bulunan maddelerin faz diyagramlarında birden fazla üçlü nokta bulunabilir.

Cevap D'dir.

16. Bileşen : Su ve tuz B : 2

$$\text{Faz : Sıvı – buhar F : 2}$$

$$S = B - F + 2 = 2 - 2 + 2 = 2$$

Cevap C'dir.

17. Üçlü noktada $K \rightleftharpoons \text{Sıvı} \rightleftharpoons \text{Gaz}$ dengesi kurulmuştur. Serbestlik derecesi, $S = B - F + 2 = 1 - 3 + 2 = 0$ 'dir. Bunun anlamı sistemin kararlı olması için hiçbir değişken serbest bırakılmaz. Sıcaklık yada basınç gibi tek bir etken bile değişirse denge bozulur.

Cevap A'dir.

FİZİKOKİMYA – 4

TERMOKİMYA

- ✓ **TERMOKİMYA**
- ✓ **TERMODİNAMİK**
 - ↳ Termodinamiğin 1. Yasası
 - ↳ Termodinamiğin 2. Yasası
 - ↳ Entropi
 - ↳ Gibbs Serbest Enerjisi
 - ↳ Termodinamiğin 3. Yasası
 - ↳ Termodinamiğin 0. Yasası
- ✓ **KİMYASAL TEPKİME ENTALPİLERİ**
- ✓ **ENTALPİ TÜRLERİ**
- ✓ **ENTALPİ KURALLARI**
- ✓ **BAĞ ENERJİLERİ**

TERMOKİMYA

1. TERMOKİMYA

Termokimyanın konusu; kimyasal tepkimelere eşlik eden ısı ve iştir. Termokimyasal veriler, belirli koşullarda, belirli bir kimyasal tepkimenin kuramsal olarak oluşup oluşmayacağını önceden tahmin etmemizi sağlar.

Termokimyada bazı terimler

Sistem: Evrenin incelenmek üzere seçilen, çevresinden kesin sınırlar ile ayrılmış bölümdür.

Çevre: Evrenin sistem dışında kalan ve sistemle ilişkide olan kısmıdır.

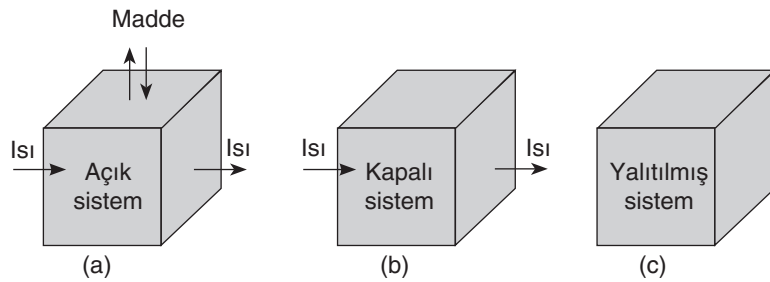
Madde ve Enerji Alışverişine Göre Sistem Türleri

Kimyasal tepkimelere bağlı olan enerji değişimlerini incelemek için, öncelikle sistemi tanımlamak gerekir. Açık, kapalı ve yalıtılmış olmak üzere üç çeşit sistem vardır.

Açık sistem: Sistem çevresiyle serbestçe enerji ve madde alışverişi yapabilmektedir.

Kapalı sistem: Sistemle çevresi arasında enerji alışverişi mümkün fakat madde alışverişi mümkün değildir.

Yalıtılmış sistem: Sistemle çevresi arasında enerji ve madde alışverişi yoktur.



Sabit Tutulan Değişkenlere Göre Sistem Türleri

İzotermik (eşsıcaklıklı) Sistem: Sıcaklığı sabit tutulan sistemdir. İzotermik sistemlerde her türlü enerji alışverişi vardır. Bu enerji alışverişi sayesinde sistemin sıcaklığı sabit tutulabilmektedir.

İzokorik (eşhacimli) Sistem: Sabit hacimli sistemdir. Hacim değişimi olmadığından mekanik iş alışverişi sıfırdır.

İzobarik (eşbasıncılı) sistem: Sabit basınçlı sistemdir. Bu tür sistemlerde iş ve ısı alışverişi vardır.

Adyabatik (ısı alışverişi olmayan) sistem: Çevresi ile ısı alışverişi olmayan sistemdir. Bu tür sistemlerde sıcaklık ve basınç değişimi yanında iş alışverişi de olur.

Politropik sistem: Hiçbir kısıtlamanın bulunmadığı, ısı ve iş alışverişinin yanında sıcaklık ve basınç değişiminin de olduğu sistemlerdir.

Olayın yürüme şekline göre sistem türleri

Tersinir sistem: Olayların her an geri dönebilecek şekilde yürüdüğü sistemlerdir. Denge tepkimeleri tersinirdir.

Tersinmez sistem: Olayların geri dönüşümsüz yürüdüğü sistemlerdir. Tek yönlü tepkimeler, kendiliğinden olan olaylar tersinmezdir.

Enerji: İş yapabilme kapasitesidir. Enerjinin birbirine dönüşebilen iki temel hali kinetik ve potansiyel enerjidir.

Potansiyel enerji: Bir cismin durum enerjisi olup, kütle, elektriksel, veya magnetik alan içindeki duruma göre kazanılan bir enerji türüdür.

Kinetik enerji: Bir cismin hareket halinde bulunması nedeniyle sahip olduğu enerjidir. Sıcaklığa bağlı olarak değişir.

Günümüzde sıklıkla kullanılan enerji birimi joule ve kalordir.

$$1 \text{ kalori} = 4,184 \text{ joule}$$

$$\text{joule} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \quad 1000 \text{ kalori} = 1 \text{ kilokalori}$$

$$1000 \text{ joule} = 1 \text{ kilojoule}$$

Isı: Sıcaklık farkından kaynaklanan enerji akışıdır. Sıcaklık farkının bulunmadığı yerde enerjinin ısı şeklinden söz edilemez.

Sıcaklık: Bir sistemi oluşturan taneciklerin ortalama kinetik enerjisidir. Isı ve sıcaklık kavramları aynı şey değildir. Sıcaklık farkı ısı akışının yürütücü kuvvetidir. Sıcaklık termometre ile ölçülür ve birimi kelvin (K) yada derece santigrat (°C) olabilir. Enerjinin bir şekli olan ısı ise kalorimetre ile ölçülür ve birimi kalori veya joule gibi enerji birimleridir.

Kalori: Bir gram suyun sıcaklığını bir derece santigrat yükseltmek için gerekli ısı miktarıdır.

Entalpi: Sabit basınç altında gerçekleştirilen reaksiyonlarda açığa çıkan veya alınan ısıdır ve H ile gösterilir.

Tepkime ısısı (q_{tep}): Sabit sıcaklıkta yürüyen bir kimyasal tepkimede sistem ile çevresi arasında alınıp verilen ısı miktarıdır.

Ekzotermik tepkime: Gerçekleşirken çevreye ısı veren tepkimelerdir. Ekzotermik tepkimeler, yalıtılmış bir sistemde sıcaklık artışına neden olur ve tepkime ısısı negatif ($q_{\text{tep}} < 0$) bir büyüklüktür.

Endotermik tepkime: Gerçekleşirken çevreden ısı alan tepkimelerdir. Endotermik tepkimeler, yalıtılmış bir sistemde sıcaklık azalışına neden olur ve tepkime ısısı pozitif ($q_{\text{tep}} > 0$) bir büyüklüktür.

Özısı (Özgül Isı) (c): Bir maddenin 1 gramının sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gerekli olan ısıdır.

c_v : Sabit hacimdeki özısıdır.

c_p : Sabit basınçtaki özısıdır.

Isı kapasitesi (C): Bir maddenin belirli bir kütleinin sıcaklığını 1°C yükseltmek için gerekli olan ısıdır.

$$C = m \cdot c \quad q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{ve} \quad q = C \cdot \Delta T$$

İş: Bir kuvvetin etkisi ile sistem veya cisim hareket ettiriliyorsa bir iş yapılmış olur. Kimyasal tepkimelerde incelenen basınç-hacim işidir.

$$W = - P_{\text{dış}} \times \Delta V$$

İç enerji: Bir sistemin olası tüm enerji şekillerini içerir ve E veya U ile gösterilir. Bir sistemin iç enerji miktarı ölçülemez. Ancak fiziksel veya kimyasal bir olay sonucunda iç enerjideki değişim miktarı (ΔU) hesaplanabilir. Bir sistemin iç enerjisi,

$$U = U_o + U_{\text{tit}} + U_{\text{öte}} + U_{\text{dön}} + U_{\text{elek}} + U_{\text{çek}}$$

Buradaki enerjiler sırayla,

U_o : Kütlelen kaynaklanan durgun iç enerji,

U_{tit} : Titreşme hareketlerinden kaynaklanan titreşim enerji,

$U_{\text{öte}}$: Ötelenme hareketlerinden kaynaklanan öteleme enerji,

$U_{\text{dön}}$: Dönme hareketlerinden kaynaklanan dönme enerji,

U_{elek} : Elektronik hareketlerden kaynaklanan elektronik enerji,

$U_{\text{çek}}$: Çekirdekteki radyoaktiflik enerjidir.

Bu enerjilerin tümünü belirlemek mümkün olmadığından iç enerjinin mutlak değerinin bilinmesi de mümkün değildir.

ÖRNEK

Bir sistemin iç enerjisine (U),

- I. moleküllerin öteleme kinetik enerjileri,
- II. moleküllerin dönme enerjileri,
- III. moleküllerin titreşim enerjileri,
- IV. Atomların çekirdek enerjileri

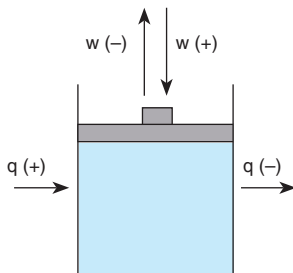
türlerinden hangileri katkı sağlar?

- A) I ve II B) I ve III C) I, II ve III
D) II, III ve IV E) I, II, III ve IV

ÇÖZÜM

Verilen tüm enerji türleri iç enerjiye katkı sağlar.

Cevap E



Bir sistemde gerçekleşen enerji alışverişleri, ısı (q) şeklinde ya iş (w) şeklinde olabilir. Isı ve iş şeklinde meydana gelen enerji alışverişleri, sistemin iç enerjisi (u) denen toplam enerjinin (kimyasal enerji) miktarını değiştirir.

Isı-İş: Sistemin çevreden aldığı ısı (+q), sistemin çevreye verdiği ısı (-q), sistemin dışarı karşı yaptığı iş (-W) ve sistemin dışarıdan aldığı iş (+W) ile ifade edilir. Sistemden dışarı doğru yönelen değişimlerin işareti (-), dışarıdan sisteme doğru yapılan tüm dönüşümlerin işareti ise (+) olmalıdır.

Hal Fonksiyonu:

Bir sistemin iç enerjisi o sistemin yalnızca içinde bulunduğu hale bağlı olup, bu hale hangi yoldan gelindiğine bağlı değildir. Yani hal fonksiyonu sistemin son hali ile ilk hali arasındaki fark ile bulunabilir. Bu dönüşüm sırasında izlenen yolun bir önemi yoktur. Herhangi bir özellik için Δ ifadesi kullanılabilir, bu onun hal fonksiyonu olduğunu gösterir. Bir özelliğin hal fonksiyonu olup olmadığı önüne Δ işareti getirilip getirilmediğine bakılarak kolay bir şekilde anlaşılabilir.

İç Enerji (ΔU), entalpi (ΔH), entropi (ΔS), Gibbs serbest enerjisi (ΔG) birer hal fonksiyonudur. Isı (q) ve iş (w) ise birer hal fonksiyonu değildir. Gidilen yola bağlı olarak değiştiklerinden yol fonksiyonudurlar.

2. TERMODİNAMİK

Termodinamik, bir sistemde meydana gelen kimyasal veya fiziksel dönüşümlerde, enerjinin bir türden başka bir türe dönüşüm miktarlarını düzenleyen kanun ve bağıntılarını inceleyen bilim dalıdır.

2. 1. Termodinamiğin Birinci Yasası

Termodinamiğin 1. kanunu enerjinin korunumudur. Enerji vardan yok, yoktan var edilemez. İş ve ısı birer enerji şeklidir. Enerji bir şekilden diğer bir şekle dönüştürülebilir. Bu yasaya göre evrenin enerjisi sabittir.

Termodinamiğin 1. Yasası iç enerji değişimi (ΔE veya ΔU) ile sistem ve çevresi arasında meydana gelen ısı değişimi (q) ve iş (w) arasındaki ilişkiyi verir:

$$\Delta U = q + w$$

ÖRNEK

Bir gaz genişlerken 100 J'lük ısı almakta ve dışarıya 250 J'lük iş yapmaktadır. Bu gazın iç enerji değişimi ΔU ne kadardır?

ÇÖZÜM

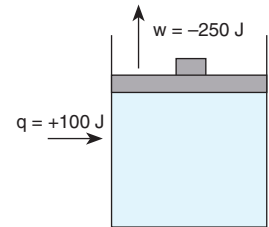
Dikkat edilmesi gereken ısı ve işin işaretleridir. Gaz genişlediği için hacmi artmış ve iş yapmıştır. Dışarıya (çevreye) yapılan işin işareti (-) dir. Dışarıdan ısı aldığı için ısının işareti (+) dir.

$$\Delta U = q + w$$

$$\Delta U = +100 \text{ J} + (-250 \text{ J})$$

$$\Delta U = -150 \text{ J}$$

İç enerji değişiminin işaretinin negatif olması, net olarak sistemin iç enerjisinin azaldığını ifade etmektedir.



ÖRNEK

Bir süreçte, sisteme 800 J luk iş yapılmış ve sistem çevreye 350 J luk ısı vermiştir. Bu süreç sonunda sistemin iç enerjisinde ne kadar değişiklik olmuştur?

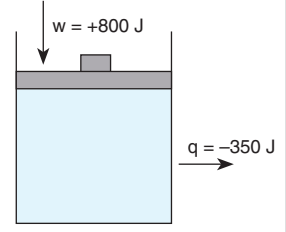
ÇÖZÜM

$$\Delta U = q + w$$

$$\Delta U = -350 \text{ J} + (+800 \text{ J})$$

$$\Delta U = +450 \text{ J}$$

İç enerji değişiminin işaretinin pozitif olması, net olarak sistemin iç enerjisinin arttığını ifade etmektedir.

**a. İzotermik Olaylarda İç Enerji Değişimleri**

İdeal davrandığı düşünülen gazların iç enerjileri yalnızca sıcaklıkla değişir. Sabit sıcaklıktaki basınç veya hacim değişimi iç enerjiyi değiştirmez. Bu durumda izotermik (sabit sıcaklıktaki) olaylarda iç enerji değişimi sıfıra eşittir.

**NOT**

Sabit sıcaklıkta iç enerji değişimi (ΔU) sıfırdır.

$$\Delta U = q + w = 0 \text{ ise } q = -w \text{ olur.}$$

ÖRNEK

Sabit sıcaklıkta pistonlu bir kaptaki gerçekleşen tepkime sonucunda kabın hacmi bir miktar artmıştır. Buna göre,

- I. Sistem çevreye karşı iş yapmıştır.
 - II. Sistem dışarıdan ısı almıştır.
 - III. Sistemin iç enerjisi artmıştır.
- yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) I, II ve III

ÇÖZÜM

Sabit sıcaklıkta gerçekleşen tepkimelerde sistemin iç enerjisi değişmez, $\Delta U = 0$ 'dır. İş ve ısı alışverişi birbirine eşittir. Hacim arttığı için sistem çevreye iş yapmıştır. Yapılan iş için gerekli enerji dışarıdan alınan ısıdan sağlanmıştır.

$$\Delta U = q + w \text{ 'dir. } \Delta U = 0 \text{ olduğundan } q = -w \text{ olur.}$$

Cevap C**b. İzokorik olaylarda iç enerji değişimi**

Sabit hacimli bir sistemin yaptığı ısı alışverişi (q_v), iç enerjisindeki değişime eşittir. Sistemde hacim değişikliği olmadığı için iş sıfırdır ($w = 0$). İç enerji değişimi;

$$w = 0 \text{ ise } \Delta U = q_v = n C_v \Delta T \text{ den bulunabilir.}$$

ÖRNEK

Sabit hacim altındaki ısınma ısı (C_v) 20 J/mol . K olan 10 mol gazın sıcaklığını 298 K'den 358 K'e çıkarmak için verilmesi gereken ısıyı ve iç enerji değişimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Sabit hacimli sistemlerde $w = 0$ 'dir. $\Delta U = q_v + w$

$$\Delta U = q \text{ olur.}$$

$$\Delta U = n C_v \Delta T = 10 \cdot 20 \cdot (358 - 298)$$

$$\Delta U = 12000 \text{ J} = 12 \text{ kJ}$$

Sistem 12 kJ ısı almış ve hacim değişikliği olmadığı için iş olarak bunu harcamadan tamamen iç enerji olarak sisteme aktarılmıştır.

c. Adyabatik Olaylarda İç enerji değişimi

Adyabatik olaylarda çevre ile ısı alışverişi olmadığından $q=0$ 'dır.

$$q = 0 \text{ ise } \Delta U = q + w$$

$$\Delta U = w = -P\Delta V \text{ veya } \Delta U = n C_v \Delta T$$

ÖRNEK

1 mol ideal gazın sıcaklığı 27°C 'den 77°C 'ye adyabatik tersinmez olarak artırılıyor. Sisteme yapılan iş kaç kJ'dir? ($C_v = 25 \text{ J/K.mol}$)

A) +1,25 B) +25 C) +125 D) -1250 E) +1250

ÇÖZÜM

Adyabatik tersinmez olaylarda $q = 0$ 'dır. Bu durumda yapılan iş, iç enerji değişimine eşit olur. İç enerji ise, $\Delta U = n C_v \Delta T$ formülünden bulunabilir.

$\Delta U = n C_v \Delta T = 1 \cdot 25 \cdot (77 - 27) = +1250 \text{ J} = + 1,25 \text{ kJ}$ olur. (+) işareti sisteme iş yapıldığını gösterir.

Sistem ve Çevre Arasındaki İş Alışverişi Hesaplamaları

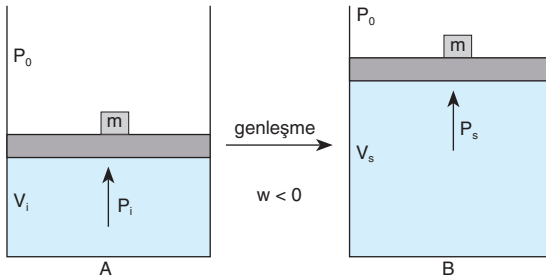
a. İzotermik veya Adyabatik Tersinmez Olaylarda İş Alışverişi

Sistem ve çevre arasındaki iş alışverişi hacim değişiminden kaynaklanır. Tersinmez bir olayda sabit bir dış basınca karşı genişleyen bir gazın çevreye yaptığı basınç-hacim işi;

$$w = -P \cdot \Delta V = -P \cdot (V_s - V_i)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada P, sabit dış basınç ve ΔV , gazın hacmindeki değişimdir. Bu bağıntıda P her zaman pozitif bir değer olduğundan;

Gazın genişmesi sonucu ortaya çıkan işin değeri negatif olur. Gaz genişlediğinde hacmi artar ($V_s > V_i$), bu da sistemin çevreye iş yaptığını gösterir.



NOT
Sabit hacimli sistemlerde iş yapılmaz.

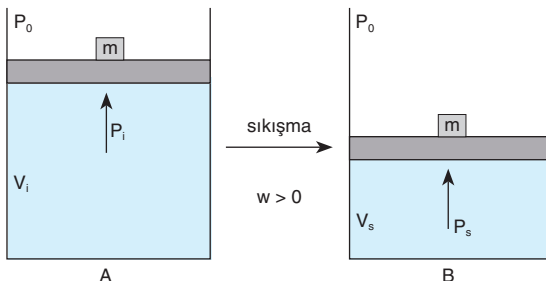


NOT
Vakuma karşı hacim değişikliği olsa bile iş yapılmaz.



NOT
Adyabatik olaylarda ısı alışverişi olmadığı için $q = 0$ dir.

Gazın sıkışmasında ise gazın hacmi azalacağından ($V_s < V_i$) çevreden sisteme iş yapılır ve işin değeri pozitif bir değerdir.



ÖRNEK

Bir azot gazı örneği 25 °C de 1,60 atm lik bir dış basınç tarafından 9,2 L den 6,4 L ye sıkıştırılmaktadır. Bu süreç sonucu gaza yapılan iş miktarını joule cinsinden hesaplayınız. (1 L.atm = 101,325 Joule)

ÇÖZÜM

$$w = -P \times \Delta V = -1,60 \times (6,4 - 9,2) = +4,48 \text{ L.atm}$$

$$w = +4,48 \text{ L.atm} \times 101,325 \text{ Joule/1 L.atm} = +453936 \text{ Joule}$$

Önemli ! Eğer gazın hacminde bir değişiklik olmazsa ($\Delta V = 0$), bu durumda sisteme çevreden yapılmış veya sistemin çevreye yaptığı bir iş yoktur. Bu durumda iç enerji değişimi yalnız sabit hacimde alınan veya verilen ısıya eşittir.

$$\begin{aligned} V \text{ Sbt ise } \Delta V &= 0 \\ w &= 0 \end{aligned}$$

$$\Delta U = q_v + w$$

$$\Delta U = q_v - P\Delta V \quad \Delta V = 0 \text{ ise } P\Delta V = 0 \text{ olur.}$$

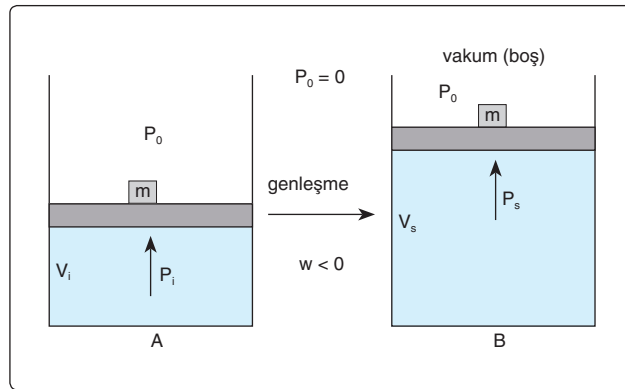
$$\Delta U = q_v$$

Önemli ! Vakuma karşı hacim değişikliği olsa da iş yapılmış olmaz, sıfıra eşittir.

$$\Delta U = q + w$$

$$\Delta U = q - P\Delta V \quad \text{Vakumda } P = 0 \text{ ise } P\Delta V = 0 \text{ olur.}$$

$$\Delta U = q$$

**ÖRNEK**

Bir gaz sabit sıcaklıkta 30 litreden 80 litreye,

a) vakuma karşı genişliyor.

b) 3 atm sabit basınca karşı genişliyor.

Her iki durumdaki gaz tarafından yapılan iş kaç kJ'dür?

(1 L.atm = 100 Joule)

ÇÖZÜM

a) Vakuma karşı genişlemede $P = 0$ olduğu için

$W = P\Delta V = 0$ olur. Sistem iş yapmış olmaz.

b) $P = 3 \text{ atm}$ ise

$$w = -P\Delta V = -3 \text{ atm.} (80\text{L} - 30\text{L})$$

$$w = -150 \text{ L.atm}$$

$$w = -150 \text{ L.atm} \times 100 \text{ Joule} / 1 \text{ L.atm} = -15000\text{J}$$

$$= -15 \text{ kJ}$$

ÖRNEK

Vakuma karşı izotermal genişen ideal bir gaz için;

I. ΔU

II. q

III. w

yukarıdaki niceliklerden hangilerinin değeri sıfır (0) olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) I, II ve III

ÇÖZÜM

İzotermal sistemlerde sıcaklık sabittir. Sabit sıcaklıkta iç enerji değişimi sıfırdır.

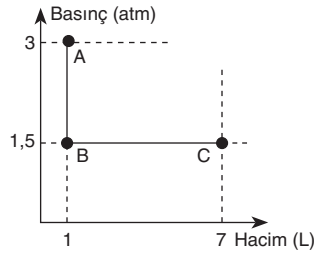
$\Delta U = q + w$ 'dir. $\Delta U = 0$ ise $q = -w$ olur.

Ancak gaz vakuma karşı genişlediği için iş yapmış olmaz ve $w = 0$ olur. $q = -w$ olduğu için q 'da sıfır olur. Yani verilen her üç fonksiyonda sıfırdır.

Cevap E

ÖRNEK

A noktasında bulunan gaz önce B, sonra C noktasına tersinmez olarak geliyor. Buna göre; bu işlem sırasında her bir basamakta yapılan işi hesaplayınız.

**ÇÖZÜM**

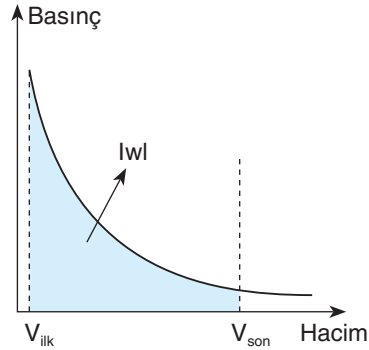
A'dan B'ye sabit hacimde basınç azalmıştır. Bu nedenle A noktasından B noktasına olan değişimde iş yapılmaz. B'den C'ye olan dönüşümde sabit basınçta hacim 1 L'den 7 L'ye artmıştır. Bu durumda

$w = -P \cdot \Delta V = -1,5L \cdot (7L - 1L) = -9 \text{ L} \cdot \text{atm}$ 'dir. Sistem çevreye 9 L.atm iş yapmıştır.

b. İzotermal veya Adyabatik Tersinir Olaylarda İş Alışverişi

Tersinir olaylarda tepkime ileri ve geri yönde sürekli gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle tersinmez olaylarda kullanılan formüllerin integralleri alınır ve sonuç olarak iş aşağıdaki formüller yardımı ile belirlenir. Tersinir olay adyabatik sistemde ise yine ısı alışverişi olmaz; izotermik sistemde ise yine sıcaklık sabittir ve iç enerji değişimi olmaz.

$$w = -nRT \ln V_2/V_1 \text{ veya } w = -nRT \ln P_1/P_2$$



İzotermal tersinir bir işlemde yapılan iş, hacim – basınç grafiğindeki eğrinin altında kalan alana eşittir. Sisteme dışardan yapılan iş ise bu alanın negatif değerine eşittir.

ÖRNEK

İdeal davrandığı varsayılan 2 mol gaz 25 °C'da 10 L'den 20 L'ye izotermal tersinir olarak genişlediğinde;

- a) çevreye yapılan işi,
b) iç enerji değişimini
c) ısı alışverişini hesaplayınız.

$$(R = 8,314 \text{ J/mol.K} ; \ln 2 = 0,693)$$

ÇÖZÜM

$$\text{a) } w = -nRT \ln V_2/V_1$$

$$w = -2 \cdot 8,314 \cdot 298 \cdot \ln (20/10) = -3434 \text{ J} = -3,434 \text{ kJ}$$

- b) İzotermal olayda sıcaklık sabittir ve iç enerji değişimi olmaz ($\Delta U = 0$ 'dır.)

$$\text{c) } \Delta U = q + w$$

$$0 = q + (-3,434 \text{ kJ}) = + 3,434 \text{ kJ olur.}$$

ÖRNEK

Sıcaklığı 27°C olan 1 dm³ azot gazı 2 atm basınç yapmaktadır. Bu gaz izotermik ve tersinir olarak sıkıştırıldığında sisteme yapılan iş 1256 J olduğuna göre son basınç kaç atm'dir?

$$(R = 8,314 \text{ J/mol.K}, R = 0,082 \text{ L.atm/mol.K})$$

$$PV = nRT$$

$$2 \cdot 1 = n \cdot 0,082 \cdot 300$$

$$n = 0,08 \text{ mol}$$

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L}$$

$$w = -nRT \ln P_1/P_2$$

$$1256 = -0,08 \cdot 8,314 \cdot 300 \cdot \ln \frac{2}{P_2}$$

$$-6,29 = \ln 2 - \ln P_2$$

$$P_2 = 1078 \text{ atm}$$

ÇÖZÜM

İzotermik sistemde sıcaklık sabittir. Tersinir sistemde basınç değişimleri ile ilgili işlem yapılacağı için;

$w = -nRT \ln P_1/P_2$ formülü kullanılır. Burada mol sayısı verilmemiştir. İlk olarak ideal gaz denklemini yardımı ile verilenlerden mol sayısı hesaplanır.

**NOT**

Sabit basınçta sisteme verilen ısı, sistemin entalpi değişimine eşittir.

ENTALPİ DEĞİŞİMİ (ΔH)

Sabit basınç altında gerçekleştirilen reaksiyonlarda açığa çıkan veya alınan ısı entalpidir. Bunun yanında sabit basınçlı sistemlerde hacim değişimi olur ve buda iş değişimi demektir.

$$\Delta U = \Delta H + w$$

$$\Delta U = \Delta H - P\Delta V$$

UYARI: Bu formül $\Delta H = \Delta U + P\Delta V$ şeklinde de düzenlenip kullanılabilir. Ancak sistematik olarak kullanılan ilk formülün ($\Delta U = \Delta H - P\Delta V$) bu şekilde değiştirilmesi bir karışıklığa yol açabilmektedir.

ÖRNEK

12,0 L hacim kaplayan bir gaz ısıtılarak 28,0 L'ye tek adımda genişletiliyor. 1 atm sabit dış basınca karşı gerçekleştirilen bu genişlemede sisteme 6,25 kJ ısı verildiği belirleniyor. Gazın (sistemin) iç enerji değişimi kaç joule dür? (1 L.atm = 100 Joule)

ÇÖZÜM

Tek adımda genişleme olayın tersinmez olduğunu gösterir.

$$\Delta U = \Delta H - P\Delta V$$

$$\Delta U = 6250 \text{ J} - (1 \text{ atm} \cdot (28 \text{ L} - 12 \text{ L}) \cdot (100 \text{ Joule} / 1 \text{ L} \cdot \text{atm}))$$

$$\Delta U = 4650 \text{ J}$$

ÖRNEK

Piston içine hapsedilmiş 6,0 litre hacme sahip bir azot gazı örneği sabit 1,00 atmosfer dış basınca karşı ısı verilerek 7,5 litreye genişletiliyor. Bu süreç sonunda gazın iç enerjisinde 1240 J luk bir artış oluyor. Buna göre gazın entalpisindeki değişimi (ΔH) hesaplayınız.

(100 Joule/1 L.atm)

ÇÖZÜM

$$\Delta U = \Delta H - P\Delta V$$

$$+1240 \text{ J} = \Delta H - (1 \text{ atm} \cdot (7,5 \text{ L} - 6 \text{ L})) \cdot (100 \text{ J} / 1 \text{ L} \cdot \text{atm})$$

$$\Delta H = +1390 \text{ J} = +1,39 \text{ kJ}$$

Önemli ! Bir kimyasal tepkimenin Entalpi değişimi,

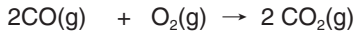
$$\Delta U = \Delta H - \Delta nRT$$

formülü de kullanılabilir. Çünkü,

P. $\Delta V = \Delta nRT$ dir.

Δn : gaz fazındaki ürünlerin mol sayısı - gaz fazındaki reaksiyona girenlerin mol sayısı)

(R : İdeal gaz sabitidir. Birimi ΔH ve ΔU ile aynı olacak şekilde seçilir.)

ÖRNEK

tepkimesinin 300 K ve 1 atm'de ölçülen tepkime entalpisi $\Delta H = -3,90 \text{ kJ}$ olduğuna göre, tepkime sistemindeki iç enerji değişimi kaç kJ'dir? (R = 8,3 J/mol.K)

ÇÖZÜM

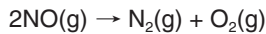
Kimyasal tepkime denklemi verilerek soru soruluyorsa genellikle $\Delta U = \Delta H - \Delta nRT$ formülü kullanılır.

$$\Delta n = (2 - (2 + 1)) = -1$$

$$\Delta U = \Delta H - \Delta nRT$$

$$\Delta U = -3900 \text{ J} - (-1 \cdot 8,3 \cdot 300)$$

$$\Delta U = -3900 \text{ J} + 2490 \text{ J} = -1410 \text{ J} = -1,41 \text{ kJ}$$

ÖRNEK

tepkimesinin 298 K ve 1 atm'de ölçülen tepkime entalpisi $\Delta H = -180 \text{ kJ}$ olduğuna göre, tepkime sistemindeki iç enerji değişimi kaç kJ'dir?

A) -45 B) -90 C) -180 D) -225 E) -360

ÇÖZÜM

Tepkime için $\Delta n = 2 - 2 = 0$ dir.

$$\Delta U = \Delta H - \Delta nRT = -180 - (0 \cdot R \cdot T) = -180 \text{ kJ}$$

Cevap C

2. 2. Termodinamiğin İkinci Yasası

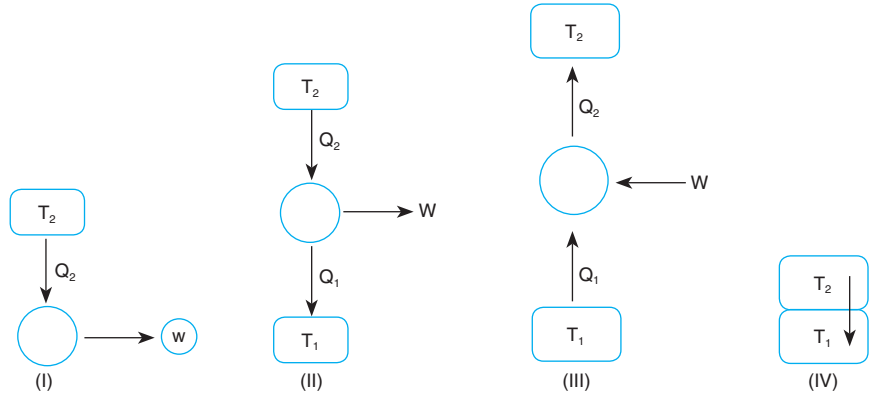
Termodinamiğin 2. Yasası hal değişimlerinin hangi yönde gerçekleşebileceğini belirler. Bu yasa aşağıdaki iki kural ile ifade edilir.

a. Yüksek sıcaklıktaki bir sistemden düşük sıcaklıktaki bir sisteme ısı akışı kendiliğinden gerçekleşir.

Sıcak bir ısı deposundan soğuk bir ısı deposuna ısı geçişi kendiliğinden gerçekleşirken, bu ısı akışı işe dönüştürülebilir. Ancak ısı akışının ters yönde gerçekleşmesi için yani soğuk ısı deposundan sıcak ısı deposuna ısı akışının olabilmesi için dışarıdan iş yapılması gerekir.

Carnot makinası, içinde gaz veya buhar bulunan pistonlu bir silindirden oluşur. Silindir içindeki akışkanın ardarda genişleme ve sıkışmasından kaynaklanan pistonun hareketi sırasında, ortam varsayılan ısı depoları ile sistem varsayılan makina arasında iş alış-verişi olur.

İsının işe dönüştürülmesi ve ısı akışını temsil eden şemalar aşağıda verilmiştir.



(I) olanaksız iş makinası, (II) ısı veya iş makinası, (III) ısı pompası veya soğutucu, (IV) tersinmez ısı akışı.

- Şema I'de görülen bir iş makinası mümkün değildir. Isı akışının sağlanabilmesi için sıcaklıkları farklı olan en az iki ısı deposuna ihtiyaç vardır.
- Şema II'de görüleceği gibi yüksek sıcaklıktaki ısı deposundan Carnot makinasına gelen Q_2 ısısının bir kısmı w işine dönüştürüldükten sonra geriye kalan Q_1 ısı düşük sıcaklıktaki ısı deposuna aktarılır.
- İçinde yürüyen olaylar tersinir olduğundan Carnot makinası Şema III'de görüldüğü gibi ters yönde de çalıştırılabilir. Dışarıdan makinaya verilen w işi yardımıyla düşük sıcaklıktaki ısı deposundan Q_1 ısı zorla alınır ve yüksek sıcaklıktaki ısı deposuna Q_2 ısı olarak aktarılır. Q_2 ısı, Q_1 ısı ile ısıya dönüşen w işinin toplamına eşittir. Buna göre, soğuk ısı deposundan sıcak ısı deposuna kendiliğinden asla akmayan ısı ancak iş yapılarak taşınabilmektedir.

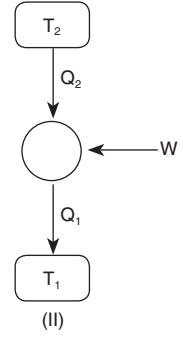
Şema II'de görülen Carnot makinası,

a. Düşük sıcaklıktaki deponun ısıtılması amacı ile kullanılıyorsa **ısı makinası**,

b. İş üretmek amacı ile kullanılıyorsa **iş makinası** adını alır.

Şema III'deki Carnot makinası,

- a. Düşük sıcaklıktaki depodan yüksek sıcaklıktaki depoya ısı taşımak amacı ile kullanılıyorsa **ısı pompası**,
- b. Düşük sıcaklıktaki depoyu daha da soğutmak amacı ile kullanılıyorsa **soğutucu** adını alır. Buzdolabı bu kurala göre çalışır.
- Sıcak ısı deposu ile soğuk ısı deposu arasından makineyi çıkararak Şema IV'deki gibi iki ısı deposunu birbirine değen konuma getirilebilir. Bu konumda ısı sıcak depodan soğuk depoya kendiliğinden akar. Carnot makinası üzerinden ısı akışı tersinir olduğu halde, birbirine değen iki ısı deposu arasındaki ısı akışı tersinmezdir. Her iki durumda da ısı akışı, depoların sıcaklıkları birbirine eşit olana dek sürer.



Carnot makinasının verimi

Makineden alınan işin mutlak değerinin makinaya gelen ısının mutlak değerine oranı Carnot makinasının verimi denir. Verim her zaman 1 den küçüktür. Bu durum alınan ısının tamamen işe dönüşmeyeceğini gösterir.

Isıtıcı olarak çalışırsa verim= $|Q_2| / |W|$

Soğutucu olarak çalışırsa verim= $|Q_1| / |W|$

İş makinası olarak çalışırsa verim = $(T_2 - T_1) / T_2$

Isı pompası soğutucu olarak çalışırsa verim = $T_2 / (T_2 - T_1)$ formülleri ile bulunur.

b. Termodinamiğin ikinci yasasına göre; kendiliğinden oluşan, istemli, her değişime entropi artışı da eşlik eder. İstemli tepkimelerde evrenin entropisi de artar.

2. 2. 1. Entropi (S):

Bir sistemin düzensizliğinin ölçüsüdür. Düzensizliği fazla olan sistemlerin entropisi de yüksektir. Bir sistemin aynı sıcaklıkta, bir konumdan başka bir konuma **tersinir** olarak geçişinde absorpladığı ısı miktarının sıcaklığına oranına sistemin entropisi denir. Sabit sıcaklıkta, tersinir bir değişimde entropi değişimi;

$$\Delta S = Q_{\text{ter}} / T$$

olarak ifade edilir. Entropi termodinamik bir fonksiyon olup, dönüşüm sırasında izlenen yollara bağlı değildir. İlk ve son duruma bağlıdır yani bir hal fonksiyonudur.

Fiziksel Hal Dönüşümlerinde Entropi Değişimi

Erime, kaynama ve allatropoların birbirlerine dönüşümü gibi fiziksel hal dönüşümleri tersinir olaylardır. Bu dönüşümler sırasında sıcaklık sabit kalır. Sabit basınç altında gerçekleşen hal değişimlerinde meydana gelen ısı değişimi Q_{ter} yerine entalpi değişimi ΔH kullanılabilir.

Bir maddenin sıvı fazdan gaz faza dönüşümü sırasında entropisindeki değişime buharlaşma entropisi (ΔS_{buh}) denir. Yukarıdaki eşitlik tersinir bir olay olan buharlaşma için;

$$\Delta S_{\text{buh}} = \Delta H_{\text{buh}} / T$$

şeklinde dönüşür.

ÖRNEK

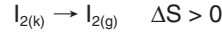
Suyun 373 K'de standart molar buharlaşma entalpisi 40,7 kJ/mol'dür. Bu sıcaklıkta suyun molar buharlaşma entropisi nedir?

ÇÖZÜM

$$\Delta S^{\circ}_{\text{buh}} = \Delta H^{\circ}_{\text{buh}} / T = 40,7 / 373$$

$$\Delta S^{\circ}_{\text{buh}} = 0,109 \text{ kJ/mol} = 109 \text{ J/mol}$$

Standart Entropi: 25°C sıcaklık ve 1 atm basınçtaki bir maddenin entropisine standart entropi denir. S° ile gösterilir. Birimi J/K'dır.



$$S^{\circ}_{I_{2(k)}} = 116,7 \text{ J/K.mol} \quad S^{\circ}_{I_{2(g)}} = 260,6 \text{ J/K.mol}$$

Yukarıda görüldüğü gibi I_2 'nin gaz halinin entropisi katı halinin entropisinden büyüktür.

$$C(\text{elmas}) \text{ için } S^{\circ} = 2,4 \text{ J/K.mol}$$

$$C(\text{grafit}) \text{ için } S^{\circ} = 5,69 \text{ J/K.mol}$$

Elmas, grafitten daha düzenli bir yapıya sahip olduğundan entropisi daha küçüktür.

- He, Ne, Ar ... gibi özellikleri benzer olan gazların entropisi karşılaştırılırsa; molekül ağırlığı büyük olan gazın entropisi daha büyüktür.

$$S^{\circ}_{He(g)} = 126,1 \text{ J/K.mol} \quad S^{\circ}_{Ne(g)} = 146,2 \text{ J/K.mol}$$

- Bir maddenin katı yada kristal hali en düşük entropili (düzenli) hali, gaz hali ise en yüksek entropili (düzensiz) halidir.
- Bir sistemin sıcaklığının artırılması, moleküllerin hareketlerini artıracığından entropiyi artırır.
- Bir kimyasal tepkimede gaz moleküllerinin sayısı arttıkça entropi artar.
- Birden fazla alt birimlerden oluşan bir sistemin entropisi, alt sistemlerin entropilerinin toplamına eşittir.
- Standart şartlarda elementlerin entropi değeri sıfırdan (0) farklıdır. $S^{\circ} > 0$

ÖRNEK

Aşağıdaki tepkimelerden hangisinde entropi azalmıştır?

- A) $2NH_3(g) \rightarrow N_2(g) + 3H_2(g)$
 B) $I_2(k) \rightarrow I_2(g)$
 C) $C_2H_5OH(g) \rightarrow C_2H_5OH(s)$
 D) $H_2O(k) \rightarrow H_2O(s)$
 E) $CaCl_2(k) \rightarrow Ca^{2+}(\text{suda}) + 2Cl^{-}(\text{suda})$

ÇÖZÜM

A'da gaz katsayıları arttığı için entropi artmıştır.

B'de katıdan gaza doğru maddelerin entropisi artar.

C'de gazdan sıvıya doğru tanecikler daha düzenli bir hal alır ve entropi azalır.

D'de katıdan sıvıya doğru entropi artar.

E'de katının suda çözünmesi ile düzensizlik dolayısıyla entropi artar.

Cevap C

Standart Molar Entropiler

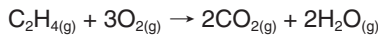
Bir kimyasal tepkimedeki entropi değişimi, maddelerin standart entropi değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Elementlerin standart entropileri sıfır değildir.

$$\Delta S_{\text{tepkime}}^{\circ} = \Delta S_{\text{ürünler}}^{\circ} - \Delta S_{\text{girenler}}^{\circ}$$

formülü ile bulunabilir.

ÖRNEK

25°C de artansız gerçekleşen



tepkimesinin standart entropi değişimi (ΔS°) kaç JK^{-1} dir?

(Maddelerin standart entropi değerleri:

$$S_{\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})}^{\circ} = 219,33 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$S_{\text{O}_2(\text{g})}^{\circ} = 205,14 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$S_{\text{CO}_2(\text{g})}^{\circ} = 213,79 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$S_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})}^{\circ} = 188,83 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

- A) -40,15 B) -29,51 C) +15,61
D) +27,64 E) +47,56

ÇÖZÜM

$$\Delta S_{\text{tepkime}}^{\circ} = \Delta S_{\text{ürünler}}^{\circ} - \Delta S_{\text{girenler}}^{\circ}$$

$$\Delta S_{\text{tepkime}}^{\circ} = [2\Delta S_{\text{CO}_2}^{\circ} + 2\Delta S_{\text{H}_2\text{O}}^{\circ}] - [2\Delta S_{\text{C}_2\text{H}_4}^{\circ} + 3\Delta S_{\text{O}_2}^{\circ}]$$

$$\Delta S_{\text{tepkime}}^{\circ} = [2 \cdot 213,79 + 2 \cdot 188,83] - [2 \cdot 219,33 + 3 \cdot 205,14]$$

$$\Delta S_{\text{tepkime}}^{\circ} = 805,24 - 834,75 = -29,51 \text{ J/mol.K}$$

Cevap: B

Entropideki Değişimler

Entropideki değişimin bilinmesi ile bir tepkimenin yönü tahmin edilebilir. Ancak burada sadece sistemin (ΔS_{sistem}) değil aynı zamanda çevrenin entropisindeki (ΔS_{ortam}) değişimin de hesaba katılması gerekir. Çünkü her ikisi de evrenin entropisine katkı sağlar.

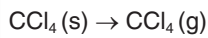


NOT

Ekzotermik bir olayda sistem çevreye ısı verdiği için; sistemin entropisi azalırken çevrenin entropisi artar. Endotermik olaylarda ise ısı alan sistemin entropisi artarken çevrenin entropisi azalır.

ÖRNEK

Oda koşullarında kendiliğinden gerçekleşen;



hal değişim süresince; sistemin entropisi, çevrenin entropisi, sistemin iç enerjisi, ve toplam entropi nicelikleri nasıl değişir?

ÇÖZÜM

Burada sıvı ve buharının oluşturduğu karışım sistemi oluşturmaktadır. Sıvının buharlaşması endotermik bir olaydır. Bu nedenle sistem enerji alırken çevrenin enerjisi azalır. Isı alan sistemin iç enerjisi artar ve entropisi artar. Çevrenin ise entropisi azalır. Buharlaşma kendiliğinden gerçekleştiği için toplam entropi artmıştır.

**NOT**

Bir olayın istemli olup olmadığını belirlemek için, yalnızca sistemin entropisine değil sistem ve çevrenin toplam entropi değişimine bakmak gerekir.

**NOT**

ΔS_{sistem} terimi sistemin entropisini ifade etmek için kullanılabilir. Ancak sistemin entropisi için kısaca ΔS 'de kullanılabilir.

**NOT**

Tersinmez olaylarda $\Delta S_{\text{sistem}} = \Delta H/T$ formülü kullanılamaz!

Entropide ki toplam değişim, sistemin entropisindeki değişim ile çevrenin entropisindeki değişimin toplamına eşittir. Entropi değişimi tersinir ve tersinmez olaylarda farklı şekilde gerçekleşir.

- Tersinir değişimlerde entropi değişimi sıfırdır.

$$\Delta S_{\text{evren}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} = 0$$

- Tersinmez sistemlerde ise entropi artar.

$$\Delta S_{\text{evren}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} > 0$$

Termodinamiğin ikinci yasasına göre; kendiliğinden oluşan, istemli, her değişime entropi artışı da eşlik eder. İstemli tepkimelerde evrenin entropisi de artar.

Çevrenin entropi değişimi

Entropi için verilen $\Delta S = Q_{\text{ter}}/T$ formülü yalnızca tersinir sistemler için geçerlidir. Bu nedenle tersinmez olaylarda ΔS yani sistemin entropisini bulmak için kullanılamaz. Ancak çevre sisteme göre daha büyük bir hacime sahip olduğundan, çevreye ısı akışının ortam açısından tersinir olduğu kabul edilebilir. Bu nedenle sabit basınç ve sıcaklıkta gerçekleşen bir tepkime sonucunda çevrenin entropisindeki değişimin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$\Delta S_{\text{çevre}} = -\Delta H/T$$

formülü kullanılabilir.

ÖRNEK

-10°C 'de buzun molar erime ısı $6,0 \text{ kJ/mol}$ 'dür. Buna göre su -10°C 'de donduğunda çevrenin entropisindeki değişim kaç J/mol 'dür?

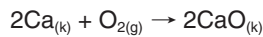
ÇÖZÜM

Suyun donması sırasında salınan ısı çevredeki taneciklerin hareketini arttıracığı için çevrenin entropisinin artması beklenir.

$$\Delta H_{\text{donma}} = -\Delta H_{\text{erime}} = -6,0 \text{ kJ/mol olur.}$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = -\Delta H/T$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = -(-6000 \text{ J/mol})/263 \text{ K} = +23 \text{ J/mol.K}$$

ÖRNEK

25°C 'de gerçekleşen kalsiyumun yanma tepkimesine ait

$\Delta H^\circ = -1192 \text{ kJ}$ ve $\Delta S^\circ = -264 \text{ J/K}$ olduğuna göre,

- Çevrenin entropi değişimi ne kadardır?
- Toplam entropi değişimi ne kadardır?
- Tepkime kendiliğinden gerçekleşir mi?

ÇÖZÜM

$$\text{a) } \Delta S_{\text{çev}}^\circ = -\frac{\Delta H^\circ}{T} = -\frac{-1192 \cdot 10^3 \text{ J}}{298 \text{ K}} = +4000 \text{ J/K}$$

$$\text{b) } \Delta S_{\text{Top}}^\circ = \Delta S_{\text{sistem}}^\circ + \Delta S_{\text{çevre}}^\circ$$

$$\Delta S_{\text{Top}}^\circ = -264 + 4000 = +3736 \text{ J/K}$$

- $\Delta S_{\text{Top}}^\circ > 0$ olduğu için evrenin entropisi artar ve tepkime kendiliğinden gerçekleşir.

2. 2. 2. GİBBS SERBEST ENERJİSİ

Fiziksel ve kimyasal tepkimelerin yönünü belirleyen iki yürütücü kuvvet vardır. Bunlardan biri minimum enerji eğilimi, diğeri ise maksimum düzensizlik eğilimidir. Minimum enerji eğiliminin ölçüsü entalpidir. Kimyasal tepkimede enerji açığa çıkıyorsa yani ekzotermik tepkime ise entalpi değişimi $\Delta H < 0$ olur ve tepkime ileri yönde istemlidir. Maksimum düzensizliğin ölçüsü ise entropi değişimidir. Kimyasal tepkime gerçekleşirken entropi artıyorsa yani $\Delta S > 0$ ise tepkime ileri yönde istemlidir.

$\Delta H < 0$ ise olay istemlidir. $\Delta S > 0$ ise olay istemlidir.
 $\Delta H > 0$ ise olay istemsizdir. $\Delta S < 0$ ise olay istemsizdir.

Bir kimyasal tepkimenin istemli olup olmayacağı yalnızca ΔH_{tep} veya yalnızca ΔS_{tep} nin işaretine bakılarak belirlenemez. Bu iki eğilimi birlikte değerlendirmek gerekir. Her iki eğilimde ileri yöndeki tepkimeyi destekliyorsa yani $\Delta H < 0$ ve $\Delta S > 0$ ise tepkime istemlidir. İki eğilimde istemsiz ise yani $\Delta H > 0$ ve $\Delta S < 0$ ise tepkime yazıldığı yönde istemsizdir. Ancak bu iki eğilim zıt yönde ise bu durumda tepkimenin yönünü belirlemek için hangi etkinin daha baskın olduğunu sayısal olarak hesaplamak gerekir. Bu nedenle bir kimyasal tepkimenin yönü, hangi yönde ilerlediği hem entalpi hem de entropi değişimini hesaba katan Gibbs serbest enerjisi ile belirlenir. Gibbs serbest enerjisi ΔG

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

bağıntısı ile bulunur.

Gibbs serbest enerjisi, ΔG , bir tepkimenin kendiliğinden olup olmayacağı hakkında öngöründe bulunmamızı sağlar.

1. $\Delta G < 0$ ise yani negatif bir değere sahipse, tepkime istemlidir kendiliğinden gerçekleşir.
2. $\Delta G > 0$ ise yani pozitif bir değere sahipse, tepkime istemli değildir, kendiliğinden gerçekleşmez.
3. ΔG sıfır ise, sistem dengededir.

ÖRNEK

Termodinamik büyüklüklerle ilgili,

- I. İstemli (kendiliğinden) olan değişimlerde sistemin serbest enerjisi artar.
- II. Tersinir bir değişimde evrenin entropi değişimi sıfırdır.
- III. Tersinmez bir değişimde evrenin entropisi artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) II ve III E) I, II ve III



NOT

Gibbs serbest enerjisindeki değişimi belirleyen iki faktör vardır. Bunlardan ilki ΔH terimini içeren minimum enerji eğilimidir. Diğeri ise ΔS terimini içeren maksimum düzensizlik eğilimidir. Bir tepkimede bu iki eğilimde aynı yönde ise tepkime o yönde kendiliğinden gerçekleşir ve istemlidir. Eğer bu iki eğilim zıt yönde ise, baskın olan eğilim yönünde tepkime gerçekleşir. Eşit oldukları durumda ise sistem dengede demektir.

ÇÖZÜM

İstemli tepkimelerde $\Delta G < 0$ dır, yani Gibbs Serbest enerjisi azalır. Tersinir değişimlerde evrenin entropisi değişmez. Ancak tersinmez değişimlerde evrenin entropi artar.

Cevap D

ÖRNEK

Yukarıdaki tepkimenin 25°C'da standart serbest enerji değişimini hesaplayınız.

$$\Delta G_{\text{ol}}^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_6) = -33 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{\text{ol}}^{\circ}(\text{CO}_2) = -394 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{\text{ol}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) = -237 \text{ kJ/mol}$$

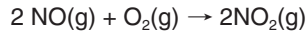
ÇÖZÜM

$$\Delta G_{\text{tep}}^{\circ} = \Delta G_{\text{ürünler}}^{\circ} - \Delta G_{\text{girenler}}^{\circ}$$

$$\Delta G_{\text{tep}}^{\circ} = [(3 \cdot \Delta G_{\text{H}_2\text{O}}^{\circ} + 2 \cdot \Delta G_{\text{CO}_2}^{\circ}) - [\Delta G_{\text{C}_2\text{H}_6}^{\circ} + 7/2 \Delta G_{\text{O}_2}^{\circ}]]$$

$$\Delta G_{\text{tep}}^{\circ} = [3 \cdot (-237) + 2 \cdot (-394) - (-33 + 0)]$$

$$\Delta G_{\text{tep}}^{\circ} = -1466 \text{ kJ/mol}$$

ÖRNEK

Yukarıdaki tepkimenin 300 K de ΔG° değerini hesaplayınız. Yazıldığı yönde istemli olup olmadığını belirtiniz. (300 K de $\Delta H^{\circ} = -115 \text{ kJ}$, $\Delta S^{\circ} = -150 \text{ JK}^{-1}$)

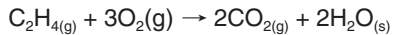
ÇÖZÜM

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$$

$$\Delta G^{\circ} = -115 \text{ kJ} - (300 \cdot (-150 \cdot 10^{-3} \text{ kJ}))$$

$$\Delta G^{\circ} = -70 \text{ kJ}$$

$\Delta G^{\circ} < 0$ olduğundan tepkime istemlidir.

ÖRNEK

Reaksiyonunun 25°C 1 atm de standart Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG°) $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ cinsinden aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

$$(\Delta S^{\circ} = -133 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \Delta H^{\circ} = -174 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$$

A) +134,36 B) +268,72 C) -268,72

D) -72,18 E) -134,36

ÇÖZÜM

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$$

$$\Delta G^{\circ} = -174 \text{ kJ/mol} - (298 \cdot (-133 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/molK}))$$

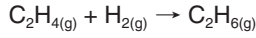
$$\Delta G^{\circ} = -134,36 \text{ kJ/mol}$$

Cevap E

ÖRNEK

Madde	$\Delta H_{oi}^{\circ}(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	$S^{\circ}(\text{J}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
$\text{C}_2\text{H}_{4(g)}$	+52	219
$\text{C}_2\text{H}_{6(g)}$	-85	230
$\text{H}_{2(g)}$	0	131

Yukarıdaki bilgilere göre 25°C ve 1 atm'de;



tepkimesinin standart Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG°) kaç $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ dir?

- A) +101,2 B) -202,4 C) -86,6
D) +86,6 E) -101,2

ÇÖZÜM

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H_{i}^{\circ} - \Delta H_{g}^{\circ}$$

$$\Delta H^{\circ} = (-85) - (52)$$

$$\Delta H^{\circ} = -137 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S^{\circ} = \Delta S_{i}^{\circ} - \Delta S_{g}^{\circ}$$

$$\Delta S^{\circ} = (230) - (219 + 131)$$

$$\Delta S^{\circ} = -120 \text{ J/mol}\cdot\text{K} = -0,12 \text{ kJ/mol} \cdot \text{K}$$

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$$

$$\Delta G^{\circ} = -137 - (298 \cdot (-0,12))$$

$$\Delta G^{\circ} = -101,2 \text{ kJ/mol}$$

Cevap: E**ÖRNEK**

Termodinamik büyüklüklerle ilgili,

- I. Sabit hacimde sisteme verilen ısı, sistemin iç enerji değişimine eşittir.
- II. Sabit basınçta sisteme verilen ısı, sistemin entalpi değişimine eşittir.
- III. Gibbs serbest enerjisinin sıfırdan küçük olması, olayın istemli olduğunu gösterir.
- IV. Yoğunlaşma ve donma olayında sistemin entropisi artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) II ve IV B) III ve IV C) I, II ve III
D) I, III ve IV E) II, III ve IV

ÇÖZÜM

Sabit hacimde $w = 0$ olduğu için $\Delta U = q$ 'dur.

Sabit basınçtaki ısı değişimi entalpidir.

$\Delta G < 0$ ise istemli olaydır.

Yoğunlaşma ve donma olaylarında sistemin hareketi azalır yani entropisi azalır.

Cevap: C**2. 3. Termodinamiğin üçüncü yasası:**

Mutlak sıfır sıcaklığında saf ve hatasız kristallerin mutlak entropileri sıfırdır.

2. 4. Termodinamiğin sıfırncı yasası

İki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eşdeğer ise, bu iki cisim birbiriyle de sıcaklıkça eşdeğerdedir.

ÖRNEK

Termodinamik yasalarla ilgili;

- I. Enerjinin korunumu yasasıdır.
- II. İstemli değişimlerde evrenin entropisi artar.
- III. Mutlak sıfır sıcaklığında saf ve hatasız kristallerin mutlak entropileri sıfırdır.

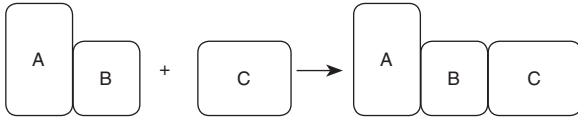
İfadelerden hangileri Termodinamiğin 2. Yasası'na ait açıklamalardır?

- A) Yalnız I
- B) Yalnız II
- C) I ve II
- D) II ve III
- E) I ve II ve III

ÇÖZÜM

I. ifade termodinamiğin 1. yasası, III ise 3. yasanın açıklamalarıdır. II. si ise termodinamiğin 2. yasasını ifade eder.

Cevap: B

ÖRNEK

Isıl dengede bulunan A ve B katı cisimlerinin yanına B ile temas edecek şekilde, farklı sıcaklıktaki bir C cismi konuyor. Bir süre sonra A ve C cisimlerinin aynı sıcaklıkta olduğu ve ısıl dengeye geldiği gözleniyor.

Bu termokimyasal olay aşağıdakilerden hangisi ile açıklanmıştır?

- A) Termodinamiğin 1. yasası
- B) Termodinamiğin 2. yasası
- C) Termodinamiğin 3. yasası
- D) Termodinamiğin 0. yasası
- E) Carnot çevrimi

ÇÖZÜM

Üç cismin ısıl dengesi ile ilgili bu ifade Termodinamiğin 0. yasası ile açıklanmıştır.

Cevap: D

3. 1. Gibbs serbest enerjisi ve Denge

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K$$

herhangi bir durumda sistem dengede ise $\Delta G = 0$ dir. Bu durumda;

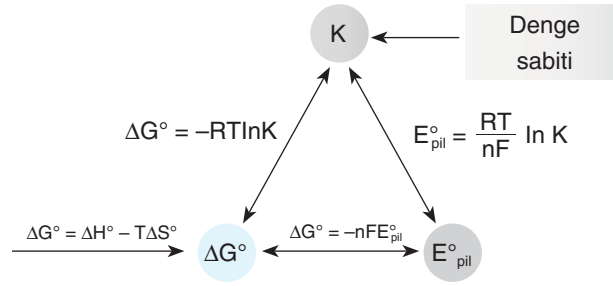
$$\Delta G^\circ = - RT \ln K$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K = -nFE_{pil}^\circ$$

$$E_{pil}^\circ = \frac{RT}{nF} \ln K$$

$$E_{pil}^\circ \ln K = \frac{8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 298,15 \text{ K}}{n \times 96485 \text{ C mol}^{-1}}$$

$$E_{pil}^\circ = \frac{0,025693 \text{ V}}{n} \ln K$$

**ÖRNEK**

Değişimi, sistemin yalnızca ilk ve son haline bağlı olan niceliklere hal fonksiyonu adı verilir.

Buna göre, aşağıda verilen niceliklerden hangisi hal fonksiyonu değildir?

- A) İç enerji B) Entalpi C) Entropi
D) İş E) Gibbs serbest enerjisi

ÇÖZÜM

İş bir hal fonksiyonu değildir. Değişimin sırasında gidilen yola bağlıdır.

Cevap: D

3. 2. Gibbs Serbest Enerjisine Sıcaklığın Etkisi

Bir kimyasal tepkimede hem entalpi değişimi (ΔH) hem de entropi değişimi (ΔS) sıcaklıktan etkilenir. Ancak bu etki ΔH° ve ΔS° 'yi çok az değiştirir. Ancak ΔG° ise,

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

denkleminde de anlaşılacağı üzere oldukça fazla etkilenebilir. Hatta sıcaklıktaki değişim, ΔG° 'ın işaretini değiştirebilir. Sıcaklığın ΔG° üzerine olan bu etkisi dört farklı durumda incelenebilir.

a)
$$\begin{array}{|c|} \hline \Delta H^\circ < 0 \\ \hline \Delta S^\circ > 0 \\ \hline \end{array} \rightarrow \begin{array}{|c|} \hline \Delta G^\circ < 0 \\ \hline \end{array}$$

Hem entalpi (ΔH°) hem de entropideki değişim (ΔS°) tepkimenin istemli olması yönündedir.

$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ bu işlemin sonucu sıcaklık ne olursa olsun (-)'dir.
(-) (+)

Yani her sıcaklıkta $\Delta G^\circ < 0$ 'dır ve tepkime her sıcaklıkta kendiliğinden gerçekleşir.

b)
$$\begin{array}{|c|} \hline \Delta H^\circ > 0 \\ \hline \Delta S^\circ < 0 \\ \hline \end{array} \rightarrow \begin{array}{|c|} \hline \Delta G^\circ > 0 \\ \hline \end{array}$$

Hem entalpideki değişim ($\Delta H^\circ > 0$) hem de entropideki değişim ($\Delta S^\circ < 0$) tepkimenin ileri yönde istemsiz olduğunu gösterir.

$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ bu işlemin sonucunda sıcaklık ne olursa olsun ΔG° 'in işareti (+) olur.
(+) (-)

Bu durumda hiçbir sıcaklıkta tepkime kendiliğinden yürümez.



NOT

Bir tepkimenin entalpi değişimi sıfırdan küçük ise tepkime enerji yönünden istemlidir.

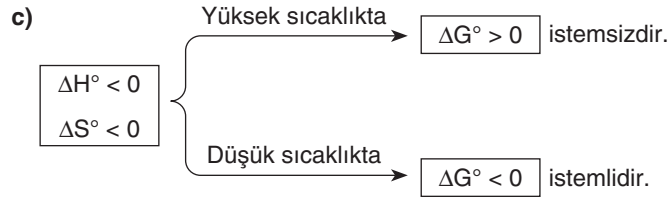
$$\Delta H < 0 \text{ istemli}$$



NOT

Bir tepkimede entropi artıyor ise tepkime entropi yönünden istemlidir.

$$\Delta S > 0$$



Entalpideki değişim $\Delta H^\circ < 0$ olduğuna göre, entalpi yönünden tepkime istemlidir. Ancak $\Delta S^\circ < 0$ olduğu için entropi azalmıştır. Tepkime entropi yönünden istemsizdir. Burada sıcaklığa bağlı olarak $\Delta G^\circ < 0$ veya $\Delta G^\circ > 0$ hatta $\Delta G^\circ = 0$ olabilir.

Yüksek sıcaklıklarda

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$$

(-) ↓ (-)

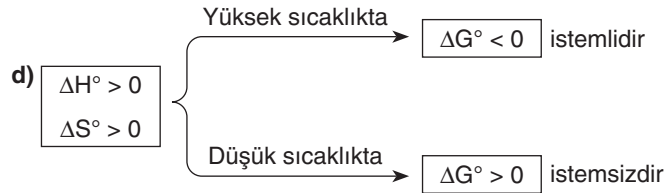
T yüksek ise, ΔS° 'ın (entropinin) etkisi baskın hale gelir. $\Delta G^\circ > 0$ olur. Tepkime istemsizdir.

Düşük sıcaklıklarda

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$$

(-) ↓ (-)

T düşük ise, ΔS° 'ın etkisi azalır. ΔH° baskın hale gelir. $\Delta G^\circ < 0$ olur. Tepkime istemlidir.



Entalpideki değişim $\Delta H^\circ > 0$ olduğu için, entalpi yönünden tepkime istemsizdir. Ancak $\Delta S^\circ > 0$ olduğu için entropi artmıştır. Tepkime entropi yönünden istemlidir. Sıcaklığa bağlı olarak ΔG° 'ın işareti değişebilir.

Yüksek sıcaklıklarda

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$$

(+) ↓ (+)

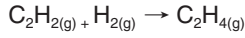
T yüksek ise, ΔS° 'ın etkisi baskın hale gelir. $\Delta G^\circ < 0$ olur. Tepkime istemlidir.

Düşük sıcaklıklarda

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$$

(+) ↓ (+)

T düşük ise, ΔH° 'ın etkisi daha baskın hale gelir. $\Delta G^\circ > 0$ olur ve tepkime istemsizdir.

ÖRNEK

Tepkimesi için 25°C 1 atm'de standart entropi değişimi $\Delta S^\circ = -133 \text{ J/mol.K}$ ve $\Delta H^\circ = -174 \text{ kJ/mol}$ olduğuna göre,

I. Standart serbest enerji değişimi

$$\Delta G^\circ = -134,366 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

II. Tepkime yüksek sıcaklıklarda istemli, düşük sıcaklıklarda istemsizdir.

III. Tepkime 25°C'de istemlidir.

Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I, II ve III

ÇÖZÜM

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$\Delta G^\circ = -174 \cdot 10^3 \text{ J.mol}^{-1} - (298 \text{ K} (-133) \text{ J.mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$$

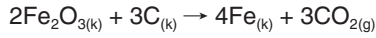
$$\Delta G^\circ = -174 000 \text{ J.mol}^{-1} + 39 634 \text{ J.mol}^{-1}$$

$$\Delta G^\circ = -134 366 \text{ J.mol}^{-1} = -134,366 \text{ kJ.mol}^{-1} \text{ dir.}$$

$\Delta G^\circ < 0$ olduğu için tepkime 25°C (298 K)'de istemlidir, kendiliğinden gerçekleşir.

$\Delta H^\circ < 0$ ve $\Delta S^\circ < 0$ 'dir. Yüksek sıcaklıklarda ΔS° 'nin katkısı artar. $\Delta G^\circ > 0$ olabilir. Bu nedenle tepkime yüksek sıcaklıklarda istemsiz, düşük sıcaklıklarda istemlidir.

Cevap D

ÖRNEK

Yukarıda verilen tepkime için standart koşullarda $\Delta H^\circ = +459,2 \text{ kJ}$ ve $\Delta S^\circ = 560 \text{ JK}^{-1}$ 'dir. Buna göre, bu tepkimenin termodinamik olarak kendiliğinden gerçekleştiği en düşük sıcaklık nedir?

ÇÖZÜM

$\Delta H^\circ > 0$ ve $\Delta S^\circ > 0$ olduğu için yüksek sıcaklıklarda tepkime kendiliğinden gerçekleşir. Kendiliğinden gerçekleştiği en düşük sıcaklık $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ formülünden bulunabilir. $\Delta G^\circ = 0$ olmasını sağlayan sıcaklıkta sistem dengededir. Bu sıcaklığın altında gerçekleşmez, üzerinde ise gerçekleşir.

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$0 = 459,2 \cdot 10^3 \text{ J} - T \cdot 560 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$T = 820 \text{ K}$ 'de tepkime dengededir. Bu sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda kendiliğinden gerçekleşmez.

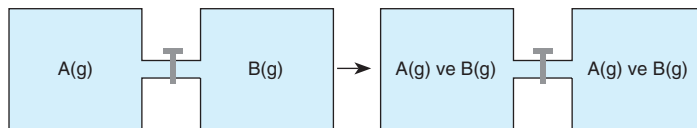
**NOT**

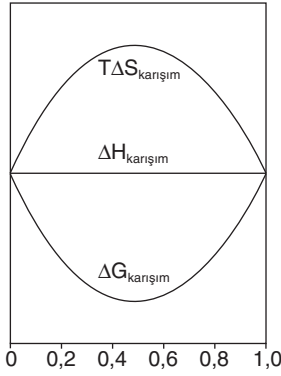
Sabit sıcaklık (T) ve basınçta (P), ideal çözelti oluşumu sırasında hacim değişikliği ve ısı alışverişi olmaz.

4. İdeal Karışımlarda Entalpi (ΔH), Entropi (ΔS) ve Serbest Enerji (ΔG) Değişimleri

Birden fazla maddenin bir araya gelmesi ile oluşan sistemlere karışım denir. Eğer karışım tek fazlı ise homojen karışım olarak adlandırılır. İki veya daha çok fazlı olanlara ise heterojen karışım denir. Karışımın oluşması sırasında ısı alışverişi ve hacim değişikliği olmuyorsa ideal karışım olarak adlandırılır.

A ve B ideal gazlarını ayıran musluk açıldığında her iki gazda toplam hacmi homojen olarak dolduracak şekilde genleşirler. Bu durum kendiliğinden gerçekleşen bir süreçtir.





Gazlar ideal kabul edildiklerinden çözeltilerde bir ideal karışımdır ve karışma sırasında ısı alışverişi olmaz. Yani karışma sırasında entalpi değişimi $\Delta H = 0$ 'dır. Dışarıdan bir etki olmadan A ve B gazları istemli olarak karıştığına göre sistemin entropisinde artma olmuştur. İstemli olaylarda serbest enerji değişimi ise negatiftir.

İki bileşenin oluşturduğu ideal bir karışım sonucunda entalpi, serbest enerji, entropi değişimi aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$\Delta H_{\text{karışım}} = 0$$

$$\Delta G_{\text{karışım}} = nRT(X_A \ln X_A + X_B \ln X_B)$$

$$\Delta S_{\text{karışım}} = -nR(X_A \ln X_A + X_B \ln X_B)$$

formülleri ile bulunabilir.

ÖRNEK

25°C'de 0,2 mol A ve 0,8 mol B sıvıları ile homojen bir karışım hazırlanıyor. Bu çözeltilin oluşumu sırasında entalpi, serbest enerji ve entropi değişimlerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Çözelti ideal olduğu için oluşumu sırasında entalpi değişimi olmaz, $\Delta H_{\text{karışım}} = 0$ 'dır.

$$X_A = 0,2 \text{ mol} / (0,2 + 0,8) \text{ mol} = 0,2 \text{ ve } X_B = 0,8$$

$$\Delta G_{\text{karışım}} = nRT(X_A \ln X_A + X_B \ln X_B)$$

$$= 1 \text{ mol} \times 8,314 \times 298 \text{ K} (0,2 \ln 0,2 + 0,8 \ln 0,8)$$

$$\Delta G_{\text{karışım}} = -1236,3 \text{ J}$$

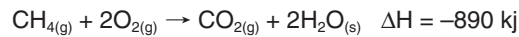
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$-1236,3 = 0 - 298 \cdot \Delta S$$

$$\Delta S = 4,15 \text{ J/K}$$

5. KİMYASAL TEPKİME ENTALPİLERİ

Her kimyasal tepkimenin gerçekleşmesi sırasında enerji değişimi olur. Bu enerji genellikle ısı şeklinde alınır veya verilir. Örneğin,

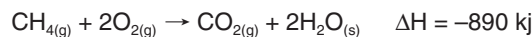
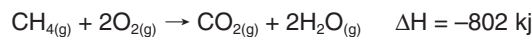


CH₄ gazının yanması sonucunda 890 kJ ısı açığa çıkar. Tepkime denkleminde yer alan maddelerin önlerinde yer alan sayılar (stokiyometrik katsayılar) açığa çıkan ısı miktarı ile orantılıdır.

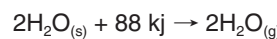
1 mol CH₄ ve 2 mol O₂ tepkimeye girdiğinde 1 mol CO₂ ve 2 mol H₂O oluşur. Aynı zamanda 890 kJ ısı açığa çıkar.

Standart Tepkime Entalpileri

Standart tepkime entalpisi (ΔH°), standart halde bulunan girenlerin, standart haldeki ürünlere dönüşümleri sırasındaki tepkime entalpisidir.



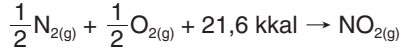
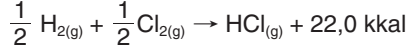
Yukarıda verilen iki tepkimede H₂O birincide gaz, ikincide ise sıvı haldedir. Bu iki tepkimenin entalpisi arasındaki fark olan 88 kJ/mol H₂O'nun sıvı halden gaz hale geçmesini sağlayacak kadardır.



5. 1. ENTALPİ TÜRLERİ

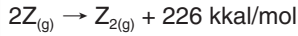
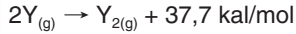
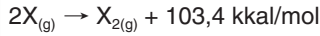
5. 1. 1. Oluşum Entalpisi (ΔH_{01}°)

Bir bileşiğin 25°C 1 atm'de (standart koşullarda) 1 molünün elementlerinden oluşması sırasında alınan ya da verilen enerjiye **molar oluşum entalpisi** (ısısı) denir.



- Entalpi sıcaklık ve basınca bağlı olduğundan 25°C ve 1 atm koşullarında ölçülür. Elementlerin standart şartlardaki en kararlı hallerinin oluşum entalpileri sıfır kabul edilir.
- Ekzotermik tepkimelerde, oluşum ısısı büyük olan bileşikler kararlıdır. Bileşiği oluşturan atomlar arasındaki bağlar kuvvetlidir.
- Oluşum ısısı küçük olan bileşikler kararsızdır, kolay parçalanır. Bileşiği oluşturan atomlar arasındaki bağlar zayıftır.

ÖRNEK



olarak verildiğine göre aşağıdakilerden hangisinde kovalent bağ kuvvetleri doğru olarak karşılaştırılmıştır?

- A) $Z_2 > Y_2 > X_2$ B) $Y_2 > X_2 > Z_2$ C) $Z_2 > X_2 > Y_2$
D) $Y_2 > Z_2 > X_2$ E) $X_2 > Z_2 > Y_2$

ÇÖZÜM

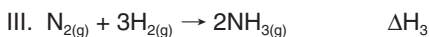
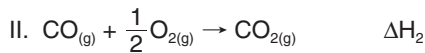
Her üç tepkimede ekzotermiktir. Oluşum entalpisi büyük olan molekülde bağlar daha kuvvetlidir.

Buna göre $Z_2 > X_2 > Y_2$ 'dir.

Cevap C'dir.

ÖRNEK

Aşağıda verilen tepkimeler standart şartlarda gerçekleşmektedir.



Buna göre yukarıdaki tepkimelerden hangileri standart molar oluşum entalpisidir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

ÇÖZÜM

1 mol maddenin standart koşullarda elementlerinden oluşması sırasında alınan ya da verilen ısı miktarı, standart molar yanma entalpisidir. Bu durumda II. tepkimede CO element olmadığı için, III. tepkime de ise NH_3 'ün katsayısı 2 olduğu için yalnızca I standart molar oluşum entalpisidir.

Cevap A'dir.

Standart Oluşum Entalpileri Yardımıyla Tepkime Entalpisinin Belirlenmesi

Bir kimyasal tepkimede yer alan maddelerin standart molar oluşum entalpileri yardımıyla, o tepkimenin entalpisi

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

formülü yardımıyla bulunabilir.

Bu ifadede yer alan n, kimyasal tepkimedeki steroikiyometrik katsayıları ifade etmektedir.

ÖRNEK

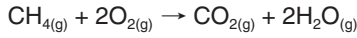
Bazı bileşiklerin oluşum entalpileri aşağıdaki gibidir.

Bileşik Oluşum Entalpisi

CH₄ -17,9 kkal/mol

CO_{2(g)} -94,0 kkal/mol

H₂O_(g) -57,8 kkal/mol

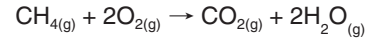


Buna göre metanın (CH₄) molar yanma ısısı kaç kkal/mol'dür?

- A) 191,7 B) -191,7 C) 209,6
D) -209,6 E) -157,6

ÇÖZÜM

Molar yanma ısısı maddenin 1 molünün yanması sonucu açığa çıkan enerjidir. 1 mol CH₄ yanarsa;



O₂'nin oluşum entalpisi sıfırdır.

Tepkime entalpisi:

$$\Delta H_{\text{Tepkime}} = \Delta H_{\text{Ürünler}} - \Delta H_{\text{Girenler}}$$

$$\Delta H = (\Delta H_{\text{CO}_2} + 2\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}) - (\Delta H_{\text{CH}_4} + \Delta H_{\text{O}_2})$$

$$\Delta H = (-94,0) + 2(-57,8) - ((-17,9) + 2 \cdot (0))$$

$$\Delta H = -191,7 \text{ kkal/mol}$$

Cevap B'dir.

5. 1. 2. Yanma Entalpisi

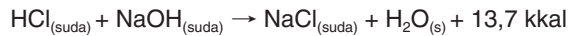
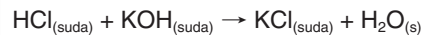
Bir maddenin bir molünün yanması sırasında oluşan enerjiye molar yanma entalpisi (ısısı) denir. Yanma olayı her zaman ekzotermiktir. (N₂ nin yanması hariç)



1 mol etan (C₂H₆) yandığında 372,8 kkal ısı açığa çıkar.

5. 1. 3. Nötrleşme Entalpisi

1 mol asit ile 1 mol bazın nötrleşmesi sırasında açığa çıkan enerji nötrleşme entalpisi (ısısı) dir. Nötrleşme olayı her zaman ekzotermiktir.

**ÖRNEK**

$$\Delta H = -13,8 \text{ kkal}$$

olduğuna göre 0,1M 500 ml HCl yeterince KOH ile tam olarak nötrleştirilirse açığa kaç kkal ısı çıkar?

- A) 0,69 B) 6,9 C) 0,138 D) 13,8 E) 69

ÇÖZÜM

$$n_{\text{HCl}} = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ mol}$$

1 mol HCl nötrleştiğinde 13,8 kkal ısı açığa çıkarsa

0,05 mol HCl nötrleştiğinde x = 0,69 kkal ısı açığa çıkar.

Cevap A'dir.

5. 1. 4. Çözünme Entalpisi

Çözünme olayı sırasında alınan ya da verilen enerjiye çözünme entalpisi (ısısı) denir. Gazların suda çözünmesi her zaman ekzotermiktir. Katıların suda çözünmesi ise endotermik ya da ekzotermik olabilir.

5. 1. 5. Dönüşüm Entalpisi

Aynı maddenin farklı fiziksel durumların birbirine dönüşümü sırasında alınan ya da verilen enerjiye **dönüşüm entalpisi** (ısısı) denir.

Dönüşüm ısısı;

- Hal değişimi sırasında
- İzomerik yapıların birbirine dönüşümleri sırasında
- Allotropik dönüşümler sırasında
- Farklı kristal yapıların birbirine dönüşümleri sırasında geçerlidir.

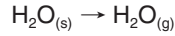
Katıdan sıvıya, sıvıdan da gaza geçiş endotermik, gazdan sıvıya, sıvıdan da katıya geçiş ekzotermiktir.

Buzun erime ısısı



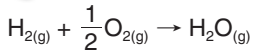
$$\Delta H_{\text{erime}} = \Delta H_{\text{H}_2\text{O}_{(s)}} - \Delta H_{\text{H}_2\text{O}_{(k)}}$$

Suyun buharlaşma ısısı



$$\Delta H_{\text{buharlaşma}} = \Delta H_{\text{H}_2\text{O}_{(g)}} - \Delta H_{\text{H}_2\text{O}_{(s)}}$$

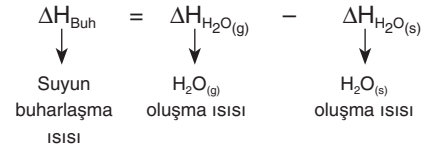
ÖRNEK



denklemlerle gösterilen tepkimenin ısısını hesaplayabilmek için;

- Buzun erime ısısı
 - Suyun buharlaşma ısısı
 - $\text{H}_2\text{O}_{(siv)}$ nin oluşma ısısı
- niceliklerinden hangilerinin bilinmesi gerekir?
- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

ÇÖZÜM

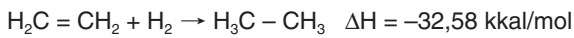


$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ in oluşma ısısını bulabilmek için suyun buharlaşma ısısı ve $\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ nin oluşma ısısı gereklidir. Tepkime $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ 'nin oluşum tepkimesidir. Bu tepkimenin ısısı da $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ 'nin oluşum ısısıdır.

Cevap E'dir.

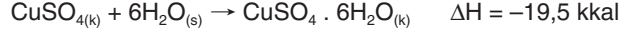
5. 1. 6. Hidrojenasyon Entalpisi

Doymamış hidrokarbonlar (alkenler ve alkinler) hidrojen katılmasıyla doymuş hale gelirler. Bu sırada meydana gelen enerji değişimine hidrojenasyon entalpisi (ısısı) denir.



5. 1. 7. Hidratasyon Entalpisi

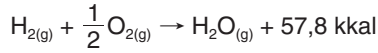
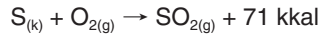
Bir tuzun kristal yapısı içerisinde yer alan su moleküllerine kristal suyu denir. Suyun kristal yapıya katılması sırasında açığa çıkan ısıya hidratasyon entalpisi (ısısı) denir.



5. 2. TEPKİME ENTALPİSİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

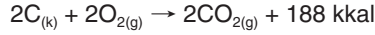
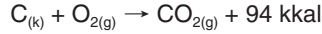
5. 2. 1. Tepkimeye Giren Maddelerin Türü

Tepkimeye giren maddelerin türü değiştiğinde alınan ya da verilen enerji miktarı da değişir.



5. 2. 2. Tepkimeye Giren Maddelerin Miktarı

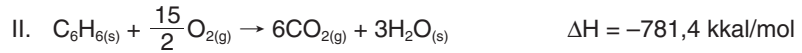
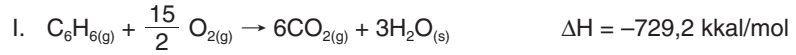
Tepkime ısısı madde miktarıyla doğru orantılıdır.



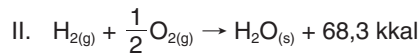
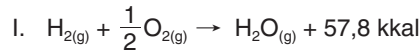
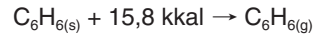
12 g karbon yakıldığında 94 kkal ısı açığa çıkarken, 24 g karbon yakıldığında 188 kkal ısı açığa çıkar.

5. 2. 3. Tepkimeye Giren ve Oluşan Maddelerin Fiziksel Hali

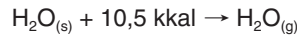
Bir kimyasal tepkimenin ısısı maddenin fiziksel haline bağlıdır. Bu nedenle tepkime denklemini yazılırken maddenin fiziksel hali belirtilmelidir.



Yukarıdaki tepkimelerde görüldüğü gibi gaz hâldeki benzenin (C_6H_6) yanması sonucu daha fazla ısı açığa çıkmıştır. Bu aradaki ısı farkı, benzenin sıvı halden gaz hale geçmesi için gerekli enerjiye yani buharlaşma ısısına eşittir.



Bu iki tepkime ısısı arasındaki fark ise suyun buharlaşma ısısı kadardır.



5. 2. 4. Sıcaklık ve Basınç

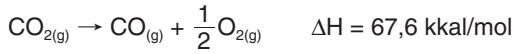
Sıcaklık ve basınç değişimi tepkime ısısını etkiler. Bu nedenle tepkime entalpileri standart şartlarda yani 25°C sıcaklıkta ve 1 atm basınçta ölçülür.

5. 2. 5. Katalizör

Katalizör ürünlerin ve girenlerin ısı kapsamlarının değiştirmedığı için tepkimeye etkisi yoktur. Katalizör tepkimenin mekanizmasını değiştirir. Tepkime entalpisi tepkimenin izlediği yola bağlı değildir.

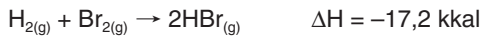
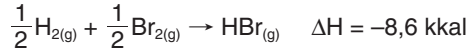
5. 3. ENTALPİ KURALLARI

1. Bir kimyasal tepkime ters çevrilirse, tepkime ısısının işareti değişir.

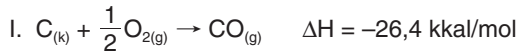


Tepkimelerinin entalpi değerleri aynı ancak işaretleri farklıdır.

2. Bir kimyasal tepkime herhangi bir sayı ile çarpılırsa entalpi değeri de o sayı ile çarpılır.



3. İki ya da daha fazla tepkime toplandığında oluşan tepkimenin entalpisi, oluştuğu tepkimelerin entalpileri toplamına eşittir.

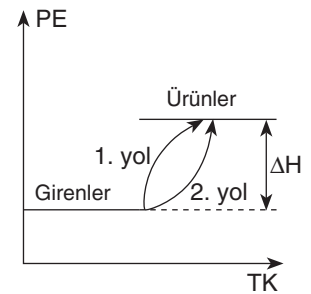


5. 4. TEPKİME ISILARININ TOPLANABİLİRLİĞİ (HESS KANUNU)

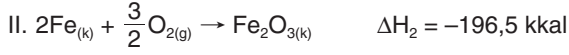
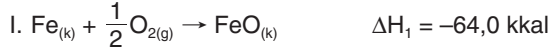
Birden fazla basamakta gerçekleşen tepkimelerde net tepkimenin entalpisi ara basamakların entalpilerinin toplamına eşittir. Buna tepkime ısılarının toplanabilirliği kuralı ya da Hess Kanunu denir. Bir tepkimede, tepkiye giren ve oluşan ürünlerin arasında belli bir enerji farkı vardır. Tepkimenin farklı yollardan ilerlemesi tepkime entalpisini değiştirmez. Entalpi, tepkimenin izlediği yola bağlı değildir.

1. ve 2. yol sonucunda aynı ürün oluştuğu için ΔH aynıdır.

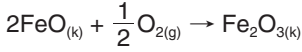
Hess yasası ile deneysel yolla entalpi değerleri bulunamayan tepkimelerin entalpileri bulunur.



ÖRNEK



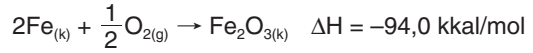
tepkimelerini ve entalpilerini kullanarak



tepkimesinin entalpisi (ΔH) ni hesaplayınız.

ÇÖZÜM

I. tepkime ters çevrilip, 2 ile çarpılır, sonra II. tepkime ile toplanır.



bulunur.

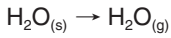
ÖRNEK



olduğuna göre 36 g suyun buharlaşması için ne kadar ısı gerekir?

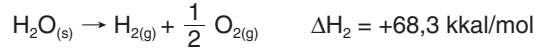
ÇÖZÜM

Suyun buharlaşma denklemi



şeklindedir.

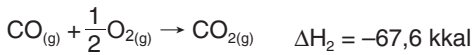
Bu tepkimenin entalpisini bulmak için II. tepkime ters çevrilip I. tepkime ile toplanır.



1 mol= 18 g su buharlaşması için 10,5 kkal ısı gerekli
36 g su buharlaşması için x

x = 21,0 kkal ısı gerekir.

ÖRNEK



olduğuna göre,



tepkimesinde ΔH_3 kaç kkal dir?

- A) -52,8 B) -41,2 C) -26,4
D) 41,2 E) 135,2

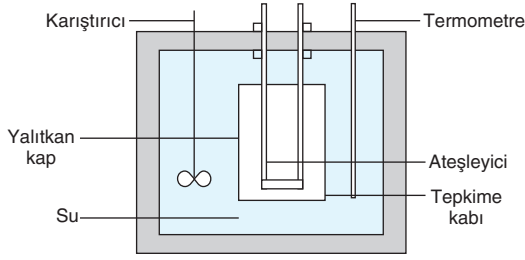
ÇÖZÜM



$\Delta H_3 = +41,2$ kkal bulunur.

Cevap D'dir.

5. 5. TEPKİME ISILARININ ÖLÇÜLMESİ (KALORİMETRE KABİ)



Tepkime ısılarının ölçülmesinde kalorimetre kabı kullanılır.

Bir kalorimetre kabı genellikle,

- Isı alışverişine karşı yalıtılmış bir kap
- Uygun bir sıvı (genellikle su)
- Isının sıvı içinde homojen olarak dağılmasını sağlayan bir karıştırıcı
- Sıvıdaki sıcaklık farkını ölçmek için bir termometre
- Reaksiyonun gerçekleştiği bir tepkime kabı
- Tepkime kabında maddenin yanmasını sağlayan bir ateşleyiciden oluşur.

Isısı ölçülecek tepkime, tepkime kabında gerçekleştirilir. Bu tepkime ekzotermik ise ısı açığa çıkar endotermik ise ısı alır. Bu ısı alışverişisi sonucu yalıtılmış kabın ve bu kabı dolduran suyun sıcaklığı değişir. Bu değişim termometre yardımıyla ölçülür. Kap ve suyun kütlesi ölçülür. Sıvı ve kabın özısıları kullanılarak alınan ya da verilen ısı hesaplanır. Bu hesaplama şu bağıntıya göre yapılır.

$$Q = m_{\text{su}} \cdot c_{\text{su}} \cdot \Delta t + m_{\text{kap}} \cdot c_{\text{kap}} \cdot \Delta t$$

Q = alınan ya da verilen ısı

m_{su} = suyun kütlesi

c_{su} = suyun özısı

m_{kap} = kalorimetre kabının kütlesi

c_{kap} = kalorimetre kabının özısı

Δt = sıcaklık farkı

ÖRNEK

Kütlesi 1000 g olan camdan yapılmış bir kalorimetre kabında 500 g su bulunmaktadır. Bu kalorimetre kabında 2,2 g C_3H_8 yakıldığında sıcaklık 36°C yükseldiğine göre C_3H_8 in molar yanma entalpisi nedir?

($\text{C}_3\text{H}_8 = 44$, $c_{\text{cam}} = 0,2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, $c_{\text{su}} = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$)

ÇÖZÜM

$$Q_{\text{verilen}} = Q_{\text{alınan}}$$

$$Q_{\text{verilen}} = Q_{\text{su}} + Q_{\text{cam}}$$

$$Q_{\text{verilen}} = m_{\text{su}} \cdot c_{\text{su}} \cdot \Delta t + m_{\text{cam}} \cdot c_{\text{cam}} \cdot \Delta t$$

$$Q_{\text{verilen}} = 500 \cdot 1 \cdot 36 + 1000 \cdot 0,2 \cdot 36$$

$$Q_{\text{verilen}} = 18 000 + 7200 = 25 200 \text{ kal} = 25,2 \text{ kkal}$$

$$n_{\text{C}_3\text{H}_8} = \frac{2,2}{44} = 0,05 \text{ mol}$$

0,05 mol C_3H_8 yandığında 25,2 kkal ısı açığa çıkıyor.

1 mol C_3H_8 yandığında $x = 504 \text{ kkal/mol}$ ısı açığa çıkar.

Isı Kapasitesi (Isı Sığası)

Bir kalorimetre kabının içindekilerle beraber sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli ısı miktarıdır.

$$Q_{\text{verilen}} = (m_{\text{su}} \cdot c_{\text{su}} + m_{\text{kap}} \cdot c_{\text{kap}}) \cdot \Delta t$$

$$Q_{\text{verilen}} = C_{\text{kalorimetre}} \cdot \Delta t$$

ÖRNEK

Bir kalorimetre kabının ısı kapasitesi 1200 kal/°C dir. Bu kalorimetre içinde 3 g karbon yandığında sıcaklık 19,7°C yükseldiğine göre karbonun yanma ısısı nedir?

ÇÖZÜM

Sıcaklığın 1°C yükselmesi için 1200 kal gerekiyor.
 19,7°C yükselmesi için $x = 23640$ kal/mol
 3 g karbon yandığında 23640 kal ısı açığa çıkıyor.
 (1 mol) 12 g karbon yandığında x

 $x = 94560 \text{ kal} = 94,5 \text{ kkal/mol}$

ÖRNEK

Bir kalorimetrenin ısı kapasitesi 2000 kal/°C'dir. Bu kalorimetre içinde yanma ısısı 200 kkal/mol olan CH₄ gazından 3,2 g yakılırsa son sıcaklık ne olur?

ÇÖZÜM

16 g CH₄ yanarsa 200 kkal ısı açığa çıkar.
 3,2 g CH₄ yanarsa x

 $x = 40 \text{ kkal ısı açığa çıkar.}$
 2000 kal 1°C artırırsa
 40000 kal x

 $x = 20^\circ\text{C artar.}$

Bağın türü	Bağ enerjisi (kkal/mol)	Bağın türü	Bağ enerjisi (kkal/mol)
H-H	103	C-Cl	78
C-C	80	C-Br	54
C=C	145	C-I	45
C≡C	198	N-H	92
C-H	98	H-Cl	102
C-O	80	H-Br	87
C=O	173	H-I	71
O=O	118	O-O	33
O-H	110	S-S	51
Cl-Cl	57	N=N	200
Br-Br	46	N≡N	226
I-I	36	C-S	62

5. 6. BAĞ ENERJİLERİ

Bir moleküldeki atomları bir arada tutan kuvvete kimyasal bağ denir. Atomlar, arasında bağ oluşurken dışarı enerji verilir. Yani bağ oluşumları ekzotermiktir. Bir molekülde atomlar arasındaki bağları koparmak için ise enerji vermek gerekir. Yani bağ kırılması endotermiktir.

Bağ Enerjisi: Gaz hâlde bulunan bir mol moleküldeki bağları koparmak için gerekli enerjiye bağ enerjisi denir. Atomlar arasındaki bağ kuvveti arttıkça koparmak için gereken enerji artar.

Bir tepkimenin entalpisi, tepkime sırasında kopan bağların enerjileri toplamından, oluşan bağların enerjileri toplamı çıkarılarak hesaplanabilir.

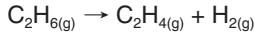
$$\Delta H_{\text{Tepkime}} = \Delta H_{\text{kırılan bağ}} - \Delta H_{\text{oluşan bağ}}$$

25°C'de bazı kimyasal bağ enerjileri şöyledir:

ÖRNEK

Bağ	Bağ enerjisi (kkal/mol)
H-H	104
C-C	83
C=C	143
C-H	98

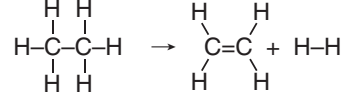
Bağ enerjileri verildiğine göre,



tepkimesinin entalpisi kaç kkal dir?

- A) 32 B) -32 C) 64
D) -64 E) 136

ÇÖZÜM



$$\Delta H_{\text{Tep}} = \Delta H_{\text{Kırılan}} - \Delta H_{\text{Oluşan}}$$

$$\Delta H_{\text{Tep}} = [(C-C) + 6(C-H)] - [(C=C) + 4(C-H) + (H-H)]$$

$$\Delta H_{\text{Tep}} = [83 + 6(98)] - [143 + 4(98) + 104]$$

$$\Delta H_{\text{Tep}} = 671 - 639 = 32 \text{ kkal}$$

Cevap A

ÖRNEK



olduğuna göre HF, HCl ve HBr moleküllerindeki bağ kuvvetlerinin sıralaması nasıldır?

- A) HF > HCl > HBr
B) HF > HBr > HCl
C) HCl > HF > HBr
D) HCl > HBr > HF
E) HBr > HCl > HF

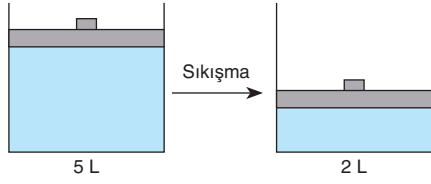
ÇÖZÜM

Ekzotermik tepkimelerden açığa çıkan ısı miktarı büyükse bağ enerjisi fazla ve oluşan bağ kuvvetli demektir. Bu durumda en kuvvetli bağ HCl, en zayıf ise HBr dedir.

Cevap C

Konu Kavrama Testleri

1.



Yukarıdaki pistonlu kaptaki bulunan gaz 5 L'den 2 L'ye adyabatik olarak sıkıştırılıyor. Buna göre,

I. ΔU ve q II. ΔU ve w III. q ve w

yukarıdakilerden hangilerinde verilen termodinamik büyüklükler birbirine eşittir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

2. Termodinamik ile ilgili,

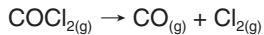
I. Sabit hacimde iç enerji değişimi ısı değişimine eşittir.

II. Sabit basınç altında iç enerjideki değişim, işe eşittir.

III. Sabit basınçta sisteme verilen ısı, sistemin entalpi değişimine eşittir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

3. 27°C 'de,

tepkimesinin entalpi değişimi $\Delta H = +2,4$ kJ/mol'dür. Bu tepkime sonucunda iç enerji değişimi ΔU kaç J/mol'dür? (R: 8,3 J/mol.K)

- A) -90,0 B) +90,0 C) -48,9
D) +48,9 E) -24,8

4. Bir miktar gaz 1. yolu izleyerek A'dan B'ye, sonra C'ye geliyor. 2. yolda ise A'dan C'ye doğrudan geliyor. Buna göre,

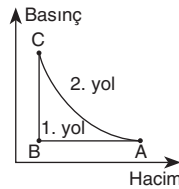
I. 1. Yol tersinmez, 2. yol tersinir sıkışmadır.

II. B'den C'ye geçişte sıcaklık artmıştır.

III. 1. yolda yapılan iş, 2. yolda yapılan işten daha azdır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I, II ve III



5. Pistonlu bir kaptaki 25°C 'de 0,1L'lik bir hacimde 1 mol He gazı bulunmaktadır. 2 atm sabit basınç altında gazın hacmi 0,5 L'ye adyabatik tersinmez olarak genişliyor. Buna göre,

I. Sistem çevreye 80,8 J iş yapmıştır.

II. İç enerji değişimi $\Delta U = +80,8$ J'dür.

III. Sistem ısı alışverişi yapmamıştır.

yargılarından hangileri doğrudur? (1L atm = 101J)

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) I, II ve III

6. Pistonlu bir kaptaki 27°C 'de 0,1 mol He gazı bulunmaktadır. Sabit basınç altında gazın hacmi 1 L'den 2 L'ye izotermal tersinir olarak genişliyor. Bu işlem sırasında yapılan iş kaç J'dür?

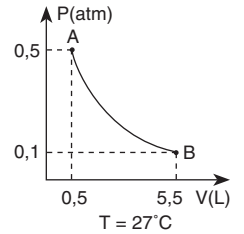
(R = 8,3 J/mol.K, $\ln 2 = 0,693$)

- A) -84,2 B) -93,4 C) -137,3
D) -172,6 E) -192,2

7. Yandaki grafiğe göre 1 mol gazın **izotermal genişleme** sonucunda iç enerji değişimi kaç kJ'dür?

(R: 8,3 J/mol.K, $\ln 11 = 2,4$, 1 L. atm = 100 J)

- A) -5,976 B) +5,976 C) -7,863
D) 7,863 E) 0



8. Adyabatik süreçlerle ilgili,

I. Isı şeklinde enerji aktarımı olmaz

II. İç enerji değişimi (ΔU) sıfırdır.III. $\Delta U = w$ 'dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

9. Bir miktar He gazının sıcaklığı 127°C 'den 27°C 'ye adyabatik tersinmez olarak düşürülüyor.

Sistemin iç enerjisindeki değişim $\Delta U = -1,8$ kJ olduğuna göre kaptaki kaç gram He gazı vardır?

($C_v = 36$ J/mol.K, He = 4 g/mol)

- A) 0,5 B) 1 C) 1,5 D) 2 E) 2,5

10. Bir silindirdaki gazı ısıtmak için 20 Watt gücündeki bir elektrikli ısıtıcı 1 dakika çalıştırılıyor. Bu durumda gaz 1,2 atm'lik sabit basınç altında 1L'den 6 L'ye genişliyor. Buna göre gazın iç enerjisindeki değişim kaç J'dür?

$$(1 \text{ w} = 1 \text{ J/s}, 1 \text{ L.atm} = 100 \text{ J})$$

- A) +600 B) -600 C) +1200
D) -1200 E) +1800

11. Bir cismin sıcaklığı arttığında,

- I. İç enerjisi
II. Entropisi
III. Hacmi

Yukarıdaki niceliklerden hangisi her zaman artar?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

12. 1 mol gazın hacmi izotermal tersinir olarak iki katına çıkarılıyor. Buna göre gazın entropisindeki değişim kaç J'dür?

$$(R = 8,3 \text{ J/mol.K}, \ln 2 = 0,693)$$

- A) -5,7519 B) +5,7519 C) -3,675
D) +3,675 E) +1,125

13. Asetonun normal kaynama noktası 56°C'dir. Bu sıcaklıktaki standart buharlaşma entalpisi 30 kJ/mol olduğuna göre, standart molar buharlaşma entropisi kaç J/mol'dür?

- A) 62,2 B) 73,4 C) 82,1
D) 91,2 E) 97,4

14. I. İzobarik sistem

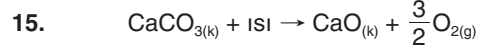
II. Adyabatik sistem

III. İzole sistem

IV. İzotropik sistem

Yukarıdaki sistemlerin hangilerinde ısı alışverişi olabilir?

- A) I ve III B) II ve III C) I ve IV
D) III ve IV E) I, III ve IV



İzobarik sistemde gerçekleşen yukarıdaki tepkimede,

- I. İç enerji azalır.
II. Sıcaklık azalır.
III. Basınç artar.

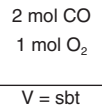
yukarıdaki dönüşümlerden hangisi gerçekleşir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

16. İdeal pistonlu bir kapta bulunan bir miktar gazın sıcaklığı artırılıyor. Buna göre aşağıdakilerden hangisi meydana gelmez?

- A) Gazın hacmi artar.
B) Gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjisi artar.
C) Sistemin iç enerjisi artar.
D) Sistemin entropisi artar.
E) Sistem üzerine iş yapılır.

17. Yandaki kapta bulunan gazlar artansız tepkimeye girdiğinde, açığa 160 kJ ısı çıkıyor.

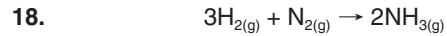


Buna göre,

- I. İç enerji değişimi $\Delta U = -160$ kJ'dür.
II. Tepkime entalpisi $\Delta H = -160$ kJ'dür.
III. $w = +160$ kJ'dür.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III



Yukarıda verilen tepkimenin entalpisi kaç kJ'dür?

Bağ enerjileri:

H-H: 436 kJ/mol

N≡N: 946 kJ/mol

N-H: 389 kJ/mol

- A) -80 B) +80 C) -993
D) +993 E) -1807

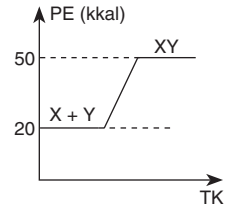
19. I. Odunun yanması
II. Suyun donması
III. Alkolün buharlaşması
Yukarıdaki olaylardan hangileri ekzotermiktir?
A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) I, II ve III

20. I. $\text{Na}_{(g)} \rightarrow \text{Na}^{+}_{(g)} + 1e$
II. $\text{H}_{2(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)}$
III. $\text{CaCO}_{3(k)} \rightarrow \text{CaO}_{(k)} + \text{CO}_{2(g)}$
Yukarıdaki tepkimelerden hangileri endotermiktir?
A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I ve III

21. $\text{CO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightarrow \text{COCl}_{2(g)}$
Tepkimesiyle ilgili olarak,
I. Ekzotermik tepkimedir.
II. COCl_2 'nin molar oluşum entalpisi -22 kkal dir.
III. COCl_2 'nin ün ısı kapsamı CO ve Cl_2 nin ısı kapsamı toplamından büyüktür.
Yargılarından hangileri doğrudur?
A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I ve III

22. $\text{C}_{\text{elmas}} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} \quad \Delta H = -94,5 \text{ kkal}$
 $\text{C}_{\text{grafit}} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} \quad \Delta H = -94 \text{ kkal}$
tepkimleri veriyor. Buna göre 1 mol grafiti 1 mol elmasa dönüştürmek için kaç kalori ısı gerekir?
A) 0,5 B) 1 C) 500
D) 1000 E) 5000

23. Şekildeki PE-TK grafiğine göre,
I. Tepkime endotermiktir.
II. Ürünler daha kararlıdır.
III. XY nin molar oluşum entalpisi $\Delta H = 30$ kkal'dir.
Yargılarından hangileri doğrudur?
A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) I, II ve III



24. Aşağıda üç ayrı bileşiğin elementlerinden oluşma ısıları verilmiştir.
 $\text{H}_{2(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{H}_2 \quad \Delta H = -57,8 \text{ kkal/mol}$
 $\text{C}_{(k)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} \quad \Delta H = -94,0 \text{ kkal/mol}$
 $2\text{C}_{(k)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(g) \quad \Delta H = -20,9 \text{ kkal/mol}$
Buna göre 15 g C_2H_6 yandığında en çok kaç kkal ısı açığa çıkar?
A) 340,5 B) 170,25 C) 113,5
D) 96,25 E) 62,75

25. Metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) in molar yanma entalpileri sırası ile -210 ve -370 kkal dir. Metan ve etan gaz karışımının 0,4 molü yakıldığında 100 kkal ısı açığa çıkmaktadır.
Buna göre karışımın kütlesi kaç gramdır?
(C = 12, H = 1)
A) 2,6 B) 3,9 C) 7,8
D) 15,6 E) 23,4

26. X tuzunun suda çözünme ısısı 20 kkal/mol dür. 100 ml 0,2M X çözeltisi hazırlandığında kaç kkal ısı açığa çıkar?
- A) 0,4 B) 0,8 C) 4 D) 8 E) 10
27. Bir tepkimenin entalpisi,
- I. Sıcaklık
II. Madde miktarı
III. Tepkimenin izlediği yol
niceliklerinden hangilerine bağlıdır?
- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) I ve III E) I, II ve III
28. $2X_{(k)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow X_2O_{(k)} \quad \Delta H = -40 \text{ kkal/mol}$
tepkimesine göre 12,8 g X yandığında 4 kkal ısı açığa çıkıyor.
Buna göre,
- I. X in molar yanma entalpisi -40 kkal dir.
II. $X_2O_{(k)}$ nun molar oluşma entalpisi -40 kkal'dir.
III. X in atom kütlesi 64 tür.
yargılarından hangileri doğrudur?
- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) II ve III E) I, II ve III
29. Camdan yapılmış bir kalorimetre kabında X gazının molar yanma ısını hesaplayabilmek için,
- I. X in mol sayısı
II. Kalorimetre kabı ve suyun kütlesi
III. Sıcaklık değişimi
IV. Suyun ve camın öz ısıları
niceliklerinden hangileri bilinmelidir?
- A) Yalnız I B) I, II ve III
C) II, III ve IV D) I ve III
E) I, II, III ve IV
30. $2N_2O_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{(g)} \quad \Delta H_1 = 33 \text{ kkal}$
 $2NO_{2(g)} \rightarrow 2NO_{(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H_2 = 27 \text{ kkal}$
olduğuna göre,
 $2N_2O_{(g)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)}$
tepkimesinin entalpisi kaç kkal dir?
- A) 21 B) -21 C) 42
D) -42 E) -63

Konu Kavrama Çözümleri

1. Adyabatik sistemlerde ısı alışverişi olmaz ve $q = 0$ dir.

$$\Delta U = q + w \quad q = 0 \text{ ise}$$

$$\Delta U = w' \text{dir.}$$

Cevap B

2. $\Delta V = 0$ ise $w = 0$ 'dir. $\Delta U = q$ olur.

$P = \text{sbt}$ ise $q = \Delta H$ 'dir. $\Delta U = \Delta H + w$ 'dir. İç enerji değişimi, entalpi değişimi ile işin toplamına eşittir.

Sabit basınçtaki ısı değişimi entalpiye eşittir.

Cevap C

3. $\Delta U = \Delta H - \Delta nRT \quad \Delta n = 2 - 1 = 1$

$$\Delta U = +2400 - (1 \cdot 8,3 \cdot 300)$$

$$\Delta U = -90 \text{ J}$$

Cevap A

4. 1. Yol tersinmez, 2. yol tersinir sıkışmaya aittir. B'den C'ye geçişte hacim sabit kaldığına göre basınç artışını sağlayan şey sıcaklık artışıdır. Tersinir yolda yapılan iş 2. yola ait eğrinin altında kalan alandır. Tersinmez yolda ise B-A doğrusu altında kalan alan işi verir. Bu durumda tersinir 2. yolda yapılan iş, tersinmez 1. yolda yapılan işten daha fazladır.

Cevap E

5. Adyabatik dönüşümlerde ısı alışverişi olmaz.

$$\Delta U = q + w \quad q = 0 \text{ ise } \Delta U = w$$

$$w = -P \cdot \Delta V = -2 \cdot (0,5 - 0,1) = -0,8 \text{ L} \cdot \text{atm}$$

$$w = -0,8 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \frac{101 \text{ J}}{1 \text{ L} \cdot \text{atm}} = -80,8 \text{ J}$$

$$\Delta U = w = -80,8 \text{ J}$$

Cevap D

6. Tersinir süreçte yapılan iş.

$$w = -nR T \ln \left(\frac{V_{\text{son}}}{V_{\text{ilk}}} \right)$$

$$w = -0,1 \cdot 8,3 \cdot 300 \ln \frac{2}{1}$$

$$w = -0,1 \cdot 8,3 \cdot 300 \cdot 0,693$$

$$w = -172,6 \text{ J}$$

Cevap D

7. A'dan B'ye parabolik geçiş genişlemenin tersinir olduğunu gösterir. Bu durumda yapılan w hesaplanabilir.

$$w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = -1 \cdot 8,3 \cdot 300 \cdot \ln \frac{5,5}{0,5}$$

$$w = -5976 \text{ J} = -5,976 \text{ kJ}$$

Ancak izotermal süreçlerde sıcaklık sabittir. Sabit sıcaklıkta ise iç enerji değişmez. $\Delta U = 0$ dir.

$$\Delta U = q + w$$

$$0 = q + (-5,976)$$

$$q = +5,976 \text{ kJ}$$

5,976 kJ ısı almıştır. Ancak bu ısıyı dışarıya aynı miktar iş olarak harcadığı için iç enerji değişmemiştir. $\Delta U = 0$ 'dir.

Cevap E

8. Adyabatik süreçlerde ısı alışverişi olmaz. $q = 0$ 'dir.

$$\Delta U = q + w \quad q = 0 \text{ ise } \Delta U = w' \text{dir.}$$

Cevap C

9. $\Delta U = n \cdot C_v \cdot \Delta T$

$$-1800 = n \cdot 36 \cdot (27 - 127)$$

$$n = 0,5 \text{ mol He}$$

$$m = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ g He vardır.}$$

Cevap D

10. 1 watt = 1 J/s ise 20 Watt = 20 J/s

$$1 \text{ s'de } \quad 20 \text{ J}$$

$$60 \text{ s'de } \quad ?$$

$$x = 1200 \text{ J}$$

$$\Delta U = q - P \Delta V$$

$$\Delta U = 1200 - (1,2 \text{ atm} \cdot 5 \text{ L} \cdot 100 \frac{\text{J}}{\text{L} \cdot \text{atm}})$$

$$\Delta U = +600 \text{ J}$$

Cevap A

11. İç enerji ve entropi sıcaklık artışı ile her zaman artar. Ancak sabit hacimli kapta hacim değişmez.

Cevap D

12. $\Delta U = 0 \quad 0 = q_{\text{ter}} + w \quad q_{\text{ter}} = -w$

$$w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = \frac{q_{\text{ter}}}{T} = \frac{-w}{T} = \frac{-nRT \ln \frac{V_2}{V_1}}{T}$$

$$\Delta S = 8,3 \cdot 0,693 = +5,7519$$

Cevap B

13. Kaynama gibi hal değişimi olayları tersinir olduğu için,

$$\Delta S_{\text{buh}}^{\circ} = \frac{\Delta H_{\text{buh}}^{\circ}}{T_K}$$

$$\Delta S_{\text{buh}}^{\circ} = \frac{30\,000 \text{ J/molK}}{(273 + 56) \text{ K}} = +91,2 \text{ J/mol}$$

Cevap D

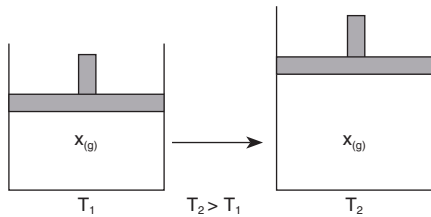
14. Adyabatik sistemde madde alışverişi olabilir, ancak ısı alışverişi olmaz. İzole sistemde ise hem madde alışverişi hem de ısı alışverişi olmaz.

Cevap C

15. Endotermik olaylarda sıcaklık azalır. Bu nedenle iç enerjide azalır. Ancak izobarik sistemde basınç sabittir.

Cevap D

16.



Sıcaklık arttığında gaz genişler. Hacmi artar ve sistem ortama iş yapar. Sistem üzerine iş yapılmaz.

Cevap E

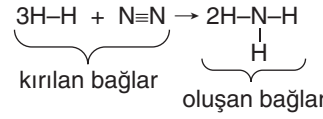
17. Sabit hacimde gerçekleşen olaylarda açığa çıkan ısı q ile gösterilir ve entalpi (H) olarak adlandırılmaz. Sabit basınç altındaki ısı değişimleri tepkime entalpisi ΔH 'dir. İkinci öncül $q_v = -160 \text{ kJ}$ olmadığı için yanlıştır. Sabit hacimde $W = 0$ olur.

$$\Delta U = q_v + w \quad w = 0 \quad q_v = -160 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = -160 \text{ kJ}$$

Cevap A

18. $\Delta H = \Delta H_{\text{kırılan bağlar}} - \Delta H_{\text{oluşan bağlar}}$



$$\Delta H = [3(\text{H-H}) + (\text{N}\equiv\text{N})] - [6(\text{N-H})]$$

$$\Delta H = (3 \cdot 436 + 946) - (6 \cdot 389)$$

$$\Delta H = -80 \text{ kJ}$$

Cevap A

19. Odun yandığında dışarı ısı verir. Su donarken dışarı ısı verir. Bu olaylar ekzotermiktir. Ancak bir sıvının buharlaşması için dışarıdan ısı alması gerekir. Alkolün buharlaşması endotermiktir.

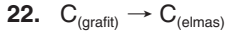
Cevap C

20. I. tepkime ısı olarak gerçekleşiyor endotermiktir. Bir tepkimedeki $\Delta H < 0$ ise ekzotermik, $\Delta H > 0$ ise endotermiktir. Bu nedenle III. tepkime de endotermiktir.

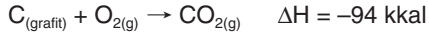
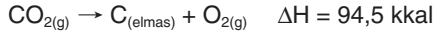
Cevap E

21. CO element olmadığı için tepkimenin entalpisi molar oluşum entalpisi olarak adlandırılmaz. COCl_2 'nin ısı kapsamı CO ve Cl_2 'nin ısı kapsamından 22 kkal daha azdır.

Cevap A



tepkimesinin molar dönüşüm entalpisi soruluyor. Birinci denklem ters çevrilip toplanırsa



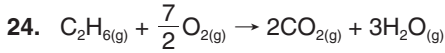
$$\Delta H = 0,5 \text{ kkal} = 500 \text{ kal}$$

Cevap C

23. $\Delta H = \Delta H_U - \Delta H_G = 50 - 20 = 30 \text{ kkal}$

$\Delta H > 0$ olduğuna göre tepkime endotermiktir. Düşük enerjili hal daha kararlıdır. XY nin enerjisi X ve Y nin enerjisinden fazla olduğu için kararsızdır.

Cevap D



$$\Delta H = \Delta H_U - \Delta H_G$$

$$\Delta H [2\Delta H_{CO_2} + 3\Delta H_{H_2O}] - [\Delta H_{C_2H_6} + \frac{7}{2} \Delta H_{O_2}]$$

$$\Delta H = [2 \cdot (-94) + 3(-57,8)] - [(-20,9) + (0)]$$

$$\Delta H = -340,5 \text{ kkal/mol}$$

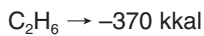
$$30 \text{ g } C_2H_6 \quad 340,5 \text{ kkal ısı verilir.}$$

$$15 \text{ g } C_2H_6 \quad x = 170,25 \text{ kkal ısı açığa çıkar.}$$

Cevap B



$$x \text{ mol} \quad 210x \text{ kkal}$$



$$y \text{ mol} \quad 370y \text{ kkal}$$

$$x + y = 0,4 \quad 210x + 370y = 100$$

$$x = 0,3 \text{ mol} \quad m_{CH_4} = 0,3 \cdot 16 = 4,8 \text{ g } CH_4$$

$$y = 0,1 \text{ mol} \quad m_{C_2H_6} = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ g } C_2H_6$$

Toplam 7,8 g karışım vardır.

Cevap C

26. $M = \frac{n}{V} \quad n_x = 0,2 \cdot 0,1$
 $n_x = 0,02 \text{ mol X çözünmüş.}$

$$1 \text{ mol X çözündüğünde} \quad 20 \text{ kkal ısı çıkıyor.}$$

$$0,02 \text{ mol X çözündüğünde} \quad X$$

$$X = 0,4 \text{ kkal ısı açığa çıkar.}$$

Cevap A

27. Tepkime entalpisi sıcaklık ve madde miktarına bağlıdır. Ancak tepkimenin izlediği yola bağlı değildir. Entalpi bir hal fonksiyonudur.

Cevap C

28. 2 mol X yandığı için molar yanma entalpisi değildir. 1 mol X_2O nun elementlerinden oluşma ısısıdır.

$$2 \text{ mol X} \quad 40 \text{ kkal}$$

$$x \quad 4 \text{ kkal}$$

$$x = 0,2 \text{ mol X} \quad 12,8 \text{ g}$$

$$1 \text{ mol X} \quad ? = 64 \text{ g/mol}$$

Cevap D

29. $Q_{alınan} = m_{su} \cdot c_{su} \Delta t + m_{kap} c_{kap} \cdot \Delta t$

Alınan ısıyı hesaplayabilmek için II, III ve IV bilinmelidir.

Molar yanma ısısı hesaplayabilmek içinse X in mol sayısı yani I'de bilinmelidir.

Cevap E

30. İkinci tepkime ters çevrilip ikiyle çarpılarak birinci tepkime ile toplanır.

$$\Delta H = \Delta H_1 + (-2\Delta H_2)$$

$$\Delta H = 33 + -2(27) = -21 \text{ kkal}$$

Cevap B

FİZİKOKİMYA – 5

KİMYASAL TEPKİMELEERDE DENGİ

- ✓ MİNİMUM ENERJİ – MAKSİMUM DÜZENSİZLİK EĞİLİMİ
- ✓ DENGİ SABİTİ
- ✓ DENGİ SABİTİNİN DEĞİŞİMİ
- ✓ KİSMİ BASINÇLAR TÜRÜNDEN DENGİ SABİTİ
- ✓ DENGİ KESRİ – DENGİNİN KONTROLÜ
- ✓ DENGİYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER
 - ↳ Derişimin Etkisi
 - ↳ Basınç ve Hacim Etkisi
 - ↳ Sıcaklığın Etkisi
 - ↳ Dengeye Etki İle İlgili Sayısal Hesaplamalar
- ✓ SERBEST ENERJİ VE DENGİ SABİTİ

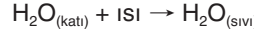
KİMYASAL TEPKİMELEERDE DENGE

1. MİNİMUM ENERJİ-MAKSİMUM DÜZENSİZLİK EĞİLİMİ

1.1. Minimum enerji eğilimi: Doğadaki bütün maddeler en düşük enerjiye sahip olma eğilimindedirler. Örneğin bir ağaçtaki elma kendiliğinden yere düşebilir. Bu durumda sahip olduğu potansiyel enerjiyi minimuma indirir. Bu durum maddenin en düşük enerjiye yani minimum enerjiye, sahip olma eğiliminin göstergesidir.

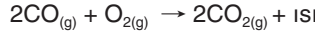
- Bir maddenin katı hâlinin enerjisi en düşük, gaz hâlinin enerjisi en yüksektir.
- Endotermik olaylarda minimum enerji eğilimi girenler tarafından. Ekzotermik olaylarda ise minimum enerji eğilimi ürünler tarafından.

ÖRNEK



$\text{H}_2\text{O}_{(kati)}$ tanecikleri dışardan enerji alarak yani enerjisini artırarak $\text{H}_2\text{O}_{(sivi)}$ hâline geçmektedir. Öyleyse $\text{H}_2\text{O}_{(kati)}$ nın enerjisi düşük, $\text{H}_2\text{O}_{(sivi)}$ nın enerjisi yüksektir. Minimum enerji eğilimi girenler ($\text{H}_2\text{O}_{(kati)}$) tarafından.

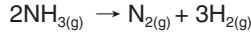
ÖRNEK



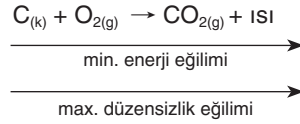
Bu tepkimede ise CO in yanması sonucu dışarı enerji verilmiştir. CO ve O₂ nin sahip olduğu enerjinin bir kısmı reaksiyon sırasında dışarı verilmiştir. Yani girenler enerji kaybederek ürünlere dönüşmüştür. Girenlerin enerjisi yüksek ürünlerin enerjisi düşüktür. Minimum enerji eğilimi ürünler ($\text{CO}_{2(g)}$) yönündedir.

1.2. Maksimum düzensizlik eğilimi: Maddeler aynı zamanda daha düzensiz olma eğilimindedir. Bir bardaktaki suyun buharlaşması sırasında su molekülleri düzenli bir hâlden düzensiz bir hâle geçmektedir. Bu olay kendiliğinden gerçekleştiğine göre maddeler maksimum düzensiz olma eğilimindedir.

- Taneciklerin hareketlerinin artması yani daha serbest hareket etmeleri düzensizliği artırır.
- Katıların sıvılarda çözünmesi sırasında katı taneciklerin hareketi artacağı için düzensizlik artar. Gazların sıvılarda çözünmesi sırasında hareketleri kısıtlanacağından düzensizliği azalır.
- Gazlar sıvılara göre sıvılarda katılara göre daha düzensizdir.
- Gaz tepkimelerinde maksimum düzensizlik eğilimi gaz katsayıları toplamının çok olduğu tarafa doğrudur.

ÖRNEK

Girenlerin katsayıları toplamı 2, ürünlerin katsayıları toplamı 4 tür. Maksimum düzensizlik ürünler lehinedir. Çünkü azot ve hidrojen atomları birbirinden ayrılarak daha serbest hareket etmektedirler.

ÖRNEK

Katı karbon (C), tepkime sonrası gaz hâldeki CO₂'e dönüştüğüne göre maksimum düzensizlik eğilimi ürünler yönüne doğrudur.

Tepkime ekzotermik olduğu için minimum enerji eğilimi de ürünler yönüne doğrudur. Bu tepkimede her iki eğilimde ürünler yönünde olduğu için tepkime sağa doğru kendiliğinden yürür. Tek yönlü bir tepkimedir, CO₂ tekrar C ve O₂ oluşturmaz.

Fiziksel ve kimyasal olaylarda minimum enerji ve maksimum düzensizlik eğilimleri zıt yönlü ise tepkimeye giren maddelerin tamamı ürüne dönüşemez. Çünkü tepkime zıt yönde de ilerleyebilir. Ürünler tekrar girenlere dönüşebilir.

Girenlerin tepkime başlangıcında derişimleri fazla olduğu için hızlı bir şekilde ürünlere dönüşür. Zamanla derişimleri azalacağından ürünlere dönüşme hızı da azalır. Eş zamanlı olarak ürünlerin derişimi artacağından ürünlerin girenlere dönüşme hızı artar.

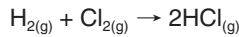
Bir süre sonra ürünlerin girenlere dönüşme hızı girenlerin ürünlere dönüşme hızına eşit olur. Bu arada denge kurulmuştur. Fiziksel ve kimyasal olayların bu hâline **denge hâli** denir.

Ancak denge durağan bir hâl değildir. Dinamik bir denge söz konusudur. Dengede makroskobik (gözlenebilen) olaylar durmuştur fakat mikroskobik (gözlenemeyen) olaylar devam etmektedir.

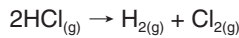
Ürünlerin ve girenlerin derişimleri sabit olmasına rağmen ürünler girenlere, girenler de ürünlere dönüşmeye devam etmektedir. Bu iki dönüşüm hızı birbirine eşittir.

ÖRNEK

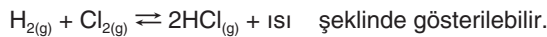
Kapalı bir kaptaki H₂ ve Cl₂ gazları birleşerek HCl oluşturur.



Zamanla H₂ ve Cl₂ miktarı azalırken HCl miktarı artar. Fakat oluşan HCl gazı da tekrar parçalanarak H₂ ve Cl₂ gazlarına dönüşürken,



tepkimesi gerçekleşir. Bu iki tepkime hızı eşit olduğunda HCl, H₂ ve Cl₂'nin derişimi sabit kalır. Aslında iki yönde de tepkime devam etmektedir. Ama birleşme ve parçalanma eşit hızda olduğu için derişimleri değişmez. Bu denge tepkimesi,



- Bu tepkimede minimum enerji eğilimi ürünler yönüne, maksimum düzensizlik eğilimi girenler yönüne doğrudur. Tepkime bu eğilimin etkisiyle belirli bir süre sonra dengeye ulaşmıştır.
- Bu tepkime kapalı bir kaptaki gerçekleşmeseydi oluşan ürünler ortamdaki uzaklaşacağı için denge kurulamazdı. Sıcaklık sabit olmasaydı tepkimenin hızı ve birim zamanda oluşan madde miktarı sabit olmayacağından denge kurulamazdı.

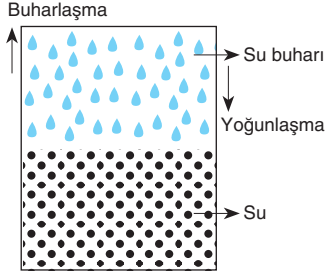
**NOT**

Fiziksel veya kimyasal olaylarda minimum enerji eğilimi ve maksimum düzensizlik eğilimi aynı yöne doğru ise bu olay tek yönlü olup kendiliğinden gerçekleşir.

Fiziksel ve kimyasal bir dengein kurulabilmesi için

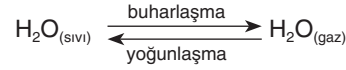
1. Sistem kapalı olmalıdır.
2. Sıcaklık sabit olmalıdır.

Fiziksel Denge

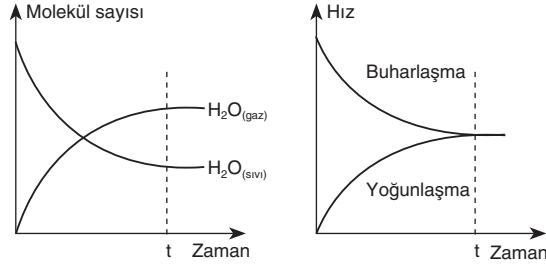


Kapalı bir kap içine sabit sıcaklıkta bir miktar su koyulsun. Su moleküllerinin hepsi aynı enerjiye sahip değildir. Yüksek enerjili yüzeydeki moleküller sıvıdan koparak gaz hâle geçer. Zamanla gaz moleküllerinin sayısı artar.

Sıvı molekülleri gaz hâle geçerken, gaz hâledeki su molekülleri de sıvının yüzeyine çarpıp tekrar sıvıya dönmeye başlar.



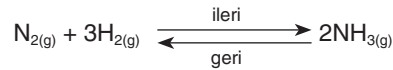
Zamanla buharlaşma hızı azalır, yoğunlaşma hızı artar. Bu iki zıt olayın hızı eşit olduğunda sistem dengeye ulaşır. Sıvılaştıran gaz kadar sıvı buharlaştığı için denge hâlinde gaz moleküllerinin sayısı değişmez.



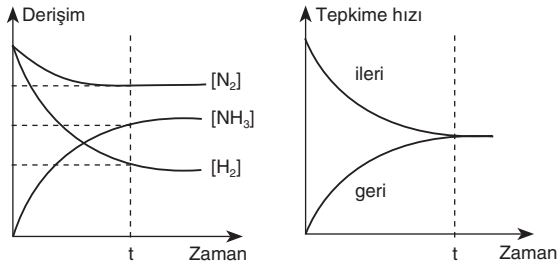
t anında tepkime durmamıştır, dengeye ulaşmıştır.

Kimyasal Denge

Kapalı bir kaptaki H_2 ve N_2 gazları tepkimeye girsin. Tepkime başlamadan önce kaptaki NH_3 gazı yoktur. N_2 ve H_2 birleşerek NH_3 gazına dönüşmeye başlar. Kaptaki N_2 ve H_2 miktarı zamanla azalırken NH_3 miktarı artar. Bu dönüşüm sırasında NH_3 molekülleri birbirleriyle çarpışarak N_2 ve H_2 gazlarına tekrar dönüşür.



İleri tepkime giderek yavaşlarken geri tepkime giderek hızlanır. Bir süre sonra ileri tepkime hızı geri tepkime hızına eşit olur ve sistem dengeye ulaşır.



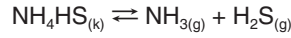
t anında denge kurulmuştur. İleri tepkime hızı geri tepkime hızına eşittir. Dönüşüm devam etmektedir ama N_2 , H_2 ve NH_3 derişimleri sabittir.

Denge Derişimleri: Denge hâlinde bulunan bir kimyasal sistemde maddelerin sabit olan molar derişimlerine denge derişimleri denir.

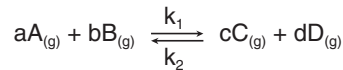
Homojen Denge: Denge tepkimelerinde maddelerin hepsi aynı fazda ise homojen denge vardır.



Heterojen Denge: Denge tepkimelerindeki maddeler farklı fazlarda ise heterojen denge vardır.



2. DENGE SABİTİ



tepkimesinde ileri ve geri tepkimelerin hız bağıntıları yazılırsa,

$$\text{ileri tepkime hızı} = \vartheta_1 = k_1 [\text{A}]^a [\text{B}]^b$$

$$\text{geri tepkime hızı} = \vartheta_2 = k_2 [\text{C}]^c [\text{D}]^d$$

Sistem dengede olduğunda ileri tepkime hızı ϑ_1 , geri tepkime hızı ϑ_2 ye eşit olacaktır.

$$\vartheta_1 = \vartheta_2$$

$$k_1 [\text{A}]^a [\text{B}]^b = k_2 [\text{C}]^c [\text{D}]^d$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} \quad \frac{k_1}{k_2} = K_c \quad (\text{Derişimler türünden denge sabiti})$$

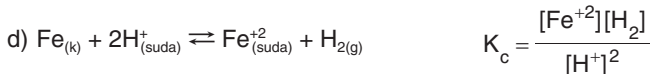
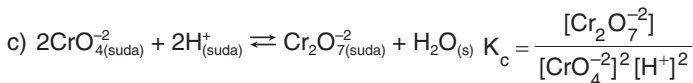
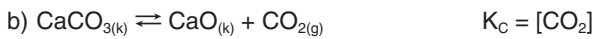
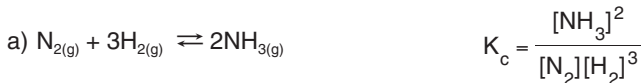
$$K_c = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$$

Bir denge tepkimesinde denge anında ürünlerin molar derişimlerinin çarpımının, girenlerin molar derişimlerinin çarpımına oranı sabittir. Bu sabit orana **denge sabiti** denir.

- K_c : Sadece sıcaklıkla değişir.
- Denge bağıntısında sulu çözeltiler ve gaz hâldeki maddeler yer alır. Saf katı ve sıvıların derişimleri değişmediği için dengeye etkisi yoktur. Denge ifadesinde yer almazlar.
- Denge bağıntısı tepkime mekanizmasına bağlı değildir. Toplu denkleme bağılıdır ve toplu denkleme göre yazılır.

ÖRNEK

Bazı tepkimelerin denge bağıntısı şöyledir:



NOT

- Denge sabit sıcaklıkta kapalı sistemlerde kurulabilir.
- Denge ileri ve geri tepkime hızları eşittir.
- Denge dinamikdir. Yani dengede gözlenebilen olaylar (renk değişimi, basınç iletkenlik değişimi ...) durur. Gözlenemeyen olaylar devam eder.
- Denge bütün bileşenlerin derişimi sabittir.
- Denge minimum enerji-maksimum düzensizlik eğilimi arasındaki uzlaşmadır.



NOT

Gerçekte denge bağıntısında maddelere ait aktifliklerin kullanılması gerekir. Ancak seyreltik çözeltilerde aktiflik derişime eşit kabul edildiği için bağıntıda derişimler kullanılabilir.

ÖRNEK

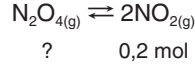
Belli bir sıcaklıkta 2 L'lik bir kaptan,



denkleminde göre N_2O_4 ve NO_2 gazları tepkimeye giriyor.

Denge anında 0,2 mol NO_2 bulunmaktadır. $K_c = 4$ olduğuna göre N_2O_4 'ün denge derişimi nedir?

ÇÖZÜM

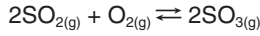


$$[\text{NO}_2] = \frac{0,2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,1 \text{ M}$$

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \Rightarrow \frac{(0,1)^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = 4$$

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = 0,0025 \text{ M}$$

ÖRNEK



tepkimesi sabit sıcaklıkta 2 L lik bir kaba 0,6 mol SO_2 ve 0,5 mol O_2 koyularak başlatılıyor. Bir süre sonra denge kurulduğunda kaptan 0,2 mol SO_3 bulunduğuna göre,

a) Dengedeki SO_2 ve O_2 mol sayıları nedir?

b) K_c nin sayısal değeri nedir?

ÇÖZÜM

a)			
2SO_2	+	O_2	$\rightleftharpoons 2\text{SO}_3$
Başlangıç :	0,6 mol	0,5 mol	–
Değişim :	–0,2 mol	–0,1 mol	+0,2 mol
Dengede :	0,4 mol	0,4 mol	0,2 mol

b) Hacim 2 L olduğu için

$$[\text{SO}_2] = \frac{0,4 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,2 \text{ M}$$

$$[\text{O}_2] = \frac{0,4 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,2 \text{ M}$$

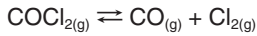
$$[\text{SO}_3] = \frac{0,2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0,1 \text{ M}$$

$$K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{(0,1)^2}{(0,2)^2(0,2)} = 1,25$$

ÖRNEK

1 L lik bir kaba 4 mol COCl_2 gazı koyuluyor.

Sabit sıcaklıkta,



tepkimesine göre COCl_2 nin %20 si ayrıştığında denge kuruluyor. Buna göre denge sabiti (K_c) kaçtır?

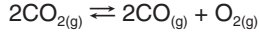
ÇÖZÜM

$$4 \text{ mol} \cdot \frac{20}{100} = 0,8 \text{ mol } \text{COCl}_2 \text{ ayrışıyor.}$$

$\text{COCl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$			
Başlangıç :	4 mol	–	–
Değişim :	–0,8 mol	+0,8 mol	+0,8 mol
Dengede :	3,2 mol	0,8 mol	0,8 mol

Hacim 1 L olduğu için mol sayısı derişime eşittir.

$$K_c = \frac{[\text{CO}][\text{Cl}_2]}{[\text{COCl}_2]} = \frac{(0,8)(0,8)}{(3,2)} = 0,2$$

ÖRNEK

Tepkimesine göre 1 L lik bir kaptaki 8 mol CO_2 gazı CO ve O_2 gazlarına dönüşüyor.

Denge kurulduğunda kaptaki toplam 10 mol gaz bulunduğuna göre denge sabiti K_c kaçtır?

ÇÖZÜM

Başlangıç :	8 mol	-	-
Değişim :	-2 x	+2 x	+x
Dengede :	(8 - 2x) mol	2x mol	x mol

Dengedeki toplam gaz karışımı 10 mol olduğuna göre
 $(8 - 2x) + 2x + x = 10$

$$x = 2 \text{ mol}$$

Dengede 4 mol CO_2 , 4 mol CO ve 2 mol O_2 bulunur.

$$K_c = \frac{[\text{CO}]^2 [\text{O}_2]}{[\text{CO}_2]^2} = \frac{4^2 \cdot 2}{4^2} = 2$$

ÖRNEK

Tepkimesi için derişimler cinsinden denge sabiti

$K_c = 1,8$ 'dir. 2 litrelik bir kaba bir miktar PCl_5 gazı konuyor.

Sistem dengeye ulaştığında ortamda 2,4 mol Cl_2 gazı bulunduğuna göre başlangıçta alınan PCl_5 gazı kaç moldür?

- A) 3 B) 4 C) 5 D) 6 E) 8

ÇÖZÜM

Başlangıç :	n mol	-	-
Değişim :	-x mol	+x mol	+x mol
Dengede :	(n - x) mol	x mol	x mol

Dengede bulunan Cl_2 gazı $x = 2,4$ mol'dür.

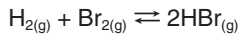
Denge derişimleri,

$$[\text{PCl}_3] = \frac{n - 2,4}{2} \text{ M}$$

$$[\text{PCl}_3] = \frac{2,4}{2} = 1,2 \text{ M} \quad [\text{Cl}_2] = \frac{2,4}{2} = 1,2 \text{ M}$$

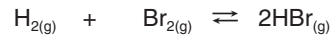
$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} \text{ ise } 1,8 = \frac{1,2 \cdot 1,2}{\frac{n - 2,4}{2}}$$

$$n = 4 \text{ mol}$$

Cevap B**ÖRNEK**

tepkimesine göre belli bir sıcaklıkta 1 L lik bir kaba konulan 0,3 mol H_2 ve 0,3 mol Br_2 dengeye ulaşıyor.

$K_c = 0,16$ olduğuna göre denge anında kaptaki kaç mol HBr gazı bulunur?

ÇÖZÜM

Başlangıç :	0,3 mol	0,3 mol	-
Değişim :	-x	-x	+2x
Dengede :	(0,3 - x)	(0,3 - x)	2x

$$K_c = \frac{[\text{HBr}]^2}{[\text{H}_2][\text{Br}_2]} \Rightarrow 0,16 = \frac{(2x)^2}{(0,3 - x)^2}$$

$$0,4 = \frac{2x}{0,3 - x} \Rightarrow x = 0,05$$

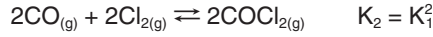
$x = 0,05$ olduğuna göre 0,1 mol HBr bulunur.

3. DENGE SABİTİNİN DEĞİŞİMİ

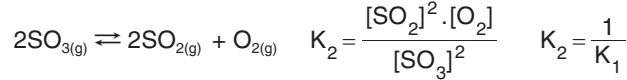
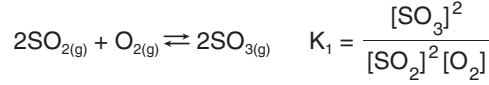
1. Bir tepkime denklemini herhangi bir sayı ile çarpılırsa bu sayı K_c 'ye üs olarak yazılır.



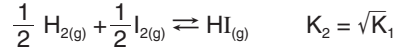
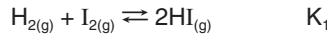
Tepkime denkleminin katsayıları 2 ile çarpılırsa



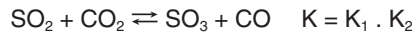
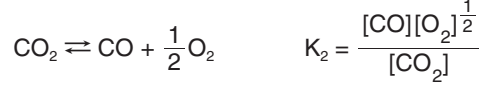
2. Bir tepkime denklemini ters çevrilirse K_c de ters çevrilir.



3. Bir tepkime denkleminin katsayıları 2 ye bölünürse ($\frac{1}{2}$ ile çarpılırsa) K_c nin karekökü alınır.



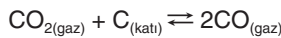
4. Bir tepkime iki ya da daha fazla tepkimenin toplamı ise tepkimenin denge sabiti toplanan tepkimelerin denge sabitlerinin çarpımına eşit olur.



$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{[\text{SO}_3]}{[\text{SO}_2][\text{O}_2]^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{[\text{CO}][\text{O}_2]^{\frac{1}{2}}}{[\text{CO}_2]}$$

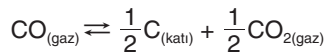
$$K = \frac{[\text{SO}_3][\text{CO}]}{[\text{SO}_2][\text{CO}_2]}$$

ÖRNEK



tepkimesinin T sıcaklığında denge sabiti K_1 'dir.

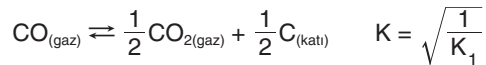
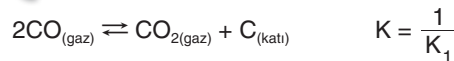
Buna göre;



tepkimesinin aynı sıcaklıktaki denge sabiti nedir?

- A) $\frac{1}{K_1}$ B) $\frac{1}{\sqrt{K_1}}$ C) K_1 D) $2K_1$ E) $\sqrt{K_1}$

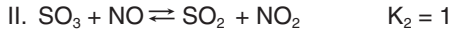
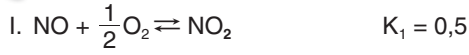
ÇÖZÜM



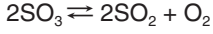
ya da $K = \frac{1}{\sqrt{K_1}}$ dir.

Verilen tepkime önce ters çevrildi, sonra $\frac{1}{2}$ ile çarpıldı.

Cevap B'dir.

ÖRNEK

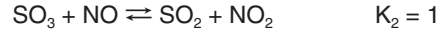
olduğu bilinmektedir. Buna göre,



tepkimesinin denge sabiti kaçtır?

ÇÖZÜM

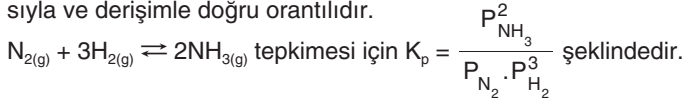
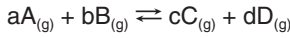
Denge sabiti istenen tepkimeyi elde etmek için I. tepkime ters çevrilir. II. tepkime ile toplanır.



Sonra elde edilen tepkime 2 ile çarpılır.

**4. KISMİ BASINÇLAR TÜRÜNDEN DENGE SABİTİ (K_p)**

Eğer denge tepkimesi gaz fazında gerçekleşiyor ise denge derişimleri yerine denge bağıntısında gazların kısmi basınçları da kullanılabilir. Çünkü kısmi basınç mol sayısı ve derişimle doğru orantılıdır.

 **K_p - K_c ilişkisi**

tepkimesi için denge bağıntısı derişimler cinsinden, $K_c = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$

Kısmi basınçlar cinsinden $K_p = \frac{P_C^c P_D^d}{P_A^a P_B^b}$ şeklindedir.

İdeal gaz denkleminde $PV = nRT \Rightarrow \frac{n}{V} = \frac{P}{RT} \Rightarrow M = \frac{P}{RT}$ yazılabilir.

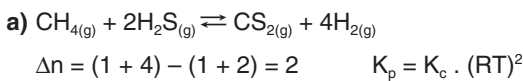
K_c ile K_p arasındaki ilişkiyi bulmak için molar derişimin basınç cinsinden ifadesini denge bağıntısında yerine yazabiliriz.

$$K_c = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} = \frac{\left[\frac{P_C}{RT}\right]^c \left[\frac{P_D}{RT}\right]^d}{\left[\frac{P_A}{RT}\right]^a \left[\frac{P_B}{RT}\right]^b} \Rightarrow K_c = \frac{P_C^c P_D^d}{P_A^a P_B^b} \cdot \left(\frac{1}{RT}\right)^{(c+d)-(a+b)}$$

$$K_c = K_p \cdot \frac{1}{(RT)^{\Delta n}} \text{ ya da } K_p = K_c \cdot (RT)^{\Delta n} \text{ olur.}$$

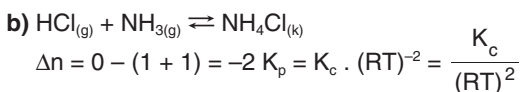
ÖRNEK

Aşağıdaki tepkimelerden K_p ile K_c arasındaki ilişki nasıldır?

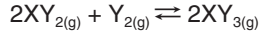


$$\Delta n = 1 - (1 + 1) = -1$$

$$K_p = K_c \cdot (RT)^{-1} = \frac{K_c}{RT}$$



ÖRNEK



tepkimesine göre 0°C'de dengedeki XY_2 gazının kısmi basıncı 0,2 atm; XY_3 ün kısmi basıncı 0,1 atm dir.

Kısmi basınçlar cinsinden denge sabiti $K_p = 0,25$ olduğuna göre Y_2 nin kısmi basıncı kaç atm dir? Derişim cinsinden denge sabiti K_C kaçtır?

ÇÖZÜM

$$K_p = \frac{P_{XY_3}^2}{P_{XY_2}^2 \cdot P_{Y_2}}$$

$$0,25 = \frac{(0,1)^2}{(0,2)^2 \cdot P_{Y_2}}$$

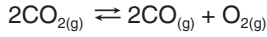
$$P_{Y_2} = 1 \text{ atm'dir.}$$

$$K_p = K_C \cdot (RT)^{\Delta n}$$

$$0,25 = K_C \cdot \left(\frac{22,4}{273} \cdot 273 \right)^{-1}$$

$$K_C = 5,6$$

ÖRNEK



0,8 mol CO_2 gazı 1 L'lik bir kaba konuyor. 0,2 mol O_2 oluştuğunda tepkime dengeye ulaşıyor.

Denge anında kaptaki toplam basınç 2,5 atm olduğuna göre kısmi basınçlar cinsinden denge sabiti (K_p) kaçtır?

A) 0,2 B) 0,3 C) 0,5 D) 0,8 E) 1,0

ÇÖZÜM



Başlangıç :	0,8 mol	-	-
Değişim :	-2x	+2x	+x
Dengede :	(0,8 - 2x)	2x	x

$$\text{Denge, } x = n_{O_2} = 0,2 \text{ mol}$$

$$n_T = 1 \text{ mol, } P_T = 2,5 \text{ atm}$$

$$n_{CO_2} = 0,8 - 2 \cdot (0,2) = 0,4 \text{ mol}$$

$$P_{CO_2} = 1 \text{ atm}$$

$$n_{CO} = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ mol}$$

$$P_{CO} = 1 \text{ atm}$$

$$n_{O_2} = 0,2 \text{ mol}$$

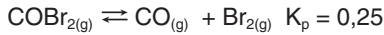
$$P_{O_2} = 0,5 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{P_{CO}^2 \cdot P_{O_2}}{P_{CO_2}^2} = \frac{1^2 \cdot 0,5}{1^2} = 0,5$$

Cevap C'dir.

ÖRNEK

2 mol $COBr_2$ gazı sabit sıcaklıkta;



tepkimesine göre ayrışıyor. Sabit sıcaklıkta sistem dengeye ulaştığında CO gazının mol kesri 0,2 olduğuna göre dengede,

- I. 0,5 mol Br_2 gazı bulunur.
- II. $COBr_2$ 'nin kısmi basıncı 1,5 atm'dir.
- III. Toplam gaz basıncı 3,75 atm'dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I ve III

ÇÖZÜM



Başlangıç :	2 mol	-	-
Değişim :	-x	+x	+x
Dengede :	2 - x	x	x

$$\text{Dengede; } n_T = 2 + x$$

$$\text{Dengede, } X_{CO} = \frac{x}{2+x} = 0,2$$

$$x = 0,5 \text{ mol}$$

$$n_{COBr_2} = 1,5 \text{ mol}$$

$$P_{COBr_2} = 1,5 P$$

$$n_{CO} = 0,5 \text{ mol}$$

$$P_{CO} = 0,5 P$$

$$n_{Br_2} = 0,5 \text{ mol}$$

$$P_{Br_2} = 0,5 P$$

$$K_p = \frac{P_{CO} \cdot P_{Br_2}}{P_{COBr_2}}$$

$$0,25 = \frac{0,5P \cdot 0,5P}{1,5P}$$

$$P = 1,5 \text{ atm}$$

$$P_{COBr_2} = 1,5 \cdot 1,5 = 2,25 \text{ atm}$$

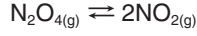
$$P_{CO} = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ atm}$$

$$P_{Br_2} = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ atm}$$

$$P_{\text{Toplam}} = 3,75 \text{ atm}$$

Cevap E'dir.

ÖRNEK



N_2O_4 ve NO_2 gaz karışımı 273 K'de 1,4 atm basınçta yoğunluğu 5,175 g/L'dir. Dengeye gelen bu sistemde,

- I. Gaz karışımının ortalama mol kütlesi 82,8 g/L'dir.
 II. NO_2 'nin mol kesri 0,2'dir.
 III. Dengeye gelen N_2O_4 'ün kısmi basıncı 1,12 atm'dir.
 yargılarından hangileri doğrudur?
 (N: 14, O: 16 g/mol)

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve II E) I, II ve III

ÇÖZÜM

Dengeye gelen sistemde gaz yoğunluğu $P \cdot M_A = d \cdot R \cdot T$ formülü ile bulunabilir.

$$1,4 \cdot M_A = 5,175 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$M_A = 82,8 \text{ g/mol'dür.}$$

Bir karışımda mol kesirleri toplamı 1'dir. Ortalama M_A , kullanılarak mol kesirleri bulunabilir.

$$M_{\text{N}_2\text{O}_4} \cdot X_{\text{N}_2\text{O}_4} + M_{\text{NO}_2} \cdot X_{\text{NO}_2} = 82,8$$

$$92 \cdot X_{\text{N}_2\text{O}_4} + 46 \cdot (1 - X_{\text{N}_2\text{O}_4}) = 82,8$$

$$46 X_{\text{N}_2\text{O}_4} = 36,8$$

$$X_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,8 \quad X_{\text{NO}_2} = 0,2$$

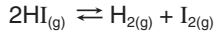
$$P_{\text{N}_2\text{O}_4} = P_T \cdot X_{\text{N}_2\text{O}_4}$$

$$P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 1,4 \cdot 0,8$$

$$P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 1,12 \text{ atm}$$

Cevap E'dir.

ÖRNEK



Tepkimesi için belli bir sıcaklıkta $K_p = 0,0625$ 'dir. 0,2 mol HI gazı tepkime kabına konuyor. Sistem dengeye ulaştığında toplam basınç 1 atm olduğuna göre dengedeki H_2 'nin mol kesri nedir?

- A) 0,625 B) 0,415 C) 0,165 D) 0,125 E) 0,100

ÇÖZÜM

$2\text{HI}_{(g)}$	\rightleftharpoons	$\text{H}_{2(g)}$	+	$\text{I}_{2(g)}$
Başlangıç : 0,2 mol		-		-
Değişim : -2x		+x		+x
Dengeye : 0,2 - 2x		x		x
$n_T = 0,2 - 2x + x + x = 0,2 \text{ mol}$				

$$P_{\text{HI}} = \frac{n_{\text{HI}}}{n_T} \cdot P_T = \frac{0,2 - 2x}{0,2} \cdot 1 \text{ atm}$$

$$P_{\text{H}_2} = \frac{n_{\text{H}_2}}{n_T} \cdot P_T = \frac{x}{0,2} \cdot 1 \text{ atm}$$

$$P_{\text{I}_2} = \frac{n_{\text{I}_2}}{n_T} \cdot P_T = \frac{x}{0,2} \cdot 1 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{P_{\text{H}_2} \cdot P_{\text{I}_2}}{P_{\text{HI}}^2}$$

$$0,0625 = \frac{\frac{x}{0,2} \cdot \frac{x}{0,2}}{\left(\frac{0,2 - 2x}{0,2}\right)^2}$$

$$0,25 = \frac{\frac{x}{0,2}}{0,2 - 2x}$$

$$0,25 \cdot (0,2 - 2x) = x$$

$$0,05 = 1,5 x$$

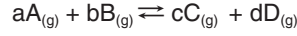
$$x = 0,033 \text{ mol}$$

$$X_{\text{H}_2} = \frac{0,033}{0,2} = 0,165$$

Cevap C'dir.

5. DENGESİ (Q_c) - DENGESİN KONTROLÜ

Denge kesri (Q_c) herhangi bir anda tepkimenin dengede olup olmadığını, dengede değilse hangi yönde ilerlediğini bulmakta kullanılır. Denge kesri (Q_c), K_c de olduğu gibi bulunur.



$$Q_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \text{ şeklinde yazılır.}$$

Burada kullanılan derişimler tepkimede herhangi bir anda bize verilen derişimlerdir. K_c nin sayısal değeri biliniyorsa Q_c ile karşılaştırılır.

- a. Q_c = K_c ise sistem dengededir.
- b. Q_c > K_c ise sistem dengede değildir. Dengeye ulaşmak için Q_c = K_c olmalıdır. O hâlde Q_c azalmalıdır.

$$Q_c = \frac{\text{ürünler}}{\text{girenler}} \text{ olduğuna göre;}$$

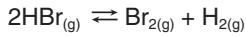
Q_c nin azalması için ürünlerin azalması, girenlerin artması gerekir. Bu yüzden tepkime girenler yönüne doğru ilerler.

- c. Q_c < K_c ise sistem dengede değildir. Dengeye ulaşmak için Q_c artmalıdır.

$$Q_c = \frac{\text{ürünler}}{\text{girenler}} \text{ olduğuna göre;}$$

ürünler artmalı, girenler azalmalıdır. Yani tepkime ürünler yönüne doğru ilerler.

ÖRNEK



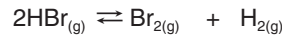
tepkimesinin belli bir sıcaklıktaki denge sabiti 64'tür.

Hacmi 1 L olan kapalı bir kaba; 1 mol HBr, 1 mol Br₂ ve 2 mol H₂ gazları konuyor. Sistem dengeye ulaştığında;

- I. H₂ derişimi 2 M'dir.
 II. Br₂'nin derişimi 1M'den büyüktür.
 III. HBr'nin derişimi 1M'den küçüktür.

yargılarından hangileri doğrudur?

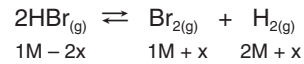
- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
 D) II ve III E) I, II ve III



$$\frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \quad \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \quad \frac{2 \text{ mol}}{1 \text{ L}}$$

$$Q_c = \frac{[Br_2][H_2]}{[HBr]^2} = \frac{1 \cdot 2}{1^2} = 2$$

Q_c < K_c olduğu için tepkime ürünler yönüne doğru ilerler.



$$1M - 2x \quad 1M + x \quad 2M + x$$

[HBr] = (1 - 2x) M derişimi azalır.

[Br₂] = (1 + x) M derişimi artar.

[H₂] = (2 + x) M derişimi artar.

H₂ derişimi 2M'den büyüktür.

Br₂ derişimi 1M'den büyüktür.

HBr derişimi 1M'den küçüktür.

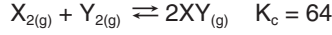
ÇÖZÜM

Sistemin dengede olup olmadığını ve dengede değilse hangi yöne ilerlediğini belirlemek için denge kesri, Q_c hesaplanır.

Cevap D

ÖRNEK

2 mol X_2 , 2 mol Y_2 ve 4 mol XY belli bir sıcaklıkta 2 L lik bir kaba konuyor.



tepkimesine göre,

- Sistem dengede midir?
- Sistem dengede değil ise hangi yöne ilerler?
- Denge kurulduğunda her bir maddenin derişimi ne olur?

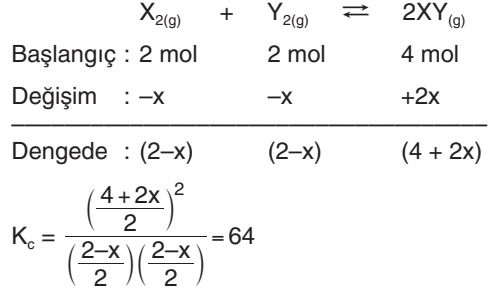
ÇÖZÜM

$$a. Q_c = \frac{[XY]^2}{[X][Y]} = \frac{\left(\frac{4}{2}\right)^2}{\left(\frac{2}{2}\right)\left(\frac{2}{2}\right)} = 4$$

$Q_c = 4 < K_c = 64$ olduğuna göre sistem dengede değildir.

- Q_c 'nin büyümesi için tepkime ürünler yönüne (sağa) ilerler.

c.



Her iki tarafın karekökü alınır,

$$\frac{4+2x}{2-x} = 8$$

$$4+2x = 16 - 8x$$

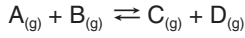
$$10x = 12$$

$$x = 1,2 \text{ mol}$$

$$[X_2] = [Y_2] = \frac{2-x}{2} = \frac{2-1,2}{2} = 0,4 \text{ M}$$

$$[XY] = \frac{4+2x}{2} = \frac{4+2,4}{2} = 3,2 \text{ M olur.}$$

ÖRNEK



Yukarıdaki tepkime için derişimler cinsinden denge sabiti $K_c = 1$ 'dir. 1 L'lik bir kaba 0,1 mol A, 0,1 mol B, 0,2 mol C ve 0,2 mol D konuyor.

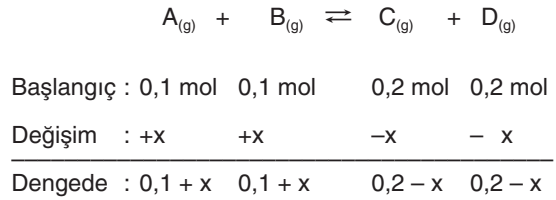
Sistem dengeye ulaştığında kaptaki bulunan A'nın molaritesi nedir?

- A) 0,2 B) 0,15 C) 0,1 D) 0,75 E) 0,5

ÇÖZÜM

$$Q_c = \frac{0,2 \cdot 0,2}{0,1 \cdot 0,1} = 4 \quad Q_c > K_c$$

Tepkime girenler yönüne ilerler.



$$K_c = \frac{(0,2-x)^2}{(0,1+x)^2} = 1$$

$$0,2-x = 0,1+x$$

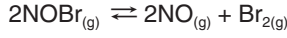
$$2x = 0,1 \Rightarrow x = 0,05 \text{ mol}$$

$$n_A = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ mol}$$

$$[A] = \frac{0,15 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0,15 \text{ M}$$

Cevap B

ÖRNEK



Belli bir sıcaklıkta yukarıdaki tepkime için kısmi basınçlar türünden denge sabiti $K_p = 0,1$ 'dir. 1 L'lik bir kaba kısmi basınçları sırasıyla 0,1 atm, 0,2 atm ve 0,2 atm olacak şekilde NOBr, NO ve Br₂ gazları konuyor. Buna göre,

- Sistem dengededir.
- İleri tepkimenin hızı geri tepkimenin hızından daha büyüktür.
- Dengedeki sistemde NO gazının kısmi basıncı 0,2 atm'den daha küçüktür.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) yalnız I B) Yalnız II C) yalnız III
D) I ve II E) II ve III

ÇÖZÜM

Bu sıcaklıktaki kısmi basınçlar türünden denge kesri bulunur.

$$Q_p = \frac{P_{\text{NO}}^2 \cdot P_{\text{Br}_2}}{P_{\text{NOBr}}^2} = \frac{(0,2)^2(0,2)}{(0,1)^2} = 0,8 > K_p = 0,1$$

$Q_p > K_p$ olduğuna göre sistem dengede değildir. Dengeye ulaşması için Q_p 'nin küçülmesi gerekir. Bunun için tepkime girenler yönüne ilerler. Geri yöndeki tepkime ileri yöndeki tepkimeden daha hızlıdır. Girenler yönüne ilerleyen tepkimede NO gazının kısmi basıncı azalır.

Cevap C

6. DENGEE ETKİ EDEN FAKTÖRLER (LE CHATELIER PRENSİBİ)

Dengedeki bir sisteme dışardan bir etki yapıldığında denge bozulur. Sistem bozulan dengeyi yeniden kurabilmek için dışarıdan yapılan etkiye karşı yönde bir tepki gösterir.

Dengeye etki eden faktörler;

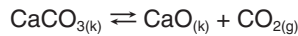
- Derişimin etkisi
- Basınç ve hacim etkisi
- Sıcaklık etkisi
- Katalizör etkisi

olarak sıralanabilir.

6. 1. Derişimin Etkisi

Dengedeki bir tepkimede herhangi bir maddenin derişimi arttırılırsa, denge o maddelerin derişiminin azaldığı yöne kayar. Eğer bir maddenin derişimi azaltılırsa tepkime o maddenin derişiminin arttığı yöne kayar. Bu derişimler sonucunda sıcaklık sabit kaldığı sürece denge sabiti derişmez.

ÖRNEK



denge sisteminde

a. CaCO_{3(k)} ilavesi

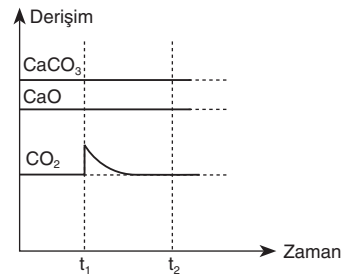
b. CO_{2(g)} ilavesi

dengeyi nasıl etkiler?

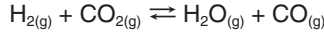
ÇÖZÜM

- a. Ortama CaCO₃ ilavesi dengeye etki etmez. Çünkü CaCO₃ katıdır. Katı ve sıvıların derişimleri sabittir, madde ilavesiyle derişmez.

- b. CO₂ gazı ilavesi tepkimeyi sola kaydırır. Bunun sonucunda CaO miktarı azalır. CaCO₃ miktarı artar. Ancak her iki madde de katı olduğu için derişimlerinde bir derişme olmaz.



Sistem t_2 anında dengeye ulaştığında CO₂ derişimi başlangıç durumuna geri dönmüştür. Dengeye ait K_c derişmez ve denge bu sayısal değere ulaşmak için CO₂ derişimini eski değerine kadar azaltır.

ÖRNEK

tepkimesine göre sabit hacimli kapta sabit sıcaklıkta

- H₂ gazı eklenirse
- CO₂ gazı ortamdandan çekilirse

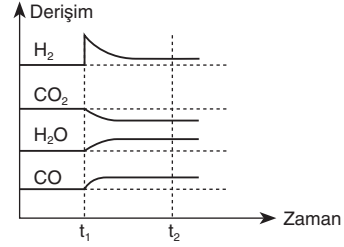
dengede ne gibi değişimler olur?

ÇÖZÜM

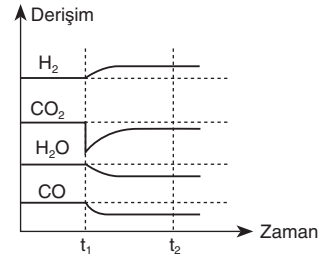
- Kaba H₂ gazı eklenerek; derişimi arttırıldığında sistem bunu azaltmaya çalışacaktır. Bunun için tepkimede H₂ nin olmadığı tarafa yani sağa kayacaktır. Dengenin sağa kayması H₂ ve CO₂ gaz derişiminin azalmasına H₂O ve CO gaz derişiminin de artmasına yol açar.

H₂ ilavesinden sonra denge bunu azaltsa da başlangıçtaki miktara dönülmez. (K_c'nin sabit kalması için)

Denge sabiti sıcaklık sabit kaldığı sürece değişmez.



- CO₂ derişimi azaltılırsa sistem bunu arttırmaya çalışır. Bunun için tepkimede CO₂ in olduğu tarafa yani sola kayar. Dengenin sola kayması H₂ ve CO₂ gaz derişiminin artması, H₂O ve CO derişiminin azalmasına yol açar. Denge kurulduğunda CO₂ miktarı artmış olsa da başlangıç miktarına ulaşamaz.

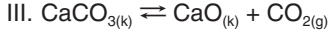
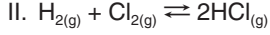
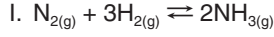
**6. 2. Basınç ve Hacim Etkisi**

Katı ve sıvı dengelerinde basıncın etkisi yoktur. Yalnızca gaz fazında gerçekleşen tepkimelerde basıncın denge üzerine etkisi vardır.

Dengeye basınç ve hacim etkisi birlikte düşünülür.

- Kabın hacmi küçültülürse basınç artar. Tepkime gaz basıncının az olduğu yöne kayar. Yani gaz katsayılarının toplamının küçük olduğu yöne kayar.
- Kabın hacmi genişletilirse basınç azalır. Tepkime basıncın çok olduğu yöne kayar. Yani tepkimedeki gaz katsayılarının toplamının büyük olduğu yöne kayar.

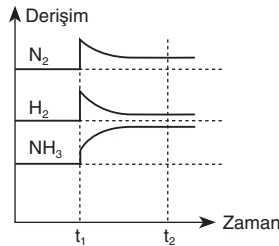
ÖRNEK



Yukarıdaki tepkimelerin bulunduğu kabın hacmi küçültülürse denge nasıl etkilenir?

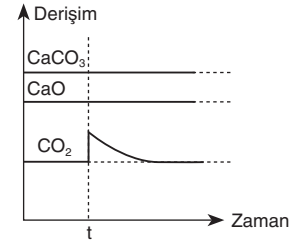
ÇÖZÜM

t_1 anında hacim küçüldüğünde her üç maddenin de derişimi artar. I. de girenlerin katsayıları toplamı 4, ürünlerin 2'dir. Hacim küçültülürse basınç artar. Sistem bunu dengelemek için basıncın az olduğu tarafa (gaz katsayılarının toplamının küçük olduğu tarafa) kayar. Yani ürünler yönüne kayar.



II. de tepkimede girenler ve ürünlerdeki gaz katsayıları toplamı eşittir. Bu nedenle basınç değişimi dengeyi etkilemez.

III. tepkimede yalnızca sağ tarafta gaz bulunduğu için basınç ürünler tarafında daha fazladır. Hacmin küçülmesi basıncın artmasına, oda tepkimesinin sola kaymasına neden olur.



NOT

Aktiflik birimi olmadığı için K_a 'nın birimi yoktur, K_c ve K_p 'nin ise denge bağıntısına bağlı olarak birimi olabilir.

6. 3. Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık denge sabitini değiştiren tek faktördür.

- Endotermik tepkimede ($\Delta H > 0$) sıcaklık artırıldığında denge ürünler tarafına kayar. Ürünlerin derişimi artar. Girenlerin derişimi azalır.

$$K_c = \frac{\text{Ürünler}}{\text{Girenler}} \text{ olduğu için denge sabiti büyür.}$$

- Ekzotermik tepkimelerde ($\Delta H < 0$) sıcaklık artırıldığında denge girenler tarafına kayar. Girenlerin derişimi artar. Ürünlerin derişimi azalır. Denge sabiti küçülür.

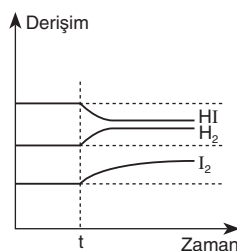
ÖRNEK



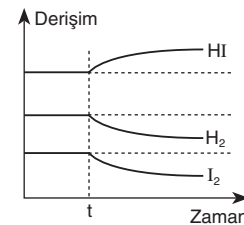
- Sıcaklık artırılırsa denge nasıl etkilenir?
- Sıcaklık azaltılırsa denge nasıl etkilenir?

ÇÖZÜM

- Sıcaklık artırılırsa tepkime sıcaklığın az olduğu tarafa kayar. Ürünler yönünde ısı açığa çıktığı için ürünler tarafında sıcaklık fazla, girenler tarafında azdır. Tepkime sola kayar. Bu olayın grafiği yandaki gibidir. Denge sabiti K_c küçülür.



- Sıcaklık azaltılırsa tepkime bunu arttırmak için ürünler yönüne kayar. Bu olayın grafiği,



şeklinde. Denge sabiti K_c büyür.

6. 4. Katalizör Etkisi

Katalizör ileri ve geri tepkime hızını aynı oranda arttırdığı için dengeyi etkilemez. Dengedeki madde miktarını değiştirmez. Ancak dengenin daha çabuk kurulmasını sağlar.

ÖRNEK



reaksiyonu için aşağıdakilerden hangisi ürünün denge konsantrasyonunu kesinlikle artırır?

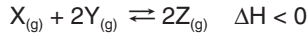
- A) Sıcaklığı yükseltirken, hacmi küçültmek
- B) Katalizör katarken, hacmi küçültmek
- C) Reaksiyon ortamına bir katalizör katmak
- D) Sıcaklığı yükseltirken, basıncı düşürmek
- E) Sıcaklığı düşürürken, hacmi büyütmek

ÇÖZÜM

Dengeyi ürünler yönüne kaydırmak için basıncı azaltmak, hacmi arttırmak veya sıcaklığı arttırmak gerekir.

Cevap D'dir.

ÖRNEK



Sabit hacimli kapta tepkimesinin sıcaklığı artırılırken katalizörde kullanılırsa,

- I. Tepkime hızında artma
 - II. Denge sabitinde büyüme
 - III. Aktifleşme enerjisinde düşme.
- yargılarından hangilerinin olması beklenir.
- A) Yalnız I
 - B) Yalnız II
 - C) I ve III
 - D) II ve III
 - E) I, II ve III

ÇÖZÜM

Sıcaklığı arttırmak ve katalizör tepkime hızını artırır. Katalizör aynı zamanda aktifleşme enerjisini düşürür.

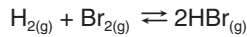
Ekzotermik tepkimede sıcaklığın artması ile denge sola kayar. Ürün derişimi azalır, girenlerin derişimi artar, K_c küçülür.

Cevap C'dir.

6. 5. Dengeye Etki İle İlgili Sayısal Hesaplamalar

ÖRNEK

1 litrelik bir kapta 1 mol H_2 , 1 mol Br_2 ve 4 mol HBr gazları sabit sıcaklıkta,



tepkimesine göre dengededir.

Tepkime kabına 1,5 mol HBr eklenirse yeni denge kurulduğunda Br_2 derişimi kaç molar olur?

- A) 0,25
- B) 0,50
- C) 0,75
- D) 1,00
- E) 1,25

Tepkime kabına HBr eklendiğinde denge sola kayar.

	$H_{2(g)}$	+	$Br_{2(g)}$	\rightleftharpoons	$2HBr_{(g)}$
Başlangıç :	1 mol		1 mol		(4 + 1,5) mol
Değişim :	+x		+x		-2x
Dengede :	(1+x)		(1+x)		(5,5 - 2x)

$$K_c = 16 = \frac{(5,5 - 2x)^2}{(1+x)(1+x)} \quad \text{ise} \quad 4 = \frac{5,5 - 2x}{1+x}$$

$$[Br_2] = \frac{(1 + 0,25) \text{ mol}}{1L} = 1,25M$$

$$\begin{aligned} 4 + 4x &= 5,5 - 2x \\ 6x &= 1,5 \\ x &= 0,25 \text{ mol} \end{aligned}$$

Cevap E'dir.

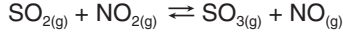
ÇÖZÜM

Başlangıçta verilen denge derişimleri kullanılarak K_c bulunabilir.

$$K_c = \frac{[HBr]^2}{[H_2][Br_2]} = \frac{(4)^2}{1 \cdot 1} = 16$$

ÖRNEK

Belli bir sıcaklıkta 1 litrelik bir kaptan 0,2 mol SO₂, 0,4 mol NO₂, 0,4 mol SO₃ ve 0,4 mol NO gazları,



tepkimesine göre dengededir. Sabit sıcaklıkta kaptan kaç mol NO₂ gazı uzaklaştırılırsa, yeniden kurulan dengede SO₂ derişimi 0,25M olur?

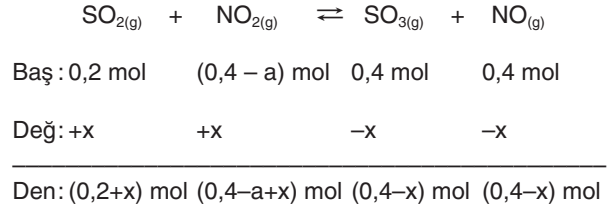
- A) 0,105 B) 0,150 C) 0,205 D) 0,255 E) 0,305

ÇÖZÜM

Tepkimenin denge sabiti

$$K_c = \frac{[\text{SO}_3][\text{NO}]}{[\text{SO}_2][\text{NO}_2]} = \frac{0,4 \cdot 0,4}{0,2 \cdot 0,4} = 2 \text{ 'dir.}$$

NO₂ gazı çekildiğinde denge sola kayar.



$$[\text{SO}_2] = 0,25 = \frac{(0,2+x) \text{ mol}}{1\text{L}} \text{ ise } x = 0,05 \text{ mol}$$

Yeni kurulan dengede,

$$[\text{SO}_2] = 0,25 \text{ M} \quad [\text{NO}_2] = (0,45 - a) \text{ M}$$

$$[\text{SO}_3] = 0,35 \text{ M} \quad [\text{NO}] = 0,35 \text{ M}$$

$$K_c = 2 = \frac{0,35 \cdot 0,35}{0,25 \cdot (0,45 - a)} \text{ ise } a = 0,205 \text{ mol}$$

Cevap C'dir.

ÖRNEK

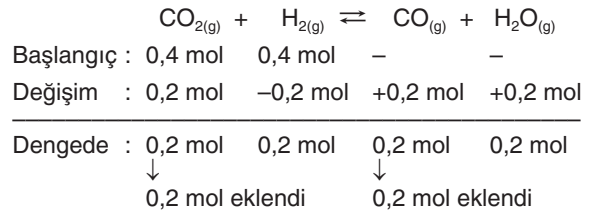


Tepkimesine göre 0,4 mol CO₂ ve 0,4 mol H₂ gazları 2 litrelik bir kaba koyuluyor. Sabit sıcaklıkta CO₂ gazının %50'si tepkimeye girdiğinde sistem dengeye ulaşıyor. Dengedeki sisteme 0,2 mol CO₂ ve 0,2 mol CO gazları eklenirse yeniden denge kurulduğunda herbir maddenin derişimi kaç molar olur?

- | | $\frac{[\text{CO}_2]}{0,2}$ | $\frac{[\text{H}_2]}{0,2}$ | $\frac{[\text{CO}]}{0,2}$ | $\frac{[\text{H}_2\text{O}]}{0,2}$ |
|----|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| A) | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| B) | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| C) | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |
| D) | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,45 |
| E) | 0,45 | 0,20 | 0,20 | 0,15 |

ÇÖZÜM

0,4 mol CO₂'nin 0,2 mol'ü (%50'si) tepkimeye girdiğinde sistem dengeye ulaşır.



Eşit miktarda CO₂ ve CO eklendiği için dengeye ulaşan sisteme bir etkisi olmaz. Denge bozulmaz. Son durumda denge derişimleri şöyledir.

$$[\text{CO}_2] = \frac{(0,2 + 0,2) \text{ mol}}{2\text{L}} = 0,2\text{M}$$

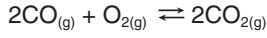
$$[\text{CO}] = \frac{(0,2 + 0,2) \text{ mol}}{2\text{L}} = 0,2\text{M}$$

$$[\text{H}_2] = \frac{0,2 \text{ mol}}{2\text{L}} = 0,1\text{M}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{0,2 \text{ mol}}{2\text{L}} = 0,1\text{M}$$

Cevap C'dir.

ÖRNEK



Tepkimesi 2 L'lik bir kapta sabit sıcaklıkta dengede iken 1 mol CO, 2 mol O₂ ve 2 mol CO₂ gazı bulunmaktadır. Aynı sıcaklıkta O₂ gazının mol sayısının 2,25 mol olması için kabın hacmi kaç litre olmalıdır?

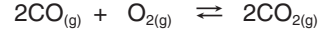
- A) 9 B) 8 C) 6 D) 3 E) 1

ÇÖZÜM

Dengedeki sistem için denge sabiti;

$$K_c = \frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{CO}]^2[\text{O}_2]} = \frac{\left(\frac{2}{2}\right)^2}{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(\frac{2}{2}\right)} = 4$$

O₂'nin mol sayısının artması için tepkime sola kaymalıdır.



Başlangıç :	1 mol	2 mol	2 mol
Değişim :	+2x	+x	-2x
Dengede :	1 + 2x	2 + x	2 - 2x

$$2 + x = 2,25$$

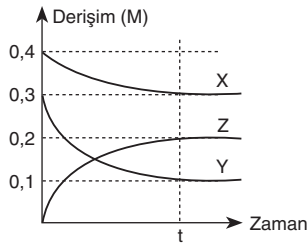
$$x = 0,25 \text{ mol}$$

$$K_c = \frac{\left(\frac{1,5}{V}\right)^2}{\left(\frac{1,5}{V}\right)^2 \left(\frac{2,25}{V}\right)} = 4$$

$$V = 9L$$

Cevap A'dır.

ÖRNEK



Yukarıdaki grafikte bir tepkimede yer alan gaz hâlindeki X, Y ve Z maddelerinin derişimlerinin belirli bir sıcaklıkta zamanla değişimi gösterilmektedir.

Buna göre,

- I. t anında sistem dengeye gelmiştir.
- II. Tepkimenin denklemi $X + 2Y \rightleftharpoons 2Z$ şeklindedir.
- III. Denge sabiti K'nın sayısal değeri 2,0'dır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

ÇÖZÜM

X, Y ve Z'nin derişimlerindeki değişim yardımı ile tepkime denklemi bulunabilir. X ve Y'nin derişimi azalırken Z'nin derişimi artmıştır. t anından sonra her üç maddenin derişimi sabit kalmıştır. Yani t anında denge kurulmuştur. X 0,1 M, Y 0,2 M azalırken Z 0,2 M oluşmuştur.



Değişim :	-0,1M	-0,2M	+0,2M
Denge :	0,3M	0,1M	0,2M

$$K_c = \frac{(0,2)^2}{(0,3)(0,1)^2} = \frac{40}{3} \text{ t'ür.}$$

Cevap D

7. Serbest Enerji ve Denge Sabiti İlişkisi

Standart olmayan şartlarda meydana gelen kimyasal değişimlerde sistemin serbest enerji değişimi (ΔG), aşağıdaki formül yardımı ile bulunur.

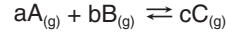
$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

ΔG : Serbest enerji değişimi

ΔG° : Standart serbest enerji değişimi

Q: Denge kesri

Denge kesri (Q) tepkimeyi oluşturan maddelerin aktiflikleri (a) kullanılarak bulunur. Örneğin;



tepkimesi için denge kesri, $Q = \frac{a_C^c}{a_A^a \cdot a_B^b}$ formülü ile bulunur.

Sistem dengede ise denge kesri (Q), denge sabitine (K) eşittir. Aktifliklerin kullanıldığı bu denge sabiti K_a olarak da ifade edilir. Aynı zamanda denge kurulduğunda serbest enerji değişimi (ΔG) sıfır olur.

$$0 = \Delta G^\circ + RT \ln K_a$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_a$$

Aktiflik (a) birimsiz bir büyüklük olduğundan aktiflik türünden denge sabiti K_a 'da birimsizdir. K_a , aynı zamanda termodinamik denge sabiti olarak da adlandırılabilir.

Gerçek gaz sistemleri için aktiflik cinsinden denge sabiti K_a kullanılırken, ideal gazlar için aktiflik yerine kısmi basınçlar veya derişimler cinsinden denge sabitleri olan K_p veya K_c kullanılır. Bu durumda serbest enerji değişimini gösteren formüller

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_p$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c$$

şeklinde ifade edilir.

ÖRNEK



300 K'de 1 atm basınç yapan PCl_5 gazı %20 oranında ayrıştığında denge kuruluyor. Buna göre tepkimeye ait ΔG° kaç kJ/mol'dür?

($R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$, $\ln 0,05 = -3$)

A) 0,24 B) 4,22 C) 7,48 D) 13,55 E) 16,42

ÇÖZÜM

Tepkimeye ait denge sabiti K_p bulunur.



Başlangıç :	1 atm	–	–
Değişim :	–0,2 atm	+0,2 atm	0,2 atm
Dengede :	0,8 atm	0,2 atm	0,2 atm

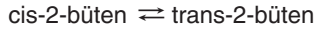
$$K_p = \frac{P_{PCl_3} \cdot P_{Cl_2}}{P_{PCl_5}} = \frac{0,2 \cdot 0,2}{0,8} = 0,05$$

$$\Delta G^\circ = -R.T. \ln K_p$$

$$\Delta G^\circ = -8,314 \cdot 300 \cdot \ln 0,05$$

$$\Delta G^\circ = 7,48 \text{ kJ/mol}$$

Cevap C'dir.

ÖRNEK

500 K'de yukarıdaki tepkimeye ait $\Delta G^\circ = 16,628$ kJ olduğuna göre; 2 atm cis-2-büten gazının bir kısmı trans-2-bütene dönüşerek dengeye geldiğinde trans-2-bütenin kısmi basıncı kaç atm olur? ($R = 8,314$ J/mol.K, $e^{-4} = 2,7$)

- A) 1,46 B) 2,84 C) 3,16 D) 4,17 E) 6,42

ÇÖZÜM

Dengedeki sistemde,

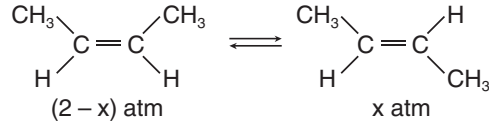
$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_p$$

$$16,628 = -8,314 \cdot 500 \ln K_p$$

$$-4 = \ln K_p$$

$$e^{-4} = e^{\ln K_p}$$

$$K_p = 2,7$$

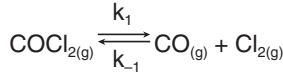


$$K_p = \frac{x}{2-x} = 2,7$$

$$x = 5,4 - 2,7x$$

$$x = 1,46$$

Cevap A'dir.

ÖRNEK

273°C'de yukarıda verilen tepkimenin ileri ve geri yöndeki hız sabitleri sırasıyla $k_1 = 2,16 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve $k_{-1} = 0,54 \cdot 10^{-2} \text{ L/mol.s}$ şeklindedir. Bir miktar COCl_2 gazı 1 L'lik bir kaba konduktan sonra sıcaklık 273°C'ye getiriliyor. Sistem yeniden dengeye geldiğinde kabta 0,2 mol CO gazı bulunduğuna göre başlangıçta kaba konulan COCl_2 kaç moldür?

- A) 0,14 B) 0,21 C) 0,28 D) 0,35 E) 0,42

ÇÖZÜM

Tepkimenin denge sabiti k_1/k_{-1} oranına eşittir.

$$K_c = \frac{k_1}{k_{-1}} = \frac{2,16 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-2}} = 4$$



Başlangıç :	x mol	-	-
Değişim :	-0,2 mol	0,2 mol	0,2 mol
Dengede :	(x-0,2) mol	0,2 mol	0,2 mol

$$K_c = 4 = \frac{0,2 \cdot 0,2}{(x-0,2)}$$

$$4x - 0,8 = 0,04$$

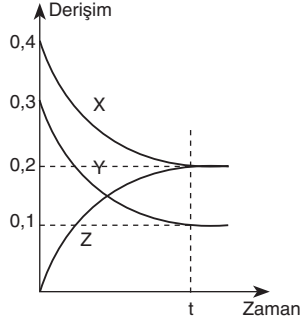
$$x - 0,2 = 0,01$$

$$x = 0,21 \text{ mol}$$

Cevap B'dir.

Konu Kavrama Testleri

1. Sabit sıcaklıkta kapalı bir kaptaki X, Y ve Z maddelerinin derişimlerinin zamanla değişim grafiği verilmiştir.

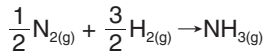


Buna göre aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- A) Tepkime denklemi $X + Y \rightarrow Z$ şeklindedir.
 B) Z bir bileşiktir.
 C) Tepkime t anında dengeye ulaşmıştır.
 D) X, Y ve Z nin denge derişimleri eşittir.
 E) Denge derişimi en az olan Y dir.

2. $2NH_{3(g)} \rightleftharpoons N_{2(g)} + 3H_{2(g)}$
 tepkimesinin belli bir sıcaklıkta denge sabiti K_1 dir.

Buna göre,



tepkimesinin aynı sıcaklıktaki denge sabiti nedir?

- A) K_1 B) $\frac{1}{K_1}$ C) $\sqrt{K_1}$
 D) $\frac{1}{\sqrt{K_1}}$ E) $\frac{1}{K_1^2}$

3. $COCl_{2(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + Cl_{2(g)}$
 Tepkimesinin $727^\circ C$ 'daki derişim cinsinden denge sabiti $K_c = 0,05$ olduğuna göre, aynı sıcaklıkta kısmi basınçlar cinsinden denge sabiti K_p nedir?

- A) 4,1 B) 8,2 C) 12,3
 D) 16,4 E) 20,5

4. $X_{(g)} \rightleftharpoons Y_{(g)} + Z_{(g)}$ (yavaş)
 $X_{(g)} + Z_{(g)} \rightleftharpoons Y_{(g)} + T_{(g)}$ (hızlı)
 İki basamakta gerçekleşen tepkimenin denge bağıntısı aşağıdakilerden hangisidir?

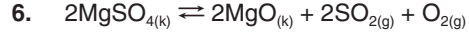
- A) $K_c = \frac{[Y][Z]}{[X]}$ B) $K_c = \frac{[Y][T]}{[X][Z]}$
 C) $K_c = \frac{[Y]^2[T]}{[X]^2}$ D) $K_c = \frac{[X] \cdot [Z]}{[Y] \cdot [T]}$
 E) $K_c = [X]$



Tepkimesine göre 2 L'lik bir kaba 8 mol X_2 gazı konuyor.

X_2 nin %50 si ayrıştığına denge kurulduğuna göre, denge sabiti nedir?

- A) 1 B) 2 C) 4 D) 8 E) 12



Belli bir sıcaklıkta kapalı bir kaptaki $MgSO_4$ katısı yukarıdaki denkleme göre parçalanıyor.

Kısmi basınçlar cinsinden denge sabiti $K_p = 1,08 \cdot 10^{-1}$ dir.

Buna göre, bu sıcaklıkta dengedeki sistemde toplam basınç kaç atm dir?

- A) 0,3 B) 0,6 C) 0,9 D) 1,2 E) 3,7



Tepkimesine göre 8 mol NOBr gazı parçalandığında 10 mol gaz karışımı elde ediliyor.

Buna göre NOBr nin % kaç tepkimeye girmiştir?

- A) 20 B) 25 C) 40 D) 50 E) 75



Tepkimesinin kısmi basınçlar cinsinden denge sabiti $K_p = 4$ 'tür. Sabit hacimli bir kaba 2,4 mol SO_2 ve 1,2 mol O_2 koyuluyor.

Denge kurulduğunda kaptaki 1,2 mol SO_3 bulunduğuna göre; tepkime başlamadan önce kaptaki toplam basınç kaç atm'dir.

- A) 0,5 B) 1 C) 1,5 D) 2 E) 2,5



Tepkimesi dengede iken sabit sıcaklıkta tepkime kabının hacmi yarıya düşürülüyor.

Buna göre aşağıdakilerden hangisi gerçekleşmez?

- A) Dengedeki CO derişimi artar.
 B) Dengedeki CO_2 derişimi artar.
 C) CO_2 gazının oluşma hızı artar.
 D) CO_2 gazının CO ve O_2 ye parçalanma hızı artar.
 E) Denge sabitinin değeri artar.

10. Aşağıdaki dönüşümlerden hangisinde maksimum düzensizlik artar?

- A) CO₂ in suda çözünmesi
 B) Kışın camların buğulanması
 C) Yapraklar üzerinde kırağı oluşumu
 D) Suyun elektrolizi ile H₂ ve O₂ gazları oluşması
 E) Buzluktaki suyun donması

11. H_{2(g)} + Cl_{2(g)} ⇌ 2HCl_(g)

Tepkimesi belli bir sıcaklıkta dengede iken,

- I. Piston sabit tutularak NH₃ gazı gönderiliyor.
 II. Piston serbest bırakılarak He gazı gönderiliyor.
 III. Piston sabit tutularak He gazı gönderiliyor.

Buna göre hangi işlem sonucunda HCl miktarı değişmez?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
 D) II ve III E) I, II ve III

12. X_(g) + Y_(g) ⇌ Z_(g) + T_(g)

Tepkimenin belli bir sıcaklıkta denge sabiti 4'tür. Aynı sıcaklıkta 1 L'lik bir kaba 0,5 mol X, 1 mol Y, 1 mol Z ve 1,5 mol T konuyor.

Buna göre,

- I. Sistem dengededir.
 II. Tepkime ürünler yönüne doğru ilerler.
 III. Z'nin denge derişimi 1 M'den küçüktür.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve III E) II ve III

13. 4NO_{2(g)} + O_{2(g)} ⇌ 2N₂O_{5(g)}

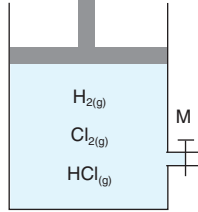
Tepkimesinin 130°C'deki denge sabiti 0,210 ve 180°C'deki denge sabiti ise 0,066'dır.

Buna göre,

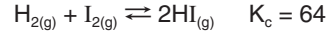
- I. Tepkime ekzotermiktir.
 II. Sıcaklık arttıkça tepkime girenler yönüne kayar.
 III. 130°C'deki molekül sayısı 180°C'deki molekül sayısından fazladır.

Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve II E) I, II ve III



14. 1 L'lik bir kaba 4'er mol H₂, I₂ ve HI gazları koyuluyor.



tepkimesi dengeye ulaştığında kapta kaç mol H₂ gazı bulunur?

- A) 0,2 B) 0,8 C) 1,2 D) 2,8 E) 3,6

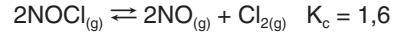
15. X_(g) + Y_(g) ⇌ Z_(g) + T_(g)

tepkimesinin denge sabiti K_c = 0,4 dır.

2 L'lik bir kapta 1,4 mol X gazı vardır. Tepkimenin dengeye varması sonucunda 0,4 mol Z gazı oluşması için kaba kaç mol Y gazı koyulmalıdır?

- A) 0,2 B) 0,4 C) 0,7 D) 0,8 E) 1,2

16. Bir miktar NOCl gazı 1 L'lik bir kaba konuyor. 273°C'de,



tepkimesine göre sistem dengeye geldiğinde NO derişimi 0,8 M olarak bulunuyor.

Buna göre NOCl gazının dengedeki basıncı kaç atm'dir?

- A) 2,24 B) 4,48 C) 5,6 D) 6,72 E) 17,92

17. CO_(g) + H₂O_(g) ⇌ CO_{2(g)} + H_{2(g)}

1 litrelik bir kaba 1,2 mol CO ve 1,2 mol H₂O gazları konuluyor. Sabit sıcaklıkta 0,8 mol CO₂ oluştuğunda denge kuruluyor.

Dengedeki sisteme aynı sıcaklıkta 0,1 mol CO ve 0,1 mol H₂O ekleniyor.

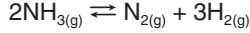
Buna göre,

- I. Denge ürünler yönüne kayar.
 II. Denge sabiti K_c = 4'tür.
 III. Yeniden denge kurulduğunda kapta 1,4 M CO₂ bulunur.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
 D) II ve III E) I, II ve III

18. 6,8 gram NH_3 gazı 273 K'de 5,6 L'lik bir kaba konuyor. Aynı sıcaklıkta,



tekimesine göre denge kurulduğunda kaptaki toplam basınç 2,4 atm olarak ölçülüyor.

Buna göre, 273 K'de tepkimeye ait K_p 'nin değeri aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir? (N: 14, H:1 g/mol)

- A) 1,025 B) 0,050 C) 1,080
D) 1,125 E) 0,150

19. $2\text{XY}_{3(g)} \rightleftharpoons 2\text{XY}_{2(g)} + \text{Y}_{2(g)} + \text{ısı}$
Yukarıdaki tepkimeye göre 0,8 mol XY_3 , 0,4 mol XY_2 ve 0,2 mol Y_2 gazları 1 L'lik bir kapta dengededir. Dengedeki bu sistemin sıcaklığı arttırıldığında kaptaki gazların toplam mol sayısı 1,3 mol olduğuna göre son durumda denge sabiti K_c ne olur?
- A) 0,1 B) 0,2 C) 0,04
D) 0,001 E) 0,004

Konu Kavrama Çözümleri

1. Denge de $[\text{X}] = [\text{Z}] = 0,2 \text{ M}$ ve $[\text{Y}] = 0,1 \text{ M}$ dir. Denge derişimleri sabittir, ancak eşit olmak zorunda değildir.

Cevap D'dir.

2. Tepkime önce ters çevrildiği için K_1 in çarpmaya göre tersi alınır. Sonra $\frac{1}{2}$ ile çarpıldığı için karekökü alınır.

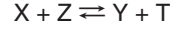
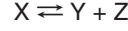
$$K_2 = \frac{1}{\sqrt{K_1}} \text{ olur.}$$

Cevap D'dir.

3. $K_p = K_c \cdot (\text{RT})^{\Delta n}$
 $K_p = 0,05 (0,082 \cdot 1000)^{2-1}$
 $K_p = 4,1$

Cevap A'dir.

4. Mekanizmalı tepkimelerde denge bağıntısı toplam tepkimeye göre yazılır.



$$K_d = \frac{[\text{Y}]^2 [\text{T}]}{[\text{X}]^2}$$

Cevap C'dir.

5. $\text{X}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{X}_{(g)}$
- | | | |
|------------|--------|--------|
| Başlangıç: | 8 mol | – |
| Değişim: | –4 mol | +8 mol |
| Denge: | 4 mol | 8 mol |
- $$[\text{X}_2] = \frac{4 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 2 \text{ M} \quad [\text{X}] = \frac{8 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 4 \text{ M}$$
- $$K_d = \frac{[\text{X}]^2}{[\text{X}_2]} = \frac{4^2}{2} = 8$$

Cevap D'dir.

6. Denge de O_2 nin iki katı SO_2 bulunur. SO_2 nin kısmi basıncı O_2 nin kısmi basıncının 2 katıdır.

$$K_p = P_{\text{SO}_2}^2 \cdot P_{\text{O}_2} \quad P_{\text{SO}_2} = 2P \quad \text{ve} \quad P_{\text{O}_2} = P \text{ dir.}$$

$$1,08 \cdot 10^{-1} = (2P)^2 (P)$$

$$108 \cdot 10^{-3} = 4P^3$$

$$P = 0,3 \text{ atm}, \quad P_{\text{SO}_2} = 0,6 \text{ atm} \quad P_{\text{O}_2} = 0,3 \text{ atm}$$

$$P_T = P_{\text{SO}_2} + P_{\text{O}_2} = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ atm'dir.}$$

Cevap C'dir.

7. $2\text{NOBr}_{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)} + \text{Br}_{2(g)}$

$$\text{Başlangıç:} \quad 8 \text{ mol} \quad - \quad -$$

$$\text{Değişim:} \quad -2x \quad +2x \quad +x$$

$$\text{Denge:} \quad 8 - 2x \quad 2x \quad x$$

$$(8 - 2x) + 2x + x = 10$$

$$x = 2 \text{ mol}$$

$$2x = 4 \text{ mol NOBr}$$

8 mol NOBr nin 4 molü parçalanmış ve %50 si tepkimeye girmiştir.

Cevap D'dir.

8. $2\text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(g)}$
- | | | | |
|------------|---------|---------|---------|
| Başlangıç: | 2,4 mol | 1,2 mol | – |
| Değişim: | 1,2 mol | 0,6 mol | 1,2 mol |
| Denge: | 1,2 mol | 0,6 mol | 1,2 mol |
| | 2P | P | 2P |
- Gazlar mol sayılarıyla orantılı basınç yaparlar.
- $$K_p = \frac{P_{\text{SO}_3}^2}{P_{\text{SO}_2}^2 \cdot P_{\text{O}_2}} = \frac{(2P)^2}{(2P)^2 \cdot P} = 4 \quad P = 0,25 \text{ atm.}$$
- Başlangıçta 0,6 mol gaz P basınç yapıyorsa,
- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 2,4 mol SO ₂ | 4P = 4 · 0,25 = 1 atm |
| 1,2 mol O ₂ | 2P = 2 · 0,25 = 0,5 atm |
| | P _T = 1,5 atm |

Cevap C'dir.

9. Hacim yarıya indiğinde tüm derişimler artar. Tepkime sağa kayar. Derişimler arttığı için iki yönde de hız artar. K_c değişmez.

Cevap E'dir.

10. Tanecikler serbest ve daha çok hareket ettiklerinde düzensizlik artar. H₂O sıvı iken H₂ ve O₂ gazdır. Gazların hareketi sıvıya göre daha fazladır.

Cevap D'dir.

11. İlave edilen NH₃, HCl ile reaksiyona girerek HCl miktarını azaltır. Denge sağa kayar. He ilavesi ile derişimler değişmez. Tepkimede girenler ve ürünlerin molekül sayıları toplamı eşit olduğu için basınç derişiminden etkilemez.

Cevap D'dir.

12. $Q_c = \frac{1,5 \cdot 1}{1,0 \cdot 5} = 3$
 $Q_c < K_c$ dengede değildir. Denge ürünler yönüne kayar. Z nin derişimi artar. 1 M'dan fazla olur.

Cevap B'dir.

13. 130°C'de $K_c = 0,210$

180°C'de $K_c = 0,066$ olduğuna göre sıcaklık arttığında K_c küçülmüştür. Dengedeki ürünlerin derişimi azalmış, girenlerin derişimi artmıştır. Sıcaklık arttığında denge girenler yönüne kaydığına göre ekzotermik bir tepkimedir. Tepkimeye göre girenlerin katsayıları ürünlerden fazladır. Bu nedenle 180°C'da molekül sayısı çok, 130°C'da molekül sayısı daha azdır.

Cevap D'dir.

14. $Q_c = \frac{(4)^2}{4 \cdot 4} = 1$

$Q_c < K_c$ tepkime ürünler yönüne kayar.

	H _{2(g)}	+	I _{2(g)}	⇌	2HI _(g)
Başlangıç:	4 mol		4 mol		4 mol
Değişim:	-x		-x		+2x
Denge:	4-x		4-x		4 + 2x

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

$$64 = \frac{(4+2x)^2}{(4-x)^2} \text{ ise } 8 = \frac{4+2x}{4-x}$$

$$x = 2,8 \text{ mol/L}$$

Hacim 1 L

$$[n_{\text{H}_2}] = 4 - 2,8 = 1,2 \text{ mol}$$

Cevap C'dir.

15. $X_{(g)} + Y_{(g)} \rightleftharpoons Z_{(g)} + T_{(g)}$
- | | | | | |
|----|----------|-------------|----------|----------|
| B: | 1,4 mol | a mol | – | – |
| D: | -0,4 mol | -0,4 mol | +0,4 mol | +0,4 mol |
| D: | 1,0 mol | (a-0,4) mol | 0,4 mol | 0,4 mol |

$$K_c = \frac{[\text{Z}][\text{T}]}{[\text{X}][\text{Y}]}$$

$$0,4 = \frac{\left(\frac{0,4}{2}\right)\left(\frac{0,4}{2}\right)}{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{a-0,4}{2}\right)}$$

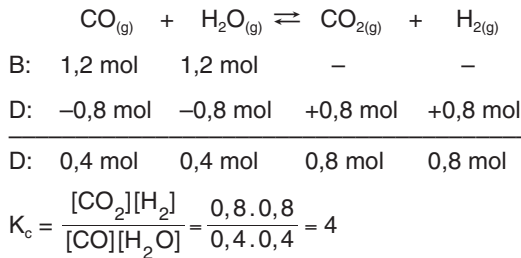
$$a - 0,4 = 0,4$$

$$a = 0,8 \text{ mol}$$

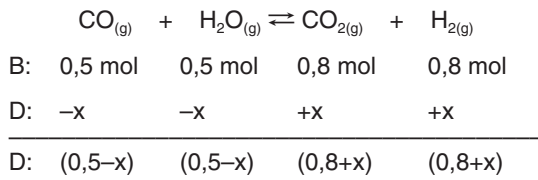
Cevap D'dir.

16. $2\text{NOCl}_{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$
 Dengede: x 0,8 M 0,4 M
- $$K_c = \frac{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{NOCl}]^2} \text{ ise } 1,6 = \frac{(0,8)^2 \cdot (0,4)}{[\text{NOCl}]^2}$$
- $$[\text{NOCl}] = 0,4 \text{ M}$$
- $$\text{PV} = n\text{RT}$$
- $$P \cdot 1 = 0,4 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 546$$
- $$P = 17,92 \text{ atm}$$
- Cevap E'dir.**

17. Dengede sisteme dışardan CO ve H₂O eklendiğinde denge ürünler yönüne kayar.



0,1'er mol CO ve H₂O eklenirse;



$$K_c = 4 = \frac{(0,8+x)^2}{(0,5-x)^2} \text{ ise } 1-2x=0,8+x$$

$$x=0,07$$

$$[\text{CO}]_2 = \frac{(0,8+0,07) \text{ mol}}{1\text{L}} = 0,87 \text{ M}$$

Cevap C'dir.

18. $n_{\text{NH}_3} = \frac{6,8}{17} = 0,4 \text{ mol NH}_3$

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

$$P \cdot 5,6 = 0,4 \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273$$

$$P = 1,6 \text{ atm}$$



Başlangıç: 1,6 atm - -

Değişim: -2x +x +3x

Denge: (1,6-2x) atm x atm +3x atm

$$1,6-2x+x+3x=2,4$$

$$x=0,4 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{(0,4) \cdot (1,2)^3}{(0,8)^2}$$

$$K_p = 1,08$$

Cevap C'dir.

19. Ekzotermik tepkimede sıcaklık arttığında denge girerler yönüne kayar ve K_c küçülür.



B: 0,8 mol 0,4 mol 0,2 mol

D: +2x -2x -x

D: (0,8+2x) mol (0,4-2x) mol (0,2-x) mol

Toplam mol sayısı 1,3 mol olduğu için,

$$(0,8+2x) + (0,4-2x) + (0,2-x) = 1,3$$

$$x=0,1 \text{ mol}$$

$$K_c = \frac{(0,2)^2 \cdot (0,1)}{(1)^2} = 0,004$$

Cevap E'dir.

FİZİKOKİMYA – 6

ÇÖZELTİLER VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

- ✓ MOLEKÜLLER ARASI KUVVETLER VE ÇÖZÜNME
- ✓ GAZLARIN ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNE BASINÇIN ETKİSİ
- ✓ ÇÖZELTİLERİN BUHAR BASINÇLARI
- ✓ İDEAL ÇÖZELTİLER
- ✓ İDEAL OLMAYAN ÇÖZELTİLER
- ✓ KOLİGATİF ÖZELLİKLER
 - ↳ Buhar Basıncı Düşmesi
 - ↳ Kaynama Noktası Yükselmesi
 - ↳ Donma Noktası Alçalması

ÇÖZELTİLER VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bir maddenin, başka bir madde içerisinde iyonlar ya da moleküller hâlinde, homojen olarak dağılmasına **çözünme** denir. Çözeltiler, fiziksel özellikleri her yerinde aynı olan homojen karışımlardır. Bir çözelti en az iki bileşenden oluşur. Genellikle çözültide miktarı çok olan bileşene “çözücü”, miktarı az olan bileşene ise “çözünen” adı verilir. Çözücü ve çözünen; katı, sıvı veya gaz olabilir.

Çözünme Dengesi: Bir miktar çözücüye, çözebileceğinden fazla miktarda katı madde eklendiğinde bir miktar katı dibe çöker. Aynı şartlarda bir süre bekleyen sistemde çözünen katı ile çöken katı arasında bir denge kurulur. Denge anında çözünen madde miktarı sabittir. Ancak çözünme ve çökme olayı devam etmektedir.

$$X(\text{katı}) + \text{su} \rightleftharpoons X(\text{suda})$$

Denge halindeki bir sistemde çözünenin, çözültiye geçme hızı ile çözültiden tekrar saf çözüneneye dönüşme hızları birbirine eşittir. Bu nedenle çözülmüş madde derişimi sabittir. Bu tür çözeltiler doymuş çözeltilerdir.

Doymuş çözelti derişiminden daha yüksek derişimli bir çözelti hazırlanabilmişse buna aşırı doymuş çözelti denir. Aşırı doymuş çözeltiler ısıtılmış çözültinin yavaş yavaş soğutulması ile elde edilir. Aşırı doymuş çözeltiler kararsız olup, bekletildiğinde doymuş çözelti derişimine ulaşana kadar fazladan çözülmüş olan madde çöker.

Bazı maddeler birbirleri ile her oranda karışabilir. Birbiri içerisinde sonsuz oranda karışabilen gaz-gaz karışımlarının yanı sıra bazı sıvı-sıvı, katı-katı ve sıvı-katı karışımları da örnek olarak verilebilir. Bununla birlikte, bir çok maddenin bir çözücü içindeki çözünlükleri oldukça azdır. Belli bir sıcaklık ve basınçta, bir maddenin belirli bir çözücü içinde en çok çözünebildiği derişime çözünlük adı verilir. Bir çözültinin fizikokimyasal özellikleri derişimine bağlıdır.

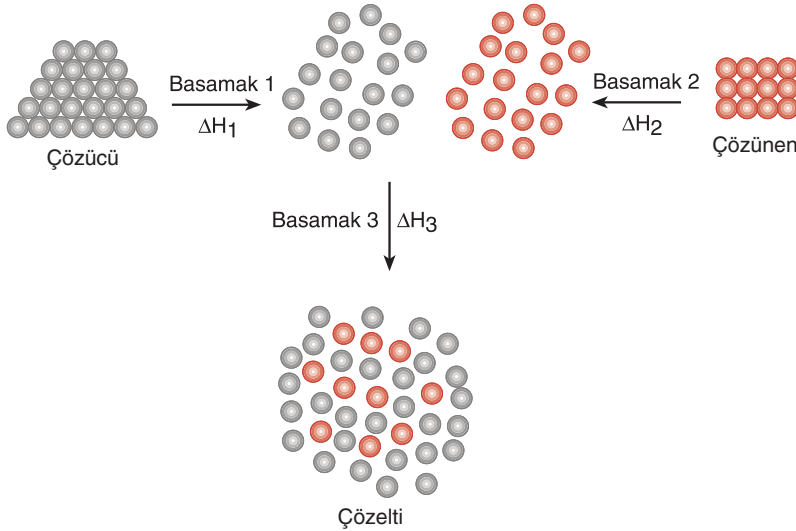
1. Moleküller Arası Kuvvetler ve Çözünme

Çözünme sırasında çözücü ve çözünen maddelerin kendi tanecikleri arasındaki etkileşimler yerine çözücü-çözünen tanecikleri arasında yeni etkileşimler ortaya çıkar. Bu nedenle maddenin başka bir madde içerisinde çözünüp çözünmemesi iki maddenin tanecikleri arasındaki etkileşimler ile ilgilidir. Genellikle yapı olarak birbirine benzeyen maddeler birbiri içerisinde iyi çözünür. Yani polar maddeler polar çözücülerde, apolar maddeler de apolar çözücülerde iyi çözünür. Özellikle çözücü ve çözünen arasında oluşacak hidrojen bağları çözünmeyi kolaylaştırır.

Çözünme Entalpisi: Çözeltilerin oluşumu sırasında çevreye ısı verilir veya çevreden ısı alınır. Sabit basınç altında alınan yada verilen bu ısıya çözünme entalpisi (ΔH_c) denir.

Çözünme olayının üç basamakta meydana geldiği düşünülür.

- Çözücü-çözücü etkileşimleri ortadan kalkar. Bu olayda fiziksel bağlar koptuğu için endotermiktir. ($\Delta H_1 > 0$)
- Çözünen-çözünen etkileşimleri ortadan kalkar. Bu olay da fiziksel bağlar koptuğu için endotermiktir. ($\Delta H_2 > 0$)
- Çözücü-çözünen etkileşimleri ortaya çıkar. Bu olayda yeniden fiziksel bağlar oluştuğu için ekzotermiktir. ($\Delta H_3 < 0$)



NOT

Çözünen-çözücü etkileşimi, çözünen-çözünen ve çözücü-çözücü etkileşiminden daha kuvvetli ise çözünme sırasında enerji açığa çıkar ve çözünme gerçekleşir.

($\Delta H_c < 0$).

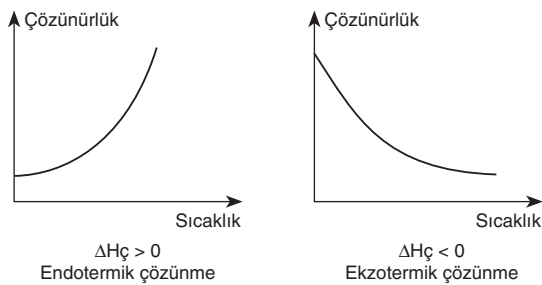


NOT

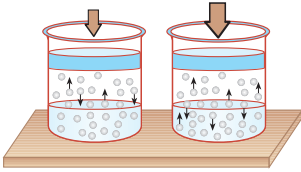
Çözünen-çözücü etkileşimi, çözünen-çözünen ve çözücü-çözücü etkileşimlerinden daha zayıf ise çözünme işlemi yani çözelti oluşumu endotermiktir ($\Delta H_c > 0$).

Çözünme olayının ekzotermik veya endotermik oluşu bu üç basamaktaki enerji değişiminin toplamına bağlıdır. Toplam enerji pozitif ise çözünme endotermik, negatif ise ekzotermiktir. Çözünme entalpisi;

$\Delta H_c = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ formülü ile hesaplanabilir.



Çözünme olgusunun, yalnızca entalpi değişimi ile açıklanması yeterli değildir. entalpinin yanı sıra çözünme sırasında maddelerin entropisindeki değişimde etkin bir rol oynar. Örneğin bir katının sıvı bir çözücüde çözünmesi ile entropisinin artması çözünmeyi kolaylaştırır. Diğer taraftan bir gazın sıvıda çözünmesi ile entropisinin azalması ise çözünmesini zorlaştıran bir etkidir.



2. Gazların Çözünürlüğüne Basıncın etkisi (Henry Yasası)

Katı ve sıvıların çözünürlüklerine basıncın etkisi önemsizdir. Gazların ise kısmi basıncı arttıkça çözünürlüğü de artar. Bir gazın sıvı içindeki çözünürlüğü, sıvı üzerindeki gazın kısmi basıncı ile doğru orantılıdır.

Bir gazın çözünürlüğünün gaz basıncıyla doğru orantılı olarak değişmesi Henry Yasası olarak adlandırılır ve

$$C = k \cdot P_{\text{gaz}}$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

C: Gazın belli çözücüde, sabit sıcaklıktaki çözünürlüğü

P_{gaz} = Gazın bu çözültideki kısmi basıncı

k = orantı katsayısı (Henry sabiti)

Henry yasası, yalnızca seyrek çözeltilerde ve düşük basınçlarda geçerlidir. Ayrıca, çözüldüğü sıvı ile kimyasal tepkime veren gazların büyük bir kısmı da Henry yasasından sapma gösterir. CO_2 , SO_3 ve NH_3 gibi su ile kimyasal tepkimeye girerek çözünen gazların çözünürlüğü, vermeyenlere oranla daha fazladır.

ÖRNEK

0°C 'de 1 atm basınç yapan karbonmonoksit gazının su-
daki çözünürlüğü 0,224 g/100 mL sudur. Buna göre aynı
sıcaklıkta,

- 1 atm basınçta 500 mL suda kaç mol karbonmonoksit çözünür?
- Karbonmonoksit için Henry sabitinin sayısal değeri ve birimi nedir?
- 3 atm basınç yapan karbonmonoksitin molar çözünürlüğü kaç mol/L'dir? (CO: 28 g/mol)

100 mL'de $8 \cdot 10^{-3}$ mol CO çözünür.

500 mL'de ?

0,04 mol CO çözünür.

ÇÖZÜM

- 0°C 'de 1 atm'de 100 mL suda 0,224 g CO çözünür.

$$n_{\text{CO}} = \frac{0,224}{28} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\text{b) } [\text{CO}] = \frac{8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} = 0,08 \text{ M}$$

$$C = k \cdot P_{\text{gaz}}$$

$$0,08 \text{ M} = k \cdot 1 \text{ atm}$$

$$k = 0,08 \text{ M/atm}$$

- 3 atm'de;

$$C = k \cdot P_{\text{gaz}}$$

$$C = 0,08 \cdot \frac{\text{M}}{\text{atm}} \cdot 3 \text{ atm}$$

$$C = 0,24 \text{ M}$$

ÖRNEK

Azot gazının 25 °C de suda molar çözünürlüğüne ilişkin Henry sabiti $6,0 \cdot 10^{-4}$ mol/L.atm'dir. Hava mol yüzdesi olarak yaklaşık %78 N_2 gazı içerir. Bu durumda hava basıncının 1,0 atmosfer olduğu bir yerde 100 mL suda çözünen N_2 kütlesi kaç gramdır? ($N_2 = 28$ g/mol)

ÇÖZÜM

Hava içerisindeki N_2 gazı mol yüzdesi ile orantılı olarak basınç yapar. N_2 'nin kısmi basıncı,

$$P_{N_2} = 1 \text{ atm} \cdot \frac{78}{100} = 0,78 \text{ atm}$$

$$C = k \cdot P_{\text{gaz}}$$

$$C = 6,0 \cdot 10^{-4} \cdot 0,78$$

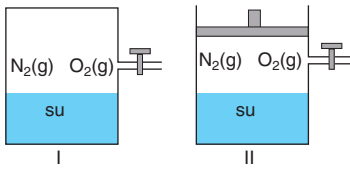
$$C = 4,68 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

1000 mL'de	$4,68 \cdot 10^{-4}$
100 mL'de	?

$$4,68 \cdot 10^{-5} \text{ mol } N_2 \text{ çözüdür.}$$

$$m_{N_2} = 4,68 \cdot 10^{-5} \cdot 28$$

$$m_{N_2} = 131,04 \cdot 10^{-5} \text{ gram } N_2 \text{ gazı çözüdür.}$$

ÖRNEK

Yukarıdaki her iki kaptaki da su üzerinde eşit miktarda $N_2(g)$ ve $O_2(g)$ gazları bulunmaktadır. Musluklar yardımıyla kaplara sabit sıcaklıkta 1'er mol N_2 gazı ekleniyor. Buna göre aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?

- A) 1. Kaptaki N_2 gazının çözünürlüğü artar.
- B) 1. Kaptaki sudaki O_2 'nin mol kesri azalır.
- C) 2. Kaptaki O_2 gazının kısmi basıncı azalır.
- D) 2. Kaptaki O_2 gazının çözünürlüğü değişmez.
- E) Her iki durumda da gazlara ait Henry sabitleri değişmez.

ÇÖZÜM

Gazların sudaki çözünürlükleri kısmi basınçları ile orantılıdır. Kısmi basınçtaki değişiklik çözünürlüğünü değiştirir. Ancak Henry sabiti gazın cinsine ve sıcaklığa bağlıdır.

Sabit hacimli olan I. kaba N_2 gazı eklendiğinde yalnızca N_2 'un kısmi basıncı artar, O_2 'ninki ise değişmez. N_2 'un çözünürlüğü ve sudaki mol kesri artar. O_2 'nin ise çözünürlüğü değişmez ama sudaki mol kesri azalır.

Pistonlu olan II. kaba ise N_2 gazı eklendiğinde N_2 'un kısmi basıncı artarken, hacim arttığı için O_2 'in kısmi basıncı azalır. Dolayısıyla O_2 'nin çözünürlüğü azalır.

Cevap D'dir.

3. Çözeltilerin Buhar Basınçları

Çözeltiyi oluşturan maddeler uçucu ve uçucu olmayan sıvılar olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Belli bir buhar basıncına sahip olan ve kolay buharlaşabilen maddelere uçucu madde denir. Su, aseton, kloroform, heksan ve benzen gibi çözücüler uçucu sıvılardır. Buhar basıncı düşük veya pratik anlamda olmayan maddelere ise uçucu olmayan madde denir.

İdeal çözeltilerin buhar basınçları Raoult Yasası ile bulunabilir. Bu yasaya göre birden fazla uçucu bileşen içeren ideal bir çözeltinin buhar basıncı, çözeltiyi oluşturan sıvı bileşenlerin kısmi buhar basınçlarının toplamına eşittir. Çözeltide ki bileşenlerin kısmi buhar basınçları ise, bir bileşene ait mol kesri ile saf halinin buhar basıncının çarpımına eşittir.

A ve B uçucu sıvılarından oluşan bir karışımın buhar basıncı;

$$P_A = P_A^\circ \cdot X_A$$

$$P_B = P_B^\circ \cdot X_B$$

P_A : Çözeltideki A bileşeninin kısmi buhar basıncı

P_B : Çözeltideki B bileşeninin kısmi buhar basıncı

P_A° : Saf A'nın buhar basıncı

P_B° : Saf B'nin buhar basıncı

X_A : A'nın mol kesri

X_B : B'nin mol kesri

$$P_{\text{top}} = P_A + P_B$$

$$P_{\text{top}} = P_A^\circ \cdot X_A + P_B^\circ \cdot X_B$$

formülü ile bulunabilir.

Bir çözeltinin üzerindeki buharın bileşimi sıvı fazının bileşimi ile aynı değildir. Buhar fazı, buhar basıncı yüksek olan bileşence daha zengindir. Buhar fazının bileşimi Dalton'un kısmi basınçlar yasası yardımıyla aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir.

$$y_A = \frac{P_A}{P_T} \quad y_B = \frac{P_B}{P_T}$$

ÖRNEK

Sıcaklıkları 30°C olan saf dietileter ve saf asetonun buhar basınçları sırayla 640 mmHg ve 280 mmHg olarak verilmektedir. 15,2 g dietileter ve 46,4 g aseton 30°C karıştırılıyor.

- Her bir bileşenin kısmi basıncı nedir?
- Çözeltinin toplam buhar basıncı nedir?
- Buhar fazının bileşimi nedir (Buhar fazında her bir maddenin mol kesri nedir)?
(Dietileter:76 g/mol; Aseton:58 g/mol)

ÇÖZÜM

$$\text{a) } n_{\text{eter}} = \frac{15,2 \text{ g}}{76 \text{ g/mol}} = 0,2 \text{ mol eter}$$

$$n_{\text{aseton}} = \frac{46,4 \text{ g}}{58 \text{ g/mol}} = 0,8 \text{ mol aseton}$$

$$P_{\text{eter}} = P_{\text{eter}}^\circ \cdot X_{\text{eter}} = 640 \cdot 0,2$$

$$P_{\text{eter}} = 128 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{aseton}} = P_{\text{aseton}}^\circ \cdot X_{\text{aseton}}$$

$$P_{\text{aseton}} = 280 \cdot 0,8 = 224 \text{ mmHg}$$

$$\text{b) } P_T = P_{\text{aseton}} + P_{\text{eter}}$$

$$P_T = 128 + 224 = 352 \text{ mmHg}$$

$$X_{\text{eter}} = \frac{0,2}{0,2 + 0,8} = 0,2$$

$$X_{\text{aseton}} = 1 - 0,2 = 0,8$$

$$\text{c) } Y_{\text{eter}} = \frac{P_{\text{eter}}}{P_{\text{Top}}} = \frac{128}{352}$$

$$Y_{\text{eter}} = 0,36$$

$$Y_{\text{aseton}} = 1 - 0,36 = 0,64$$

ÖRNEK

Benzen (C_6H_6) ile oktan (C_8H_{18}) ideal çözelti oluştururlar. Saf benzen ve oktanın 60°C'de buhar basınçları sırası ile 0,40 atm ve 0,10 atm'dir. 31,2 g benzen ve 68,4 g oktan içeren çözeltinin 60°C'de buhar basıncı kaç atm'dir?

(C: 12, H: 1 g/mol)

- A)** 0,11 **B)** 0,22 **C)** 0,33 **D)** 0,44 **E)** 0,5

ÇÖZÜM

$$n_B = \frac{31,2}{78} = 0,4 \text{ mol benzen} \quad n_O = \frac{68,4}{114} = 0,6 \text{ mol oktan}$$

$$X_B = \frac{0,4}{0,4 + 0,6} = 0,4 \quad X_O = 0,6$$

$$P_T = 0,40 \cdot 0,4 + 0,10 \cdot 0,6$$

$$P_T = 0,16 + 0,06 = 0,22 \text{ atm}$$

ÖRNEK

25 °C'de ideal bir çözelti oluşturan benzen ve toluen karışımının toplam buhar basıncı 61,80 mmHg'dır. Bu karışımdaki toluenin kısmi buhar basıncı 14,25 mmHg olduğuna göre benzenin sıvı fazdaki mol kesri aşağıdaki-lerden hangisinde doğru olarak verilmiştir? (Saf benzenin 25 °C'deki buhar basıncı 95,10 mmHg'dır)

- A) 0,1 B) 0,3 C) 0,5 D) 0,7 E) 0,9

ÇÖZÜM

$$P_T = P_{ben} + P_{tol}$$

$$P_T = P_{ben}^o \cdot X_{ben} + 14,25$$

$$61,80 = 95,10 \cdot X_{ben} + 14,25$$

$$X_{ben} = 0,5$$

Cevap C'dir.

ÖRNEK

Belli bir sıcaklıkta saf metanol ve saf etanolün buhar basınçları sırayla 120 mmHg ve 80 mmHg'dir. 9,6 g metanol ve 9,2 g etanol karıştırılıyor. Bu maddeler ideal bir çözelti oluşturduğuna göre,

- I. Etanolün kısmi buhar basıncı 32 mmHg'dir.
- II. Buhar fazındaki metanolün mol yüzdesi 72'dir.
- III. Çözeltinin toplam buhar basıncı 104 mmHg'dir.

Yargılarından hangileri doğrudur?

(Metanol: 32 g/mol; etanol: 46 g/mol)

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I ve III

ÇÖZÜM

$$n_m = \frac{9,6}{32} = 0,3 \text{ mol metanol}$$

$$n_e = \frac{9,2}{46} = 0,2 \text{ mol}$$

$$X_m = \frac{0,3}{0,5} = 0,6 \quad X_e = 0,4$$

I.

$$P_e = P_e^o \cdot X_e \quad P_m = P_m^o \cdot X_m$$

$$P_e = 80 \cdot 0,4 \quad P_m = 120 \cdot 0,6$$

$$P_e = 32 \text{ mmHg} \quad P_m = 72 \text{ mmHg}$$

$$II. Y_m = \frac{P_m}{P_T}$$

$$Y_m = \frac{72}{72 + 32}$$

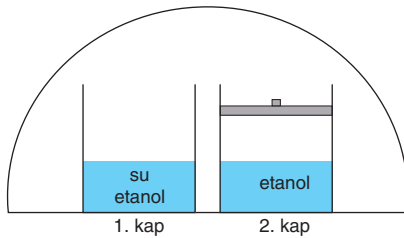
$$Y_m = 0,69$$

$$\% \text{ metanol} = \%69$$

III.

$$P_T = 32 + 72 = 104 \text{ mmHg}$$

Cevap E'dir.

ÖRNEK

Şekildeki sistemde 25 °C'de 1. kapta bulunan su-etanol çözeltisi buharıyla dengededir. 2. kapta bulunan etanol üzerindeki kapak açılarak sistemin tekrar dengeye gelmesi bekleniyor. Bu durumda;

- I. 2. kaptaki alkol tamamen buharlaşır.
- II. 1. kaptaki suyun mol kesri azalır.
- III. Buhar fazındaki alkolün hacim kesri artmıştır.

Yargılarından hangileri doğrudur?

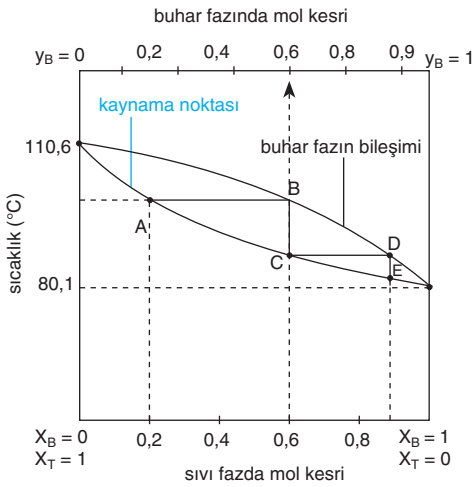
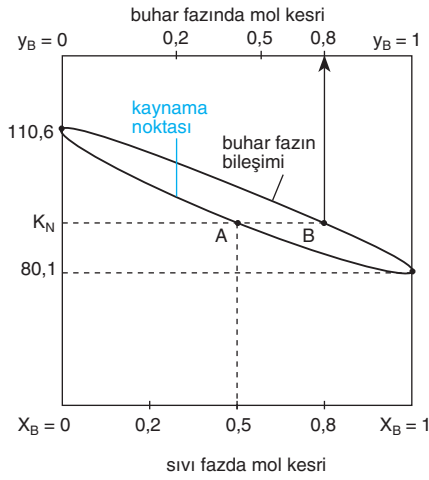
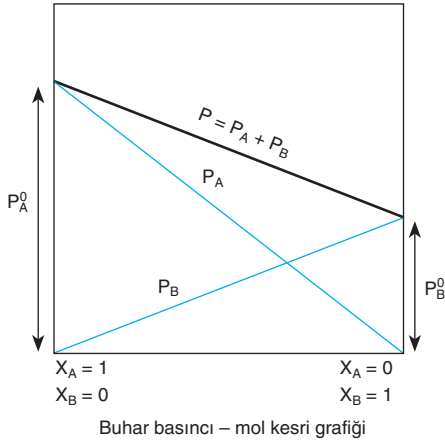
- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

ÇÖZÜM

Etanol-su arasındaki etkileşimler, etanol-etanol arasındaki etkileşimlerden daha kuvvetlidir. Bu nedenle 1. kaptaki dengenin yeniden kurulması sırasında etanol oranı zamanla artar. Bu durum 2. kaptaki etanol bitene kadar devam eder. 2. kaptaki etanol tamamen buharlaşır. 1. kaptaki su oranı azaldığı için (X_{su}) mol kesri de azalır. Buhar fazındaki hacim kesri, mol kesri ile orantılıdır. Daha çok alkol buharlaştığı için alkolün mol kesri dolayısıyla hacim kesri artmıştır.

Cevap E'dir.

4. İdeal Çözeltiler

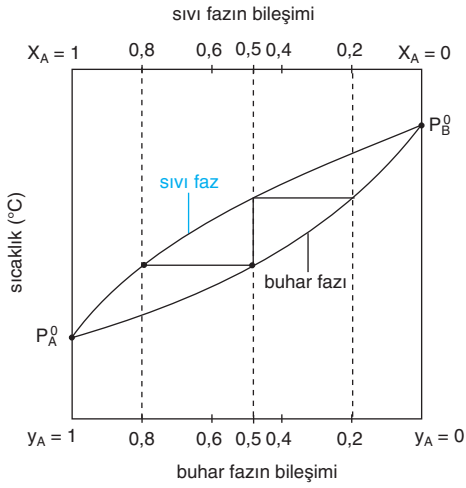


Her oranda karışabilen iki sıvı karıştırıldığında hacim ve sıcaklık değişimi olmuyorsa ideal çözeltiler oluşür. İdeal çözeltiler çözücü ve çözünen özelliklerinin birbirine benzer olduğu çözeltilerdir. Böyle çözeltilerde çözücü-çözücü, çözücü-çözünen ve çözünen-çözünen arasındaki moleküller arası etkileşimler birbirine çok benzerdir. Bu nedenle bu çözeltilerin hazırlanması sırasında herhangi net bir ısı alış veriş i olmaz ve iki bileşenin hacimlerinin toplamı çözeltilerin hacmine eşit olur. Raoult yasası yalnızca ideal veya ideal kabul edilen çözeltiler için geçerlidir. İdeal çözeltiliyi oluşturan bileşenler damıtma ile birbirinden yüksek oranda ayrılabilir. Yandaki grafikte A ve B sıvılarından oluşan ideal çözeltiliye ait buhar basıncı mol kesri grafiği görülmektedir.

Benzen ve toluen karışımının sıcaklık-bileşim diyagramı yandaki gibidir. Altta eğri sıvı karışımının belirli bileşimlerdeki kaynama noktasını gösterir. Üstteki eğri ise herhangi bir kaynama noktasındaki sıvı ile dengede olan buharın bileşimini verir. Buna göre molce %50 benzen - %50 toluen içeren bir karışımın ($X_B = X_T = 0,5$) kaynama noktası A noktasının gösterdiği sıcaklıktır (KN). A noktasından X eksenine paralel çizilerek ulaşılan B noktası ise, A noktasında kaynayan karışımın buhar fazının bileşimini verir. Buhar fazında benzenin mol kesri $y_B = 0,8$, toluenin ise $y_T = 0,2$ 'dir. Yani eşit mol oranındaki sıvı karışımın kaynaması ile elde edilen buhar fazı daha uçucu olan benzene daha zengindir. Bu buharın yoğunlaştırılıp tekrar kaynatılması ile benzene daha da zengin buhar karışımı elde edilir. Bu şekilde peşpeşe yapılan sürekli damıtma işlemine ayrışsal (fonksiyonlu) damıtma denir. Kaynama noktaları birbirine yakın sıvıların oluşturduğu karışımların ayrılmasında kullanılan bir yöntemdir.

Saf benzenin kaynama noktası $80,1^\circ\text{C}$ ve saf toluenin kaynama noktası $110,6^\circ\text{C}$ 'dir. Belirli bir basınçta benzen-toluene karışımının buhar basıncı iki bileşenin buhar basınçları arasında bir değere sahiptir. Bu nedenle karışımın kaynama noktası da saf sıvıların kaynama noktaları arasında bir değer alır. Yandaki grafik benzen ve toluene karışımının ayrışsal damıtma basamaklarını göstermektedir. Molce %20 benzen; %80 toluene içeren karışım A noktasında kaynar ve bu sırada buharın bileşimi B noktasındaki gibidir. Yani ilk damıtma ile elde edilen buhar fazında benzenin mol kesri $y_B = 0,6$ 'dir. Bu buhar karışımı yoğunlaştırılırsa oluşan sıvıda da benzenin mol kesri $X_B = 0,6$ olur ve bu sıvı C noktasında kaynar. İkinci kez kaynatılırsa bu kez buhar fazının bileşimi D olur. Bu buharında benzenin mol kesri $y_B = 0,9$ 'dur. Tekrar yoğunlaştırılırsa, yani ikinci damıtma sonucu elde edilen sıvı fazda benzenin mol kesri $X_B = 0,9$ olur. Bu sıvı ise E noktasında kaynar. Bu süreç bu şekilde devam eder ve her defasında benzen oranı artar.

ÖRNEK



Yukarıda verilen buhar basıncı-bileşim grafiğine göre, 0,2 mol B ve 0,8 mol A içeren karışımın damıtılması sırasında,

- I. İlk buharın bileşiminde molce %80 A bulunur.
- II. İlk buhar yoğunlaştırıldığında sıvı fazdaki A'nın mol kesri $X_A = 0,5$ 'tir.
- III. İkinci damıtma sonucunda buhar fazındaki B'nin mol kesri $y_B = 0,8$ 'dir.

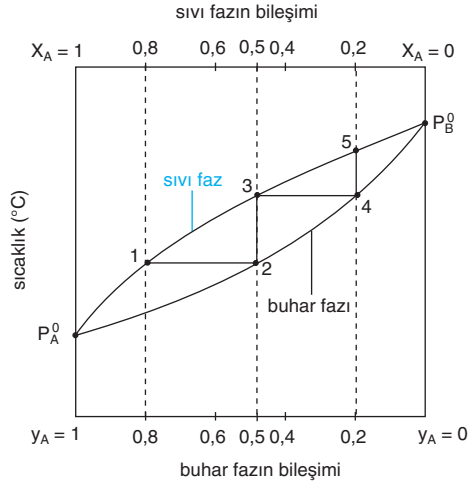
Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) II ve III E) I, II ve III

ÇÖZÜM

Başlangıç karışımında,

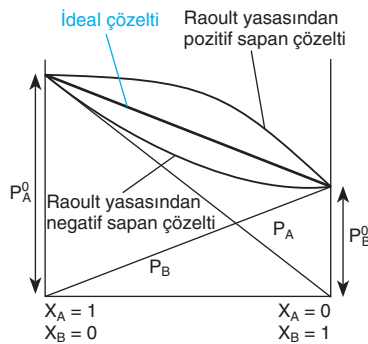
$$X_A = \frac{n_A}{n_T} = \frac{0,8}{0,8+0,2} = 0,8 \quad X_B = 1-0,8=0,2$$



1. noktasında sıvı hâlde iken damıtıldığında buhar eğrisini 2 noktasında keser. Bu noktada $X_A = 0,5$ ve $X_B = 0,5$ 'dir. Buhar molce %50 A içerir. Yoğunlaşır 3 noktasındaki sıvı elde edilir. Bu sıvıda $X_A = 0,5$ 'dir. İkinci damıtmada buhar 4, sıvı 5 noktasındadır. 4 noktasında B'nin mol kesri $y_B = 0,8$ 'dir.

Cevap D'dir.

5. İdeal Olmayan Çözeltiler: Çözelti oluşumu sırasında ısı alışverişi ve hacim değişimi gözlenmeyen karışımlara ideal çözeltiler denir. Çözelti oluşurken sıcaklığının değişmesi ve hacim değişimi karışımın ideal olmadığını gösterir. İdeal olmayan çözeltiler Raoult yasasına uymazlar. Bu tür çözeltilerde bileşenlerin mol kesirleri ile saf haldeki buhar basınçlarının çarpımı o bileşenlerin kısmi basınçlarını vermez, yani böyle çözeltilerde kısmi basınçlar, Raoult yasasıyla hesaplanamaz.



ÖRNEK

25°C'da saf su ve metanolün yoğunlukları sırasıyla 1,00 g/mL ve 0,80 g/mL'dir. Bu sıcaklıktaki 20,0 mL su ile 20,0 mL metanolün karıştırılmasıyla oluşan çözeltinin yoğunluğu 0,96 g/mL olduğuna göre,

- I. İdeal bir çözelti oluşur
 - II. Çözeltinin buhar basıncı Raoult yasası ile bulunabilir
 - III. Çözeltinin hacmi 40 mL'dir.
 - IV. Bu çözelti oluşurken ısı alışverişi olmuştur.
- yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız IV C) I ve II
D) II ve III E) II, III ve IV

ÇÖZÜM

İdeal çözeltilerin oluşumu sırasında hacim değişimi ve ısı alış-verişi olmadığı kabul edilir. Bu çözelti oluşumunda saf sıvıların toplam hacminin korunup korunmadığına bakılır.

$$V_{\text{su}} = 20 \text{ mL} \quad m_{\text{su}} = d_{\text{su}} \cdot V_{\text{su}} = 1 \cdot 20 = 20 \text{ g}$$

$$V_{\text{Me}} = 20 \text{ mL} \quad m_{\text{Me}} = d_{\text{Me}} \cdot V_{\text{Me}} = 0,80 \cdot 20 = 16 \text{ g}$$

$$m_{\text{çözelti}} = 20 + 16 = 36 \text{ g}$$

$$d_{\text{çöz}} = \frac{m_{\text{çöz}}}{V_{\text{çöz}}} \quad 0,96 = \frac{36}{V_{\text{çöz}}} \quad V_{\text{çöz}} = 37,5 \text{ mL}$$

Su ve metanolün toplam hacminin 40 mL olması beklenirken 37,5 mL olduğuna göre ideal çözelti değildir. Bu nedenle karışımın buhar basıncı Raoult yasası ile bulunamaz. İdeal bir çözelti olmadığı için oluşumu sırasında ısı alışverişi de olmuştur.

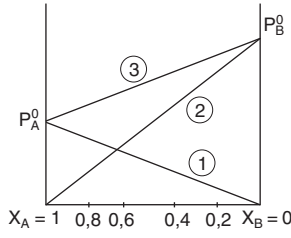
Cevap B'dir.

İdeal olmayan çözeltilerde farklı tür moleküller arasındaki etkileşimler, aynı tür moleküller arasındaki etkileşimlerden farklıdır. Burada iki durum söz konusudur.

- Eğer aynı tür moleküller arasındaki etkileşimler, farklı tür moleküller arasındaki etkileşimlerden büyük ise çözeltilerdeki her iki bileşen de kolaylıkla buhar fazına geçer. Bu durumda çözeltinin toplam buhar basıncı, Raoult yasası ile hesaplanan değerden daha büyük olur. Bu durum **Raoult yasasından pozitif sapma** olarak nitelendirilir. Bu tür çözeltiler hazırlanırken dışarıdan ısı alınır yani çözelti oluşumu endotermiktir.
- Aynı tür moleküller arasındaki kuvvetler, farklı tür moleküller arasındaki kuvvetlerden küçük olduğunda ise **Raoult yasasından negatif sapma** olur. Karışımı oluşturan tanecikler arasındaki etkileşimler saf haldekinden daha fazla olduğu için buharlaşma zorlaşmıştır. Beklenen değerden daha düşük bir buhar basıncı ölçülür. Bu tür çözeltiler hazırlanırken dışarıya ısı verilir yani çözelti oluşumu ekzotermiktir.

ÖRNEK

Yandaki grafikte A ve B sıvılarına ait buhar basıncı-sıvı faz bileşimi (mol kesri) grafiği verilmiştir. Buna göre, aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?



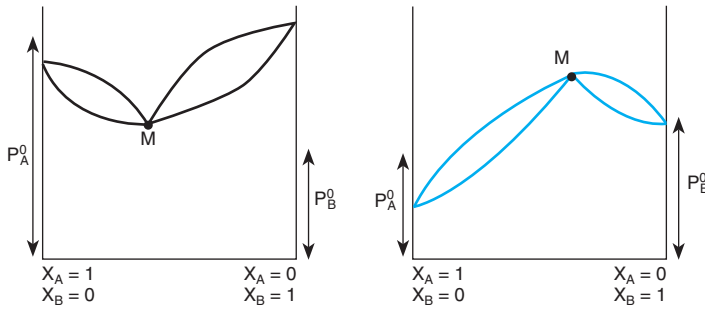
- A) Çözelti Raoult yasasından pozitif sapma gösterir.
 B) 1. doğrusu A sıvının kısmi buhar basıncını gösterir.
 C) B'nin mol kesri 0,4 olduğunda A ve B'nin kısmi buhar basıncı eşit olur.
 D) 3 doğrusu karışımın buhar basıncını gösterir.
 E) Saf B sıvısı A sıvısından daha uçucudur.

ÇÖZÜM

Saf hâldeki A ve B sıvılarının buhar basınçlarını birleştiren çizgi doğrusal olduğu için (3 doğrusu) çözelti ideal çözüldür. Raoult yasasına uyar.

Cevap A'dır.

Azeotropik karışımlar: Raoult yasasından çok fazla negatif veya pozitif sapma gösteren karışımların bileşen buhar basıncı grafiklerinde bir noktada buhar fazının bileşimi ile sıvı fazın bileşimi eşit olur. Bu noktalarda karışım saf madde gibi davranır ve damıtma ile birbirinden ayrılmaz. Aşağıda mol kesri buhar basıncı grafiği verilen karışımlardan birincisi Raoult yasasından negatif sapma, ikincisi ise pozitif sapma gösteren azeotropik karışımlardır. Bu grafiklerdeki M noktaları **ötektik nokta** olarak adlandırılır ve M noktasındaki bileşene sahip karışım saf bir madde gibi davranmaktadır.



Örneğin, normal kaynama noktası 78,3°C olan etanol ve normal kaynama noktası 100°C olan su, kütlece % 60 etanol içerecek şekilde karıştırılırsa 78,17°C'da minimum kaynama sıcaklığı veren bir azeotropik karışım elde edilir. Bu karışımı oluşturan etanol ve su damıtma ile birbirinden ayrılmaz.

6. Koligatif Özellikler

Çözünenin türüne bağlı olmayıp sadece çözünenin tanecik sayısına bağlı özelliklere koligatif özellikler denir. Koligatif özelliklerin sayısal değerini belirlemek için çözünenin ne olduğunu değil, sadece derişimini bilmek gerekir.

Çözümlerin koligatif özellikleri,

- Buhar basıncı düşmesi
- Kaynama noktası yükselmesi
- Donma noktası düşmesi
- Ozmotik basınç şeklinde sıralanabilir.

**NOT**

İdeal olmayan çözümler aşırı seyreltik olduklarında ideale yaklaşırlar.

6. 1. Buhar Basıncı Düşmesi: Saf bir sıvı içerisinde uçucu olmayan bir katı çözüldüğünde buhar basıncı düşer. Çözeltinin buhar basıncı çözültideki sıvı çözücünün kısmi basıncına eşittir. Çünkü uçucu olmayan maddenin buhar basıncı sıfır kabul edilmiştir.

$$P_{\text{SIVI}} = P_{\text{SIVI}}^{\circ} \cdot X_{\text{SIVI}}$$

$$P_{\text{çözülti}} = P_{\text{SIVI}}$$

$$P_{\text{çözülti}} = P_{\text{SIVI}}^{\circ} \cdot X_{\text{SIVI}}$$

ÖRNEK

Etilen glikol uçucu olmayan bir sıvıdır. 9 g su ile 31 g etilen glikol karıştırılarak elde edilen ideal çözeltinin 25°C'deki buhar basıncı kaç torr'dur? (Etilen glikol $C_2H_6O_2$: 62 g/mol, 25°C'de suyun buhar basıncı 24 torr'dur)

ÇÖZÜM

$$n_{\text{su}} = \frac{9}{18} = 0,5 \text{ mol}$$

$$n_{\text{eg}} = \frac{31}{62} = 0,5 \text{ mol}$$

$$X_{\text{su}} = \frac{0,5}{0,5 + 0,5} = 0,5$$

$$P_{\text{çöz}} = P_{\text{su}}^{\circ} \cdot X_{\text{su}} = 24 \cdot 0,5$$

$$P_{\text{çöz}} = 12 \text{ torr}$$

ÖRNEK

Belli bir sıcaklıkta saf suyun buhar basıncı 10,4 mmHg'dir. 90 gram suda kaç gram sakkaroz çözüldüğünde elde edilen çözeltinin buhar basıncı 10,0 mmHg olur? (H_2O : 18 g/mol, sakkaroz: 342 g/mol)

ÇÖZÜM

$$n_{\text{su}} = \frac{90}{18} = 5 \text{ mol}$$

$$n_{\text{sak}} = \frac{m}{342}$$

$$X_{\text{su}} = \frac{5}{5 + n_{\text{sak}}}$$

$$P_{\text{çöz}} = P_{\text{su}}^{\circ} \cdot X_{\text{su}}$$

$$10,0 = 10,4 \cdot \frac{5}{5 + n_{\text{sak}}}$$

$$10 + 2n_{\text{sak}} = 10,4$$

$$n_{\text{sak}} = 0,2 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M_A}$$

$$0,2 = \frac{m}{342}$$

$$m_{\text{sak}} = 68,4 \text{ g sakkaroz}$$

çözünmelidir.

ÖRNEK

25 °C'de saf suyun buhar basıncı 25,0 mmHg'dir. Bir üre çözeltisinin aynı koşullarda buhar basıncı 22,5 mmHg olduğuna göre bu çözeltinin molalitesi nedir? (H_2O :18, Üre:60 g/mol)

A) 2,13 B) 3,74 C) 5,51 D) 6,17 E) 7,13

ÇÖZÜM

$$P_{\text{çöz}} = P_{\text{su}}^{\circ} \cdot X_{\text{su}}$$

$$22,5 = 25,0 \cdot X_{\text{su}} \Rightarrow X_{\text{su}} = 0,9$$

X_{su} : 0,9 olduğuna göre 1 mol çözeltide 0,9 mol su ve 0,1 mol bulunmaktadır.

$$m = \frac{0,1 \text{ mol üre}}{0,9 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg su}} = 6,17 \text{ molal}$$

Cevap D'dir.

ÖRNEK

Mol kütlesi 154 g/mol olan 4,62 g bifenilin ($C_{12}H_{10}$) 75,0 g benzende çözülerek hazırlanan çözeltinin kaynama ve donma noktalarını bulunuz. (K_k : 2,53 °C/m ve K_d : 5,12 °C/m, Benzenin normal KN: 80,1 °C ve DN:5,5 °C)

ÇÖZÜM

$$n_{bf} = \frac{4,62}{154} = 0,03 \text{ mol bifenil}$$

$$m = \frac{0,03 \text{ mol}}{75 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} = 0,4 \text{ molal bifenil}$$

Kaynama noktası:

$$\Delta T_k = m \cdot K_k = 0,4 \cdot 2,53 = 1,012 \text{ °C}$$

$$KN = 80,1 + 1,012 = 81,112 \text{ °C}$$

Donma noktası:

$$\Delta T_d = m \cdot K_d = 0,4 \cdot 5,12 = 2,048$$

$$KN = 5,5 - 2,048 = 3,452 \text{ °C}$$

ÖRNEK

Bir X bileşiğinin 4,5 gramı 50 gram suda çözüldüğünde oluşan çözelti -0,93 °C'de donmaktadır. Buna göre,

- I. X'in molekül kütlesi 180 g/mol'dür.
- II. Çözeltinin molal derişimi 0,5 molaldır.
- III. Bu çözeltinin kaynamaya başlama sıcaklığı 100,26 °C dir.

Yargılarından hangileri doğrudur?

(Su için $K_d = 1,86 \text{ °C/m}$; $K_k = 0,52 \text{ °C/m}$)

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

ÇÖZÜM

$$\Delta T_d = m \cdot K_d$$

$$0,93 = m \cdot 1,86$$

$$m = 0,5 \text{ molal}$$

$$0,5 = \frac{n}{50 \cdot 10^{-3}}$$

$$n = 0,025 \text{ mol X}$$

$$M_A = \frac{m}{n} = \frac{4,5 \text{ g}}{0,025 \text{ mol}} = 180 \text{ g/mol}$$

$$\Delta T_k = m \cdot K_k$$

$$\Delta T_k = 0,5 \cdot 0,52$$

$$\Delta T_k = 0,26 \text{ °C}$$

$$KN = 100 + 0,26$$

$$KN = 100,26 \text{ °C}$$

Cevap E'dir.

ÖRNEK

30,0 gram Karbontetraklorürde (CCl_4), 0,30 gram uçucu olmayan bir X maddesinin moleküler halde çözünmesi ile hazırlanmış bir çözelti, saf CCl_4 'den 0,40°C daha yüksek bir kaynama noktasına sahiptir.

Buna göre, CCl_4 için molal kaynama noktası yükselme sabiti K_k kaç °C/m'dir? ($X = 125 \text{ g/mol}$)

ÇÖZÜM

$$n_x = \frac{0,30}{125} = 0,0024 \text{ mol}$$

$$m = \frac{0,0024 \text{ mol}}{30 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$m = 0,08 \text{ molal}$$

$$\Delta T_k = m \cdot K_k$$

$$0,40 = 0,08 \cdot K_k$$

$$K_k = 5 \text{ °C/m}$$

Elektrolit çözeltiler: İyonik veya polar kovalent bağlı bileşiklerin suda çözünmesi ile oluşan ve elektriği ileten çözeltiler elektrolit çözeltiler olarak adlandırılır. Koligatif özellikler çözeltide bulunan tanecik türüne değil sayısına bağlıdır. İyonlaştığında daha fazla tanecik oluşturan maddeler kaynama ve donma noktasını daha fazla etkiler.

1 molal $C_6H_{12}O_6$

1 molal NaCl

1 molal $MgCl_2$

1 molal tanecik $100 + a \text{ °C}$ 'de kaynar,sa,

2 molal tanecik $100 + 2a \text{ °C}$ 'de kaynar.

3 molal tanecik $100 + 3a \text{ °C}$ 'de kaynar.

Yeterince seyreltik elektrolit çözeltilerin kaynama noktaları ve donma noktaları aşağıdaki formüller yardımıyla bulunur.

$$\Delta T_k = m \cdot K_k \cdot i \quad \Delta T_d = m \cdot K_d \cdot i$$

i : Vant't Hoff Faktörü, birim maddedeki tanecik sayısı

Vant't Hoff Faktörü , i sayısı, şeker, alkol gibi moleküler olarak çözünen maddeler için 1, tam olarak iyonlaşabilen maddeler olan NaCl için 2, MgCl₂ için 3'tür.

ÖRNEK

1 atm basınç altında 500 gram suda 1 mol NaCl ün tamamen çözünmesiyle oluşan çözeltinin donma noktası ve kaynama noktasının kaç °C olduğunu hesaplayınız.

(K_k = 0,52 °C/molal, K_d = 1,86 °C/molal Suyun normal KN: 100 °C ve DN: 0 °C dir.)

ÇÖZÜM

$$m = \frac{1 \text{ mol}}{0,5 \text{ kg su}} = 2 \text{ molal}$$

NaCl için $i = 2$

$$\Delta T_k = m \cdot K_k \cdot i = 2 \cdot 0,52 \cdot 2 = 2,08 \text{ KN} = 102,08^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_d = m \cdot K_d \cdot i = 2 \cdot 1,86 \cdot 2 = 7,44 \text{ DN} = -7,44^\circ\text{C}$$

ÖRNEK

Saf suyun 1 atmosfer basınçta kaynama noktası 100°C'dir. Aynı miktarda su içeren üç ayrı kaba eşit mol sayılarında X, Y, Z maddeleri ayrı ayrı eklendiğinde oluşan çözeltilerin kaynama noktalarının sırasıyla; 102°C, 106°C, 108°C olduğu gözlenmiştir. **Buna göre X, Y, Z maddeleri sırasıyla aşağıdakilerden hangisi olabilir?**

- A) NaCl , MgCl₂ , AlCl₃ B) Glikoz , NaCl , MgCl₂
 C) Glikoz , MgCl₂ , AlCl₃ D) AlCl₃ , MgCl₂ , NaCl
 E) AlCl₃ , MgCl₂ , Glikoz

ÇÖZÜM

X için $\Delta T_k = 2^\circ\text{C}$ ise $i = 1$ ise Bu durumda X : Glikoz

Y için $\Delta T_k = 6^\circ\text{C}$ ise $i = 3$ Y : MgCl₂

Z için $\Delta T_k = 8^\circ\text{C}$ ise $i = 4$ olur. Z : AlCl₃ olabilir.

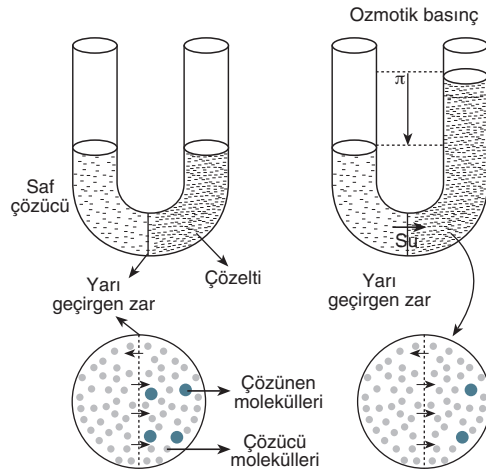
Cevap C'dir.

UYARI : Elektrolit çözeltiler, güçlü elektrolitler ve zayıf elektrolitler olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Güçlü elektrolitler çözeltide tamamen iyonlaşırlar. Polar kovalent bağları olan zayıf elektrolitler çözeltide tam olarak iyonlaşmazlar ve moleküllerin bir kısmı çözeltide iyonlaşmamış halde bulunur.

6. 4. Osmotik Basınç

Osmoz olayı, çözünen parçacıklarının geçemediği yarı geçirgen bir zardan çözücü moleküllerinin difüzyonudur. Yarı geçirgen zarın iki tarafında farklı derişimdeki çözeltiler yer aldığıında, çözücü daha seyreltik çözeltiden (daha fazla çözücü içerir) daha derişik çözeltiye (daha az çözücü içerir) hareket eder. Osmoz olayı, derişik çözelti yeteri kadar seyreltik olana kadar diğer bir deyişle, çözücü molekülleri zardan zıt yönlerde eşit hızda geçişleri sağlanana kadar devam eder. Osmotik basınç ise, osmoz sırasında daha derişik çözeltiden, çözücü akışını durdurmak için gereken basınçtır. Bir çözeltinin osmotik basıncı aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$\pi = \frac{n}{V} RT = M RT$$



ÖRNEK

Anilinden 1,86 g alınıp 73,14 g eterde çözüldüğünde oluşan çözeltinin 273 K'deki yoğunluğu 0,80 g/mL'dir. Çözeltinin osmotik basıncını hesaplayınız.

(C₆H₅NH₂: 93 g/mol)

ÇÖZÜM

$$n_A = \frac{1,86}{93} = 0,02 \text{ mol anilin}$$

$$M_{\text{çöz}} = 1,86 + 73,14 = 75 \text{ g} \Rightarrow V_{\text{çöz}} = 75 \cdot 0,80 = 60 \text{ mL}$$

$$M = \frac{0,02 \text{ mol}}{60 \cdot 10^{-3} \text{ L}}$$

$$\pi = M \cdot R \cdot T = \frac{0,02}{60 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273 \Rightarrow \pi = 7,47 \text{ atm}$$

ÖRNEK

2,50 gram organik bir polimer içeren 100 mL benzen çözeltisinin 0 °C'deki osmotik basıncı 8,512 mmHg'dir. Buna göre organik polimerin mol kütlesi nedir?

ÇÖZÜM

$$\pi = 8,512 \text{ mmHg} = \frac{8,512}{760} = 0,0112$$

$$\pi = M \cdot R \cdot T \quad 0,0112 = M \cdot \frac{22,4}{273} \cdot 273 \Rightarrow M = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

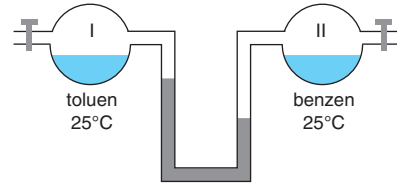
$$M = \frac{n}{V} \quad 5 \cdot 10^{-4} = \frac{n}{0,1} \Rightarrow n = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M_A} \quad 5 \cdot 10^{-5} = \frac{2,5}{M_A} \Rightarrow M_A = 50 \text{ 000 g/mol}$$

Konu Kavrama Testleri

- 20°C'da 0,2 atm basınç altında doymuş O₂ gazı çözeltilisinin derişimi kaç mol/L dir?
(20°C'de O₂ için $k = 23 \cdot 10^{-3}$ mol/L.atm' dir)
A) $4,6 \cdot 10^{-3}$ B) $2,3 \cdot 10^{-3}$ C) $4,6 \cdot 10^{-5}$
D) $2,3 \cdot 10^{-5}$ E) $2,3 \cdot 10^{-6}$
- 0 °C da 1,00 atm basınca sahip X₂ gazının saf sudaki çözünürlüğü 44,8 mL/L dir. X₂'nin buhar fazındaki mol kesrinin 0,2 olduğu bir karışımdaki doymuş çözeltilisinin molaritesi nedir?
A) $0,1 \cdot 10^{-3}$ B) $0,2 \cdot 10^{-3}$ C) $0,3 \cdot 10^{-3}$
D) $0,4 \cdot 10^{-3}$ E) $0,5 \cdot 10^{-3}$
- 25°C'da Saf benzen ve toluenin buhar basınçları sırası ile 70,0 mmHg ve 20,0 mmHg' dir. Benzen ve toluenden oluşan ideal bir karışımda buhar fazındaki benzenin mol kesri 0,6 olduğuna göre sıvı fazdaki toluenin mol kesri aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir?
A) 0,1 B) 0,3 C) 0,5 D) 0,7 E) 0,9
- İdeal karışım oluşturdukları düşünülen heptan ve oktanın 40°C'da saf haldeki buhar basınçları sırayla 0,120 atm ve 0,040 atm'dir. Aynı sıcaklıkta 1 mol heptan ile 4 mol oktan karıştırıldığında toplam buhar basıncı ne olur?
A) 0,014 B) 0,028 C) 0,056
D) 0,084 E) 0,105
- A ve B sıvılarının karışımları ideal çözelti oluşturur. 0,1 mol A ve bir miktar B karışımının 20°C'da toplam buhar basıncı 48 cmHg'dir. Bu sıcaklıkta saf A ve B sıvılarının buhar basınçları sırasıyla 80 cmHg ve 40 cmHg olduğuna göre karışımda bulunan B'nin mol sayısı nedir?
A) 0,2 B) 0,4 C) 0,6 D) 0,8 E) 0,9

6.



- 25°C'de içinde civa bulunan bir U boru yardımıyla birbirine bağlı olan iki balondan birinde benzen diğesinde ise toluen bulunmaktadır. Benzen ve toluen birbiri içerisinde çözünebilir sıvılar olduğuna göre aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?
- Toluenin buhar basıncı daha düşüktür.
 - Benzen molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri daha zayıftır.
 - I. kaba toluen eklenirse civa seviyeleri değişmez.
 - II. Kaba toluen eklenirse civa seviyeleri eşitlenebilir.
 - I. Kap ısıtılırsa civa seviyeleri eşitlenebilir.
- Saf suyun 101 °C daki buhar basıncı 788 torr dur. Deniz kıyısında suyun 101 °C da kaynaması için 1,0 kg suyun içine kaç gram glikoz (C₆H₁₂O₆) ilave edilmelidir? (C₆H₁₂O₆ : 180 g/mol)
A) 34,5 B) 145,5 C) 374,4
D) 446,5 E) 673,5
 - Suyun 20°C'daki buhar basıncı 17,54 mmHg'dir. 114 g karbonhidratın 1000 g suda çözüldüğünde buhar basıncı 0,092 mmHg kadar düşmektedir. Buna göre karbonhidratın mol kütlesi kaçtır?
A) 234,2 B) 284,8 C) 342,0
D) 395,2 E) 412,3
 - Molekül hâlinde çözünen 1,0 g bir bileşik; 51,2 g benzenin donma noktasını 5,5 °C'den 3,0 °C'ye düşürmektedir. Bu bileşiğin mol kütlesi kaç g/mol'dür? (Benzen için K_d: 5,12 °C /m)
A) 36 B) 40 C) 60 D) 64 E) 82

10. m gram KMnO_4 katısının 400 gram suda çözünmesiyle oluşan çözeltinin 1 atm deki donmaya başlama sıcaklığı $-3,72^\circ\text{C}$ dir. Buna göre, çözünen KMnO_4 kütlesi kaç gramdır?

(KMnO_4 : 158 g/mol, K_f : $1,86^\circ\text{C/m}$)

- A) 63,2 B) 68,7 C) 72,4 D) 92,8 E) 94,6

11. Kırmızı kan hücresinde çözünmüş bulunan tane-ciklerin derişimi yaklaşık olarak 0,3 M'dir. Hücreler yarı geçirgen bir zarla (membran) çevrilidir. 300 K'de hücreler kan plazmasından uzaklaşıyorsa hücre içindeki osmotik basınç ne kadardır?

- A) 3,84 B) 7,38 C) 19,2 D) 28,6 E) 38,4

12. 4,38 gramlık bir organik bileşik 500 mL hacminde bir çözelti oluşturmak için suda çözülüyor. Bu çözeltinin 27°C de osmotik basıncı 1,58 atm dir. Bu bileşiğin analizi kütlece %49,3 Karbon içerdiğini göstermiştir. Buna göre bileşiğin molekül formülü aşağıdakilerden hangisi olabilir?

- A) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$ B) $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$ C) $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}_2$
D) $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_4$ E) $\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{O}_2$

13. 0,1 M $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ çözeltisinin 27°C 'deki osmotik basıncı 9,84 atm'dir. Buna göre Vant hoff faktörü (i) kaçtır?

- A) 5 B) 4 C) 3 D) 2 E) 1

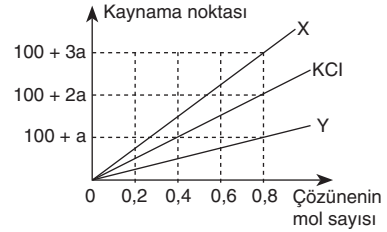
14. İdeal çözeltiler ile ilgili,

- I. Çözelti hacmi, saf çözücü ve çözünen hacimlerinin toplamına eşittir.
II. Çözünme sırasında çözelti sıcaklığı değişmez.
III. Raoult Yasasına uygun davranırlar.

Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
D) I ve III E) I, II ve III

15. Eşit miktardaki saf suda çözünen katıların mol sayılarına karşılık çözeltilerin kaynama noktalarının yükselme miktarı grafikteki gibidir.



Buna göre X ve Y saf katıları aşağıdakilerden hangisi olabilir?

- | X | Y |
|--|-------------------------------------|
| A) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | NaNO_3 |
| B) NaNO_3 | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ |
| C) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ |
| D) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ |
| E) AlCl_3 | NaNO_3 |

Konu Kavrama Çözümleri

1. $C = k \cdot P_{\text{gaz}}$

$$C = 23 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{atm}} \cdot 0,2 \text{ atm}$$

$$C = 4,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Cevap A

2. İlk olarak 20 °C'deki X_2 gazına ait Henry sabiti bulunur. Ancak mL/L olarak verilen çözünürlük mol/L'ye çevrilir. X_2 ' buhar fazındaki mol kesri kısmi basıncı ile otantılıdır. 1 L çözümlerde 44,8 mL X_2 gazı çözünmüştür. (NŞA'da)

$$n_{X_2} = \frac{44,8 \cdot 10^{-3} \text{ L}}{22,4 \text{ L/mol}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol } X_2 \text{ (1L'de çözünür.)}$$

$$[X_2] = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1 \text{ L}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$C = k \cdot P_{\text{gaz}}$$

$$2 \cdot 10^{-3} = k \cdot 1$$

$$k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ M} \cdot \text{atm}^{-1}$$

$$C = k \cdot P_{\text{gaz}}$$

$$C = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2$$

$$C = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Cevap D

3. $y_b = 0,6$ ise $y_t = 0,4$ $P_T = P_t^\circ \cdot X_t + P_b^\circ (1 - X_t)$

$$y_t = \frac{P_t}{P_{\text{top}}} \quad 0,4 = \frac{20 \cdot X_t}{20 X_t + 70 (1 - X_t)}$$

$$X_t + 28 - 28X_t = 20X_t$$

$$X_t = 0,7$$

Cevap D

4. $X_{\text{heptan}} = \frac{1}{5} = 0,2$

$$X_{\text{oktan}} = 0,8$$

$$P_{\text{Top}} = P_{\text{oktan}}^\circ \cdot X_{\text{oktan}} + P_{\text{heptan}}^\circ \cdot X_{\text{heptan}}$$

$$P_{\text{Top}} = 0,120 \cdot 0,2 + 0,04 \cdot 0,8$$

$$P_{\text{Top}} = 0,024 + 0,032 = 0,056$$

Cevap C

5. $P_T = P_A^\circ \cdot X_A + P_B^\circ \cdot X_B$

$$48 = 80 \cdot \frac{0,1}{0,1+n_B} + 40 \cdot \frac{n_B}{0,1+n_B}$$

$$n_B = 0,4 \text{ mol}$$

Cevap B'dir.

6. Civa seviyesi sağ tarafta daha düşük olduğuna göre benzenin buhar basıncı daha yüksektir. Daha kolay buharlaşabilen benzen sıvısında moleküller arası çekim kuvvetleri daha zayıf olmalıdır. Buhar basıncı madde miktarına bağlı olmayan ayırt edici bir özelliktir. Bu nedenle I. kaptaki toluen miktarının artması buhar basıncını değiştirmez. İkinci kaba toluen eklendiğinde karışımın buhar basıncı benzene göre daha düşük olur ancak toluene eşit olamaz. I. kap ısıtıldığında toluenin buhar basıncı artar ve benzene eşit olabilir. Bu durumda civa seviyeleri eşitlenebilir.

Cevap D

- 7.

$$P_{\text{çöz}} = P_{\text{su}} \cdot X_{\text{su}}$$

$$P_{\text{su}} = P_{\text{su}}^\circ \cdot X_{\text{su}}$$

$$760 = 788 \cdot X_{\text{su}}$$

$$X_{\text{su}} = 0,964$$

$$n_{\text{su}} = \frac{1000}{18} = 55,56$$

$$X_{\text{su}} = \frac{55,56}{55,56 + n_{\text{glikoz}}} = 0,964$$

$$n_{\text{glikoz}} = 2,08 \text{ mol}$$

$$m_{\text{glikoz}} = 2,08 \cdot 180$$

$$= 374,4 \text{ g}$$

Cevap C

8. $P_{\text{çöz}} = P_{\text{su}}^\circ \cdot X_{\text{su}}$

$$(17,54 - 0,092) = 17,54 \cdot X_{\text{su}}$$

$$17,448 = 17,54 \cdot X_{\text{su}}$$

$$X_{\text{su}} = 0,995$$

1 mol karışımında 0,995 mol su ve 0,005 mol sakkaroz bulunur.

$$m_{\text{su}} = 18,0995 = 17,91 \text{ g su}$$

$$17,91 \text{ g su} \quad 0,065 \text{ mol sakkaroz}$$

$$\frac{1000 \text{ g su}}{?}$$

$$n = 0,28 \text{ mol sakkaroz}$$

$$n = \frac{m}{M_A} \quad 0,28 = \frac{95,76}{M_A}$$

$$M_A = 342$$

Cevap C

$$9. \Delta T_d = 5,5 - 3,0 = 2,5^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_d = m \cdot K_d$$

$$2,5 = m \cdot 5,12$$

$$2,5 = \frac{1,0/M_A}{51,2 \cdot 10^{-3}} \cdot 5,12$$

$$M_A = 40 \text{ g/mol}$$

Cevap B

$$10. \Delta T_k = m \cdot K_d \cdot i$$

$$372 = m \cdot 1,86 \cdot 2$$

$$m = 1 \text{ molal}$$

$$1 = \frac{m/158}{0,4}$$

$$m = 63,2 \text{ g KMnO}_4 \text{ çözülmüştür.}$$

Cevap A

$$11. \pi = M \cdot R \cdot T$$

$$\pi = 0,3 \cdot 0,082 \cdot 300$$

$$\pi = 7,38 \text{ atm.}$$

Cevap B

$$12. m = \frac{n}{v} \quad 0,06 = \frac{n}{0,5}$$

$$n = 0,03 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{m_A} \quad 0,03 = \frac{4,38}{m_A}$$

$$m_A = 146 \text{ g/mol}$$

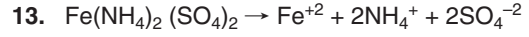
$$m_C = 146 \cdot \frac{49,3}{100} = \text{g/mol}$$

$$m_C = 146 \cdot \frac{49,3}{100} = 72 \text{ g karbon}$$

$$n_C = \frac{72}{12} = 6 \text{ mol C}$$

1 mol bileşikte 6 mol C olmalıdır. Molekül ağırlığı 146 olan bileşik $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$ 'dür.

Cevap B



$$\pi = i \cdot M \cdot R \cdot T$$

$$9,84 = i \cdot 0,1 \cdot 0,082 \cdot 300$$

$$i = 4$$

Cevap B

14. İdeal çözeltilerin oluşumu sırasında toplam hacim korunur ve çözeltinin sıcaklığı değişmez. İdeal çözeltiler Raoult Yasasına uyar ve buhar basınçları bu yasa ile belirlenebilir.

Cevap E

15. Eşit miktardaki saf suda eşit molde madde çözüldüğünde molal derişimleri de eşit olur.

Kaynama noktasındaki fark maddelerin iyon sayıları ile ilgilidir. KCl 2 iyondan oluşur ve kaynama noktasını $2a^\circ\text{C}$ arttırmıştır. X $3a^\circ\text{C}$ arttırdığına göre 3 iyonlu y $a^\circ\text{C}$ arttırdığına göre moleküler yapıda olmalıdır. Bu durumda X $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ve Y ise $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ olabilir.

Cevap D

FİZİKOKİMYA – 7

ELEKTROKİMYA

- ✓ YÜKSELTGENME VE İNDİRGENME TEPKİMELERİ
- ✓ REDOKS TEPKİMELERİNİN DENKLEŞTİRİLMESİ
 - ↳ Değerlik Yöntemi
 - ↳ İyon – Elektron Yöntemi
- ✓ ELEKTROKİMYASAL PİLLER
- ✓ DERİŞİM PİLLERİ
- ✓ E_{pil} – G İLİŞKİSİ
- ✓ İNDİRGENME VE YÜKSELTGENME YARI TEPKİMELERİNİN TOPLANMASI
- ✓ NERNST EŞİTLİĞİ
- ✓ E_{pil}° – DENGESABİTİ (K) İLİŞKİSİ
- ✓ AKTİFLİK
- ✓ ELEKTROLİZ

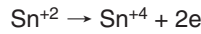
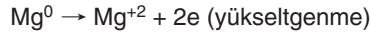
ELEKTROKİMYA

1. YÜKSELTGENME VE İNDİRGENME (REDOKS) TEPKİMELERİ

Elektron alış verişi ile yürüyen tepkimelerdir. Elektron alış verişi element atomlarının değerliklerinde (yükseltgenme basamaklarında) değişikliğe yol açar.

Yükseltgenme:

Elektron veren bir atom ya da iyonun değeri artar. Bu olaya **yükseltgenme** denir.

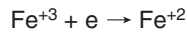
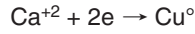


Yükseltgen Madde:

Elektron alan maddedir. Elektron alarak kendisi indirgenirken elektron aldığı maddeyi yükseltir.

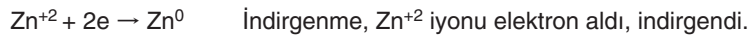
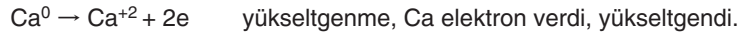
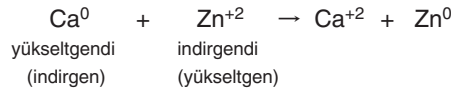
İndirgenme:

Elektron alan bir atom ya da iyonun değeri azalır. Bu olaya indirgenme denir.



İndirgen Madde:

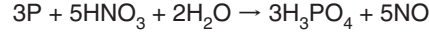
Elektron veren maddedir. Elektron vererek kendisi yükseltgenirken elektron verdiği maddeyi indirger.



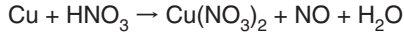
İndirgenme ve yükseltgenme; kimyasal tepkimelerde, bir arada yürür. Redoks tepkimelerinin herbiri, yükseltgenme yarı tepkimesi ve indirgenme yarı tepkimesi adı verilen iki yarı tepkimeden oluşur. Bu tepkimelerde alınan elektron sayısı verilen elektron sayısına her zaman eşittir.

Örneğin,

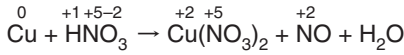


V. adım:

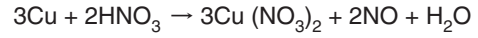
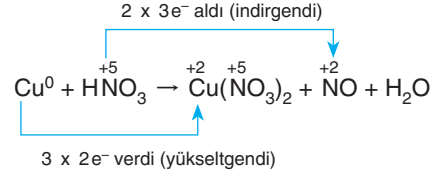
Önce P ve N sonra H ve O'ye bakılır. H₂O'nun önüne 2 yazarak H ve O de eşitlenmiş olur.

ÖRNEK

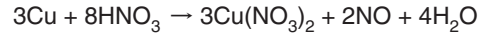
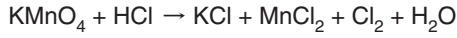
tepkimesini denkleştiriniz.

ÇÖZÜM

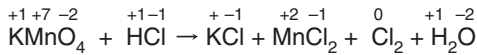
H, O ve Cu(NO₃)₂ deki N atomunun değeriği değışmiştir.



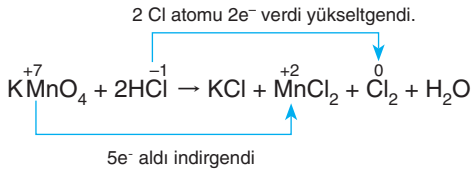
Önce Cu sonra N en son olarak ta H ve O sayıları kontrol edilir. Cu atom sayıları eşittir. N atomlarının eşitlemek için HNO₃ için kat sayısı 8 yapılır. H₂O'nun katsayısı da 4 yapılırsa H ve O eşitlenir.

**ÖRNEK**

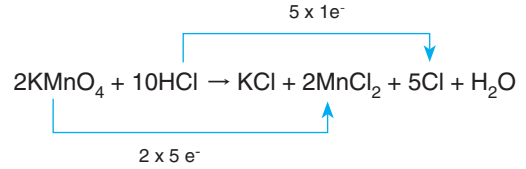
tepkimesini denkleştiriniz.

ÇÖZÜM

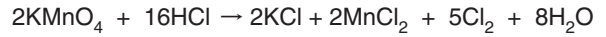
K, H, O ve KCl ile MnCl₂ deki Cl atomlarının değeriği değışmemiştir.

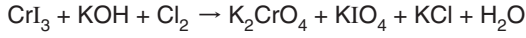


Daha önceki örneklerden farklı olarak yükseltgenme yarı tepkimesinde yükseltgenen Cl atom sayısı eşit değildir. Bu yüzden öncelikle HCl nin katsayısı 2 yapılarak yükseltgenen klor atomları sayısı eşitlenir.

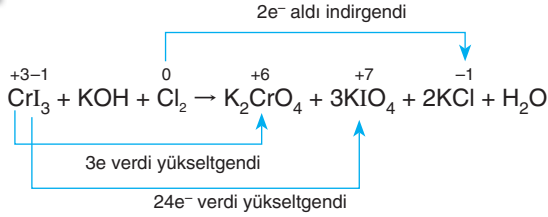


Önce Mn, K sonra Cl en son olarak da H ve O sayıları kontrol edilir. K eşitlemek için KCl 2 ile çarpılır. Cl u eşitlemek için HCl nin katsayısı 16 yapılır. H₂O nun katsayısı da 8 yapılırsa tepkime denkleşir.

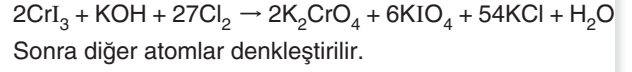
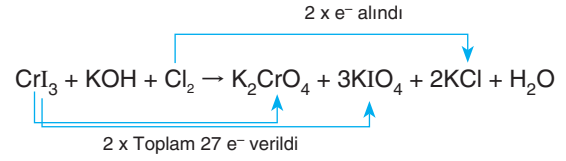


ÖRNEK

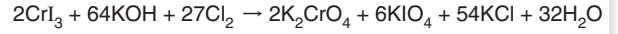
tepkimesini denkleştiriniz.

ÇÖZÜM

Tepkimede iki tane yükseltgenen madde var. Bunların verdiği elektron sayıları toplanarak toplam verilen elektron sayısı bulunur ve alınan - verilen elektron sayısı eşitlenmesi buna göre yapılır.



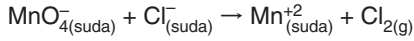
Önce K eşitlemek için KOH katsayısı 64 yapılır. Cr ve Cl atomları eşittir. H ve O nin denkleşmesi için H₂O nun katsayısı 32 yapılmalıdır.

**ASİDİK ORTAMDA**

Sulu çözümlerde gerçekleşen bazı tepkimelerde [H⁺] > [OH⁻] dir.

Asidik ortamda gerçekleşen böyle tepkimeler denkleştirilirken şu işlemler yapılır.

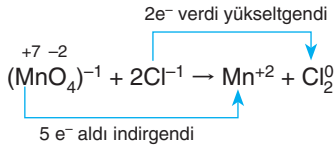
- I. Adım** : Tüm atomların değerlikleri bulunur ve değerlikleri değişenler belirlenir.
- II. Adım** : İndirgenme ve yükseltgenme tepkimeleri belirlenerek alınan ve verilen elektron sayıları eşitlenir.
- III. Adım** : Yük denkleği sağlamak için uygun tarafa H⁺ eklenir.
- IV Adım** : H ve O sayılarına bakılarak uygun tarafa H₂O eklenir. Son olarak da atom sayıları kontrol edilir.

ÖRNEK

Asidik ortamda gerçekleşen tepkimesini yukarıdaki işlem sırasına göre denkleştiriniz.

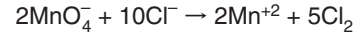
ÇÖZÜM

I. adım



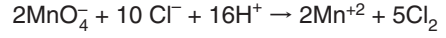
II. adım

Alınan ve verilen elektron sayıları eşitlenir.



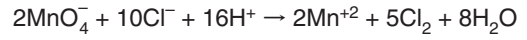
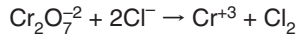
III. adım

Yük denkliğini sağlamak için uygun olan tarafa H^+ eklenir. Eşitliğin sol tarafı (-12), sağ tarafı (+4) yüküdür. Bu nedenle sol tarafa 16H^+ eklenir.

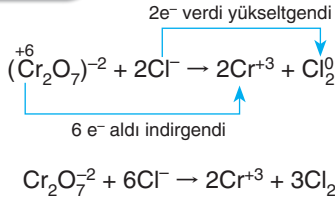


IV. adım

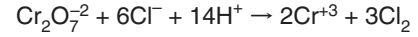
Solda 16H ve 8O bulunmaktadır. Sağ tarafa 8 H_2O eklenir.

**ÖRNEK**

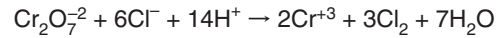
Asidik ortamda gerçekleşen tepkimeyi denkleştiriniz.

ÇÖZÜM

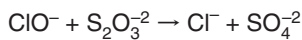
Yük denkliğini sağlamak için sol tarafa 14H^+ eklenir.



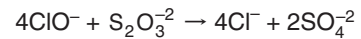
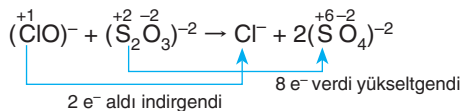
Diğer tarafa H^+ nın yarısı kadar H_2O eklenirse tepkime denkleşir.

**BAZİK ORTAMDA**

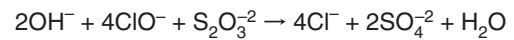
Sulu çözeltilerde bazı tepkimeler gerçekleşirken $[\text{OH}^-] > [\text{H}^+]$ olabilir. Bu durumda tepkime denkleştirilirken asidik ortamda olduğu gibi işlem yapılır. Ancak yük denkliğini sağlamak için H^+ değil uygun tarafa OH^- iyonları eklenir.

ÖRNEK

Bazik ortamda gerçekleşen tepkimeyi denkleştiriniz.

ÇÖZÜM

Yük denkliğini sağlamak için sol tarafa 2 tane OH^- eklenir. Sonra diğer tarafa bir tane H_2O eklenir.

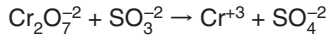


2. 2. İYON - ELEKTRON (YARI TEPKİME) YÖNTEMİ İLE

Denkleşmiş yarı tepkime sorulduğunda bu yöntem uygulanmalıdır. Bu yöntemde tepkime denkleştirilirken şu işlem sırası uygulanır.

- I. Adım** : Yükseltgenme ve indirgenme yarı tepkimeleri ayrı ayrı yazılır. Tepkimedeki H ve O dışındaki atom sayıları eşitlenir.
- II. Adım** : Asidik ortamda uygun taraflara H₂O ve H⁺ eklenerek, H ve O sayıları eşitlenir.
- III. Adım** : Yarı tepkimelerde yük denkleğini sağlamak için, indirgenme yarı tepkimesinde sol tarafa, yükseltgenme yarı tepkimesinde sağ tarafa yeteri kadar elektron eklenir.
- IV Adım** : İki yarı tepkimede alınan ve verilen elektron sayıları da eşitlenerek taraf tarafa toplanır.

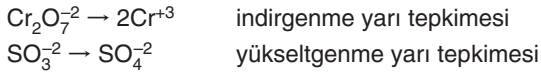
ÖRNEK



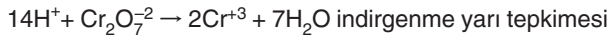
Asidik, ortamda gerçekleşen tepkimeyi denkleştiriniz.

ÇÖZÜM

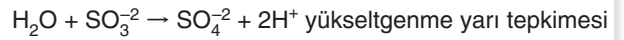
I. adım:



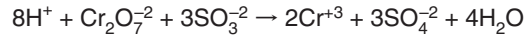
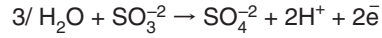
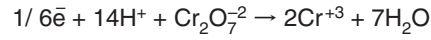
II. adım: Oksijen sayısını eşitlemek için sağ tarafa 7H₂O eklenir. Sonra Hidrojen sayısını eşitlemek için sol tarafa 14H⁺ eklenir.



Oksijen sayısını eşitlemek için sol tarafa 1H₂O sonra hidrojen sayısını eşitlemek için sağ tarafa 2H⁺ eklenir.



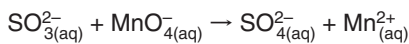
III. adım:



Yük denkleğini sağlamak için elektronlar eklenir ve eşitlenerek yarı tepkimeler toplanır.

Bazik ortam: Verilen tepkime asidik ortamda olduğu gibi denkleştirilir. Daha sonra denkleşmiş tepkimenin her iki tarafına H⁺ kadar OH⁻ eklenir. Aynı tarafta bulunan H⁺ ve OH⁻ suya dönüştürülür ve sadeleştirme işlemi yapılır.

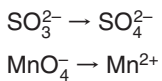
ÖRNEK



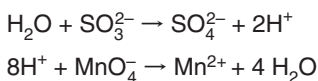
bazik ortamda gerçekleşen tepkimeyi denkleştiriniz.

ÇÖZÜM

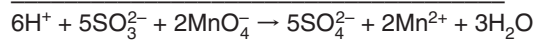
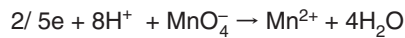
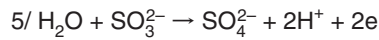
I. adım:



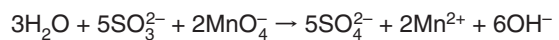
II. adım:



III. adım:



IV. adım:



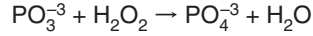
ÖRNEK

Asidik ortamda PO_3^{-3} ve H_2O_2 den PO_4^{-3} ve H_2O oluşuyor. Bu olayda yükseltgenme yarı tepkimesinin denklemi aşağıdakilerden hangisidir?

- A) $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{OH}^- + 2\text{e}$
 B) $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
 C) $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}$
 D) $\text{PO}_3^{-3} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PO}_4^{-3} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$
 E) $\text{PO}_3^{-3} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{PO}_4^{-3} + 2\text{H}^+$

ÇÖZÜM

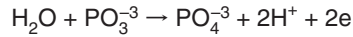
Asidik ortamda gerçekleşen



tepkimesinde P (+3) den (+5) değere yükseltgenmiştir. Bu nedenle yükseltgenme yarı tepkimesidir.



Yük denklığı sağlamak için sağ tarafa 2e eklenir.



Yükseltgenme yarı tepkimesinin denkleşmiş hâli bulunur.

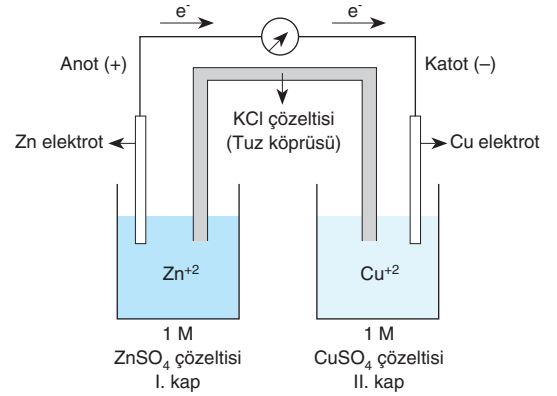
Cevap D'dir.

3. ELEKTROKİMYASAL PİLLER

Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklere **elektrokimyasal pil** ya da **Galvanik pil** denir. Bir pil sistemi yükseltgenme indirgenme tepkimelerinin elektrik enerjisi üretecek şekilde düzenlenmesiyle oluşur.

Bir elektrokimyasal pil:

- Çözeltilere batırılmış, birbirine iletkin tellerle bağlı iki elektrot
- Bu elektrotlar arasındaki gerilimi (potansiyel farkını) ölçmeye yarayan bir ampermetre (veya voltmetre)
- ve tuz köprüsünden oluşur.



Elektrot: Bir pilde indirgenmenin ve yükseltgenmenin gerçekleştiği kısımlardır. Anot (+) ve katot (-) dir. Anotta yükseltgenme, katotta indirgenme olur.

Tuz Köprüsü: Elektrokimyasal pillerde (+) ve (-) yüklü iyonları karşıt yüklü elektrotlara göçünü sağlayan U biçimindeki cam borulardır. Tuz köprüsünün içinde genellikle KNO_3 , KCl , NH_4NO_3 , NaCl gibi çok çözünen tuzların çözeltileri bulunur.

Anotta yükseltgenme sonucu (+) yüklü iyonlar artarken katotta indirgenme sonucu (+) yüklü iyonlar azalır. Tuz köprüsündeki (+) yükler katota, (-) yükler anota geçerek yük dengesini sağlar.

Yukarıdaki düzende: 1 M ZnSO_4 çözeltisi bulunan kaba Zn çubuk, 1 M CuSO_4 bulunan kaba Cu daldırılıp bu iki çubuk voltmetrenin uçlarına bağlı iletkin telle birleştirilirse Voltmetre göstergesinin saptığı gözlenir. Bu telden elektrik akımının geçtiğini gösterir. Bu sırada Zn metalin incelmesi Cu metalin kalınlaştığı gözlenir. Bu gözlemlerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

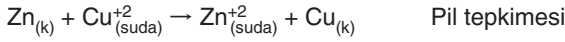
**NOT**

İndirgenme gerilimi küçük olan yani aktifliği (\bar{e} verme isteği) büyük olan elektrot **Anottur**. Diğer elektrot ise **Katottur**.

1. Tepkimesi sonucu $Zn_{(k)} \rightarrow Zn_{(suda)}^{+2} + 2e$ (yükseltgenme yarı tepkimesi) Zn nin verdiği elektronlar tel boyunca diğer elektrota taşınır ve Cu çubuğun bulunduğu kaptaki Cu^{+2} iyonları tarafından alınır ve Cu^{+2} iyonları metalik bakıra indirgenir.



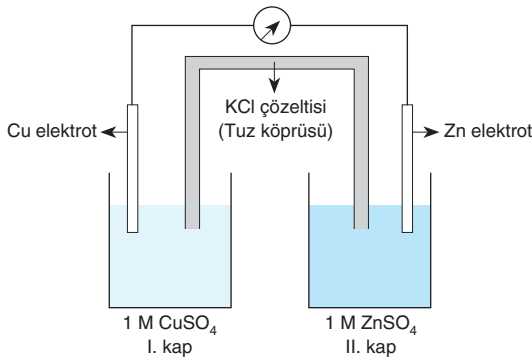
2. Bu iki yarı tepkime toplanırsa pil tepkimesi elde edilir.



NOT

Bir elektrokimyasal pilin çalışması için ya elektrotların aktifliği farklı olmalı ya da çözeltilerin derişimleri farklı olmalıdır.

ÖRNEK



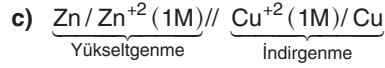
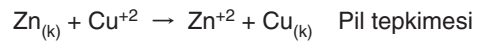
Cu metalinin elektron verme isteği (aktifliği) Zn metalinden küçüktür.

Buna göre aşağıdaki soruları cevaplayınız.

- Elektrotlardan hangisi anot hangisi katottur?
- Anot ve katot tepkimelerini yazarak pil tepkimesini gösteriniz.
- Bu pili şematik olarak gösteriniz.
- Hangi elektrotun kütlesi artar, hangisinin kütlesi azalır?
- Elektronun akış yönü hangi elektroda doğrudur?
- Tuz köprüsündeki katyonlar hangi elektroda doğru göçer?
- Zn nun kütlesi 0,1 mol azaldığında Cu ın kütlesi kaç gram artar? ($Cu = 64 \text{ g/mol}$)
- İki kaba sırasıyla ayrı ayrı su eklenirse pil gerilimi nasıl değişir?

ÇÖZÜM

- a) Zn metalinin e verme eğilimi daha yüksek olduğu için e vererek yükseltgenir. Yükseltgenme anotta gerçekleştiğine göre Zn anot, Cu ise katottur.



- d) Zn iyonik hâle geçtiği için Zn elektrotun kütlesi azalır. Cu elektrotun kütlesi ise artar.

- e) Zn nun yükseltgenmesiyle açığa çıkan elektronlar dış devreden Cu a doğru göçer.

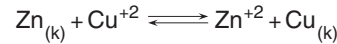
- f) Katotta indirgenme sonucu Cu^{+2} derişimi azalır. Yani (+) yükler azalır. Bu yüzden tuz köprüsündeki katyonlar Cu elektroda (katota) göçer.

- g) Pil tepkimesine göre 1 mol Zn(k) azalırken 1 mol $Cu_{(k)}$ oluşur.

$$n_{Zn} = n_{Cu} = 0,1 \text{ mol} \quad n = \frac{m_{Cu}}{m_A} \Rightarrow 0,1 = \frac{m_{Cu}}{64}$$

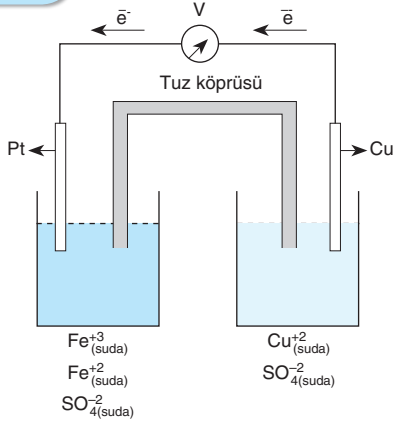
$$m_{Cu} = 6,4 \text{ g}$$

- h) Su eklendiğinde iyon derişimleri azalır. Pil tepkimeleri tersinir tepkimedir.



tepkimesine göre, Cu yarı piline su eklenirse Cu^{+2} derişim azalır. Denge Cu^{+2} derişimini arttırmak için sol tarafa kayar, yani pil gerilimi azalır. Zn yarı piline su eklenince Zn^{+2} derişimi azalır. Denge sağa kayar ve pil gerilimi artar.

ÖRNEK



Şekildeki pilde elektron akımı bakır elektrottan platin elektrota doğrudur.

Buna göre,

- I. $\text{Fe}^{+3} + e \rightarrow \text{Fe}^{+2}$
- II. $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3} + e$
- III. $\text{Cu}_{(k)} \rightarrow \text{Cu}^{+2} + 2e$

tepkimelerinden hangileri bu pildeki yarı pil tepkimesi olabilir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) II ve III E) I ve III

ÇÖZÜM

Pilde elektron akımının yönü dış devrede anottan katoda doğrudur. Buna göre Cu anot, Pt ise katottur.

- Pt katotta indirgenme olacağından,
 $\text{Fe}^{+3} + e \rightarrow \text{Fe}^{+2}$
 $\text{Fe}^{+3} + 3e \rightarrow \text{Fe}_{(k)}$
 $\text{Fe}^{+2} + 2e \rightarrow \text{Fe}_{(k)}$

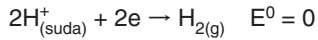
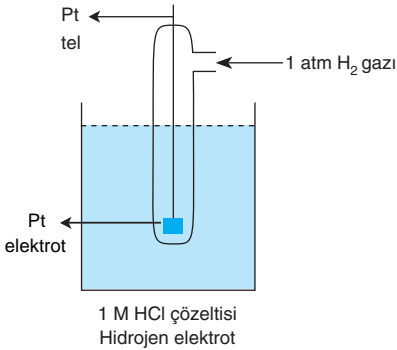
indirgenme tepkimeleri olabilir.

- Cu anotta yükseltgenme olacağından

$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{+2} + 2e$ yükseltgenme tepkimesi olabilir.

I ve III yarı pil tepkimesi olabilir.

Cevap E'dir.



3.1. STANDART YARI PİL GERİLİMİNİN ÖLÇÜLMESİ (Standart Hidrojen Elektrot-SHE)

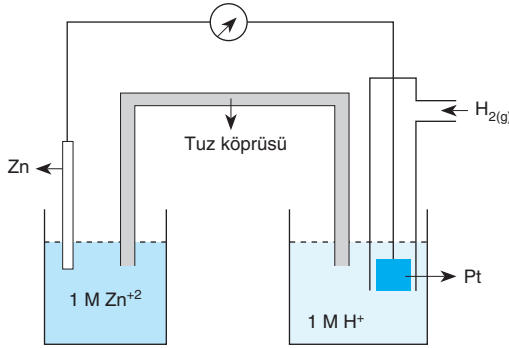
Elektrokimyasal pillerde akımın elde edilmesi elektrotlar arasındaki elektron verme isteği farkına bağlıdır. Bunun ölçüsü de yarı pil potansiyelidir. Yarı pil potansiyelleri arasındaki fark üretilen elektrik miktarını belirler. Fakat yarı pil potansiyelleri tek başına ölçülemez. Çünkü pilde yarı reaksiyon tek başına gerçekleşmesi mümkün değildir. Bu nedenle hidrojen elektrodu referans alınarak diğer elektronların karşılaştırılmalı bir sıralaması yapılmıştır.

Standart Hidrojen Elektrodu 25°C sıcaklık 1 atm basınçtaki hidrojen gazı ile doyurulmuş bir platin telin 1 M H⁺ konsantrasyonlu çözeltiye batırılmasıyla oluşmuştur. Şekilde görülen standart hidrojen elektrodun potansiyeli sıfır kabul edilmiştir. Diğer elektrotlara ait yarı pil potansiyelleri ise standart hidrojen elektrodu temel alınarak bağlı olarak hesaplanmıştır. Standart yarı pil potansiyeli E⁰ ile gösterilir.

Zn YARI PİLİNİN STANDART GERİLİMİNİN ÖLÇÜLMESİ

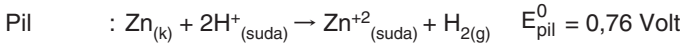
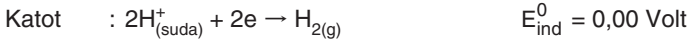
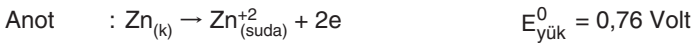
25 °C'de 1 atm basınçta 1 M Zn⁺² iyonu içeren çözeltiye Zn elektrot batırılarak yarı pil hazırlanır. Bu yarı pil, standart hidrojen elektrota bağlanırsa zamanla Zn elektrotun kütlesi azalır, diğer elektrotta (Pt) H₂ gazı açığa çıkar. Voltmetreden okunan değer, $\text{Zn}_{(k)} \rightarrow \text{Zn}^{+2}_{(suda)} + 2e^{-}$ yarı tepkimesine aittir.

Çünkü $2H^+_{(suda)} + 2e \rightarrow H_{2(g)}$ yarı pil tepkimesinin potansiyel farkı sıfır kabul edilmiştir.

**NOT**

Bir pilin gerilimi yarı pil gerilimlerinin toplamına eşittir.

$$E_{pil}^0 = E_{indirgenme}^0 + E_{yükseltgenme}^0$$



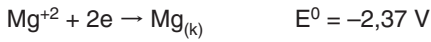
STANDART PİL POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI

- Standart pil potansiyel hesaplanırken önce yarı pil tepkimeleri belirlenir. Bunun için indirgenme ya da yükseltgenme potansiyellerine bakılır.
- İndirgenme gerilimi büyük olan indirgenir. Ya da yükseltgenme gerilimi büyük olan yükseltgenir.
- İndirgenme ve yükseltgenme yarı tepkimeleri yazılırken bir tepkime ters çevrilmişse E^0 işareti değiştirilir.
- Tepkime bir sayı ile çarpılırsa E^0 bundan etkilenmez.
- Son olarak iki yarı pil tepkimesi ve yarı pil potansiyeli toplanır.

**NOT**

$E_{pil}^0 > 0$ olduğunda tepkime kendiliğinden yürür, galvanik hücredir. $E_{pil}^0 < 0$ ise tepkime verildiği yönde yürümez.

ÖRNEK

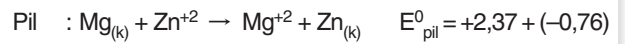
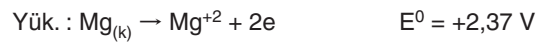


Yarı reaksiyonları ve potansiyelleri verilen Mg – Zn pilinin standard gerilimi (potansiyeli) kaç voltur?

ÇÖZÜM

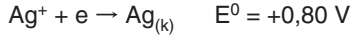
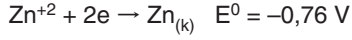
Verilen iki indirgenme tepkimesi incelendiğinde Zn nun indirgenme potansiyelinin daha büyük olduğu görülür. (Verilen tepkimeler indirgenme tepkimesi olduğu için yanlarında yazan E^0 lar indirgenme potansiyelleridir.)

O hâlde Zn indirgenmeli Mg^{2+} ise yükseltgenmelidir. Bunu sağlamak için birinci tepkime ters çevrilir. İki denklem toplanırsa pil tepkimesi elde edilir.

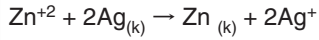


$$E_{pil}^0 = +1,61 \text{ V dır.}$$

ÖRNEK



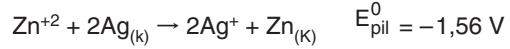
olduğuna göre,



tepkimesi kendiliğinden gerçekleşir mi?

ÇÖZÜM

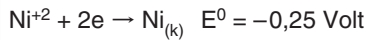
Tepkimeye göre indirgenme – yükseltgenme yarı tepkimeleri yazılır, sonrada toplanarak E_{pil}^0 bulunur.



$E_{\text{pil}}^0 < 0$ olduğu için reaksiyon verilen yönde yürümez. Bu reaksiyonun verilen yönde yürüebilmesi için devreye 1,56 volttan büyük bir gerilim uygulamak gerekir.

ÖRNEK

Al – Ni pilinin standart gerilimi 1,41 voltur. Bu pilde,



tepkimesi ile nikel açığa çıkmaktadır.

Buna göre,

- I. Ni, Al den daha aktiftir.
- II. Al – Ni pilinin katot elektrodunda Al metali açığa çıkar.
- III. $\text{Al}^{+3} + 3\text{e} \rightarrow \text{Al}$ tepkimesinin standart gerilimi $-1,66$ Volttur.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I ve III

ÇÖZÜM



I. Al'de yükseltgenme olduğuna göre Al daha aktiftir, yani yükseltgenme eğilimi daha büyüktür.

II. Ni elektrot katot olduğu için $\text{Ni}_{(k)}$ sı açığa çıkar.

$$\text{III. } E_{\text{pil}}^0 = E_{\text{ind}}^0 + E_{\text{yük}}^0$$

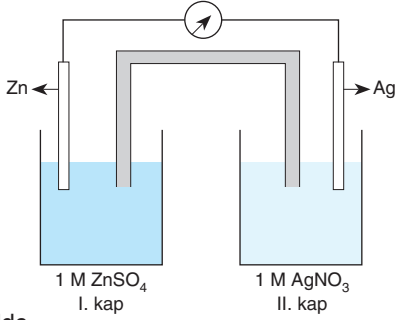
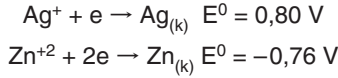
$$1,41 = -0,25 + E_{\text{yük}}^0$$

$E_{\text{yük}}^0 = 1,66$ Volt. Bu yükseltgenme gerilimi ters çevrilirse indirgenme gerilimi bulunur.

$$\text{Al için } E_{\text{ind}}^0 = -1,66 \text{ Volttur.}$$

Cevap C'dir.

ÖRNEK



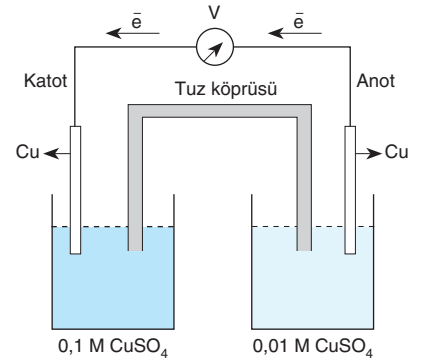
Şekildeki pilde,

- I. kaba su eklenirse
- II. kaba HI ilave edilerek Ag^+ iyonları AgI şeklinde çöktürülürse
- Sıcaklık artırılırsa pil potansiyeli nasıl değişir?

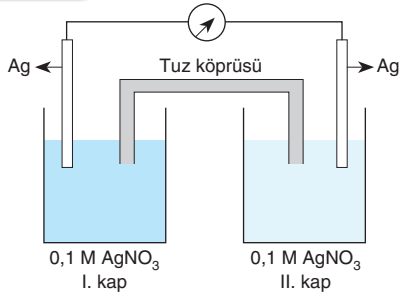
4. DERİŞİM PİLLERİ

Aynı elementten yapılmış elektrotların farklı derişimdeki aynı tür çözeltilere batırılmasıyla oluşan pillere **derişim pilleri** denir.

- Pil çalışırken derişimi az olan elektrot anot, derişimi fazla olan katottur.
- Seyreltik olan çözeltide yükseltgenme sonucu Cu^{2+} derişimi artarken, derişik çözeltide indirgenme sonucu Cu^{2+} derişimi azalır.
- Derişim pilleri her iki çözeltide de Cu^{2+} derişimi eşit olana kadar çalışır.
- Pilde dış devrede elektronlar seyreltik olandan, derişik olana doğru göçer.



ÖRNEK

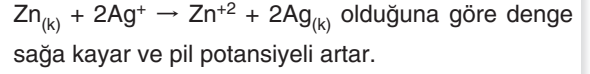


Yukarıdaki pil düzeneğinde birinci kaba bir miktar NaCl ekleniyor. (AgCl ün çözünlülüğü çok azdır.)

- Pil çalışır mı?
- Anot ve katot hangi uçlardadır?
- Elektronlar dış devrede hangi yönde hareket eder?

ÇÖZÜM

- I. kaba su ilave edildiğinde Zn^{2+} derişimi azalacağından denge Zn^{2+} derişimini artıracak yönde kayar. Pil tepkimesi

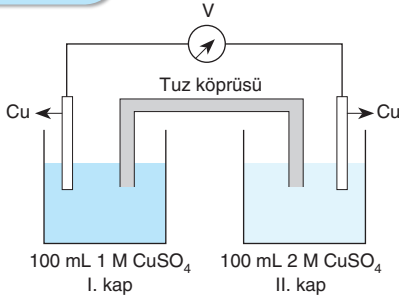


- Ag^+ iyonları AgI şeklinde çökerse Ag^+ derişimi azalır. Denge sola kayar. Pil gerilimi azalır.
- Pil tepkimeleri enerji açığa çıkarır yani ekzotermiktir. Sıcaklık artırılırsa tepkime bunu azaltmak için sola kayar ve pil potansiyeli azalır.

ÇÖZÜM

- I. kaba NaCl eklendiğinde Ag^+ iyonlarının bir kısmı $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl}_{(k)}$ şeklinde çöker. Böylece I. kaptaki Ag^+ derişimi azalır. İki kaptaki Ag^+ derişimi farklı olur, derişim pili oluşur ve pil çalışır.
- Pil çalışırken Ag^+ derişimi az olan tarafta yani I. kaptaki yükseltgenme olduğu için anottur. Derişimi fazla olan II. kaptaki indirgenme olduğu için bu elektrot katottur.
- Devrede elektronlar seyreltik olandan derişik olana doğru gideceğinden, I. kaptan II. kaba doğru hareket eder.

ÖRNEK



Yukarıdaki düzende gerilimi sıfır yapmak için aşağıdaki işlemlerden hangisi uygulanmalıdır?

- A) II. kaptan 50 mL çözelti almak
 B) II. kaba 100 mL su eklemek
 C) I. kaba 1 M lık 100 mL CuSO_4 eklemek
 D) I. kaba 2 M lık 100 mL CuSO_4 eklemek
 E) I. kaptan 50 mL çözelti almak

ÇÖZÜM

Derişim pilleri iki kaptaki derişim farklı olursa çalışır. Bu nedenle çözeltilerdeki Cu^{2+} derişimlerini eşitleyecek işlem pil gerilimini sıfır yapar. II. kaba 100 mL su eklenirse Cu^{2+} derişimi 1 M olur ve ilk kaptaki ile eşitlenir.

Cevap B'dir.

5. $E_{\text{pil}} - \Delta G$ ilişkisi

Bir pilde kimyasal tepkime gerçekleştiğinde volta hücresi elektriksel bir iş yapar. Burada yapılan iş yüklü taneciklerin hareketinin bir sonucudur. Bir volta hücresinin yaptığı iş,

$$W_{\text{elektrik}} = n \cdot F \cdot E_{\text{pil}}$$

ile bulunur.

n : devreden geçen elektronun mol sayısı

F : Faraday sabiti (96500 C/mol)

E_{pil} : Hücre potansiyeli

Galvanik hücrede olduğu gibi tersinir bir kimyasal işlemde iş miktarı serbest enerji değişimine eşittir.

$$\Delta G = -W_{\text{elektrik}}$$

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot E_{\text{pil}}$$

Tepkime standart durumda gerçekleşiyorsa;

$$\Delta G^\circ = -n \cdot F \cdot E_{\text{pil}}^\circ$$

şekindedir.



NOT

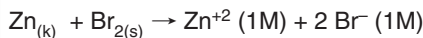
$E_{\text{pil}}^\circ > 0$ ise $\Delta G^\circ < 0$ 'dır.

Pil kendiliğinden çalışır.

Galvanik hücredir.

Tepkime yazıldığı yönde istemlidir.

ÖRNEK



$$E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^\circ = -0,76 \text{ V}$$

$$E_{\text{Br}_2/\text{Br}^-}^\circ = +1,06 \text{ V}$$

Yukarıdaki tepkime ile ilgili;

I. Pil şeması $\text{Zn}_{(k)} / \text{Zn}^{2+} (1 \text{ M}) // \text{Br}_{2(s)} / \text{Br}^- (1 \text{ M})$ şeklindedir.

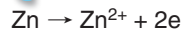
II. $E_{\text{pil}}^\circ = +1,82$ Volttur.

III. $\Delta G^\circ = -351.260$ Joule'dir.

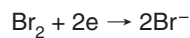
yukarıda verilen ifadelerden hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve II E) I, II ve III

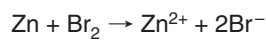
ÇÖZÜM



$$E_{\text{yük}}^\circ = +0,76 \text{ (Anot)}$$



$$E_{\text{ind}}^\circ = +1,06 \text{ (Katot)}$$



$$E_{\text{pil}}^\circ = 1,82 \text{ Volt}$$

$$\Delta G^\circ = -n \cdot F \cdot E_{\text{pil}}^\circ$$

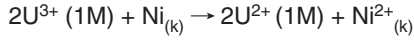
$$\Delta G^\circ = -2 \cdot 96 \text{ 500} \cdot 1,82$$

$$\Delta G^\circ = -351.260 \text{ Joule}$$

Pil şeması (Anot // Katot) doğru verilmiştir. Her üç öncülde doğrudur.

Cevap E

ÖRNEK



Yukarıda verilen tepkimeye ait standart serbest enerji değişimi

$\Delta G^\circ = -386 \text{ J}$ olduğuna göre,

I. Galvanik hücre tepkimesidir.

II. $E^\circ_{\text{pil}} = 0,002 \text{ Volt}$ ttur.

III. 1 mol U^{3+} , 2 mol elektron almıştır

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

ÇÖZÜM

$\Delta G^\circ < 0$ olduğu için istemli tepkimedir, enerji üretir ve galvanik hücre tepkimesidir.

$$\Delta G^\circ = -n \cdot F \cdot E^\circ_{\text{pil}}$$

$$-386 = 2 \cdot 96\,500 \cdot E^\circ_{\text{pil}}$$

$$E^\circ_{\text{pil}} = 0,002 \text{ Volt}$$

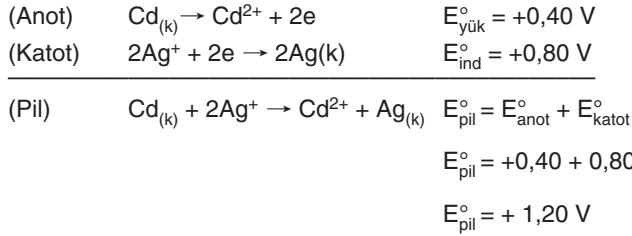
indirgenme yarı tepkimesi;

$U^{3+} + e \rightarrow U^{2+}$ şeklindedir. 1 mol U^{3+} , 1 mol e almıştır. I. ve II. öncüller doğrudur.

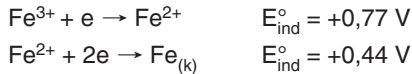
Cevap D

6. İndirgenme veya Yükseltgenme Yarı tepkimelerinin Toplanması

Bir galvanik hücreyi oluşturan iki yarı tepkime, yani indirgenme ve yükseltgenme yarı tepkimeleri toplanarak pil tepkimesi elde edilir. E°_{pil} değeri de bu iki anot-katot tepkimesinin E° değerlerinin toplanması ile bulunur.



Yukarıda iki yarı tepkime toplandığında bir pil tepkimesi elde edilmiştir. Ancak iki yarı tepkime toplandığında bir pil tepkimesi oluşmuyor, yine bir yarı tepkime elde ediliyorsa yeni tepkimenin E° değeri, toplanan tepkimelerin E° 'ları toplamına eşit olmaz.



$Fe^{3+} + 3e \rightarrow Fe_{(k)}$ E°_{ind} değeri, yarı tepkimelerinin E° 'ları toplamına eşit değildir.

Yukarıda iki indirgenme yarı tepkimesi elde edilmiştir. Bu nedenle E° değerini bulabilmek için standart serbest enerji değişiminden ($\Delta G^\circ_{\text{ind}}$) yararlanılır. Toplanan yarı tepkimelerin standart serbest enerji değişimleri toplamı, istenen tepkimenin standart serbest enerji değişimine eşittir.

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_1 + \Delta G^\circ_2$$

$$-3 \cdot F \cdot E^\circ_{\text{ind}} = (-1 \cdot F \cdot 0,77) + (-2 \cdot F \cdot 0,44)$$

$$E^\circ_{\text{ind}} = +0,55 \text{ V}$$

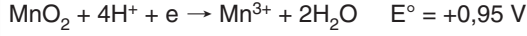
bulunur.



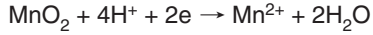
NOT

İki yarı tepkime toplan-
dığında yine bir yarı tepkime
elde ediliyorsa E° 'ların topla-
ması, ΔG° değerleri yardımıyla
bulunur.

ÖRNEK



olduğuna göre,

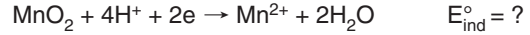
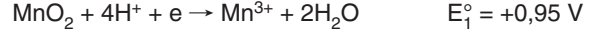


indirgenme yarı tepkimesi için E_{ind}° değeri aşağıdaki-lerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) +1,23 V B) -1,23 V C) +2,46 V
D) -2,46 V E) +0,56 V

ÇÖZÜM

Birinci tepkime olduğu gibi kalır ve ikinci tepkime ters çevrilerek toplanırsa istenilen indirgenme yarı tepkimesi elde edilir.



$$\Delta G^\circ = \Delta G_1^\circ + \Delta G_2^\circ$$

$$-2 \cdot F \cdot E_{\text{ind}}^\circ = (-1 \cdot F \cdot 0,95) + (-1 \cdot F \cdot 1,51)$$

$$E = +1,23 \text{ V}$$

Cevap A



NOT

Çözelti derişimleri IM 'dan farklı ise pil potansiyelinin bulunması için Nernst eşitliği kullanılmalıdır.

7. NERNST EŞİTLİĞİ

E_{pil}° , 25°C'de ölçülen standart pil potansiyelidir. Standart şartlarda gerçekleşmeyen tepkimelerde,

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K$$

yazılabilir. $\Delta G = -nFE_{\text{pil}}$ ve $\Delta G^\circ = -nFE_{\text{pil}}^\circ$ olduğu için,

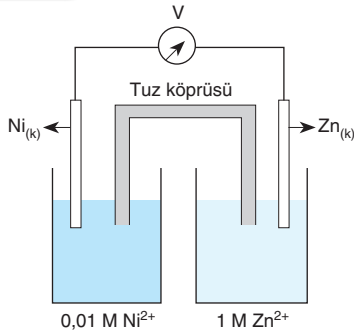
$$-nFE_{\text{pil}} = -nFE_{\text{pil}}^\circ + RT \ln K$$

$$\frac{-nFE_{\text{pil}}}{-nF} = \frac{-nFE_{\text{pil}}^\circ}{-nF} + \frac{RT \ln K}{-nF}$$

$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^\circ - \frac{RT}{nF} \ln K$$

$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^\circ - \frac{0,0592}{n} \log K$$

ÖRNEK



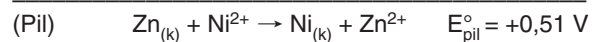
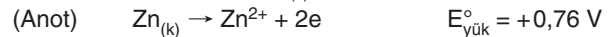
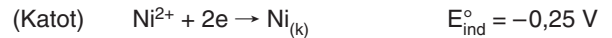
$$E_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}}^\circ = -0,25 \text{ V}$$

$$E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^\circ = -0,76 \text{ V}$$

Yukarıda verilen sistemin pil potansiyeli kaç voltur?

ÇÖZÜM

İndirgenme potansiyeli büyük olan Ni^{2+} indirgenir, Zn ise yükseltgenir.



$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^\circ - \frac{0,06}{2} \cdot \log \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Ni}^{2+}]}$$

$$E_{\text{pil}} = 0,51 - \frac{0,06}{2} \cdot \log \frac{1}{(0,01)}$$

$$E_{\text{pil}} = 0,51 - \frac{0,06}{2} \cdot 2$$

$$E_{\text{pil}} = 0,45 \text{ V}$$

ÖRNEK



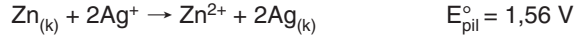
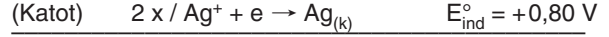
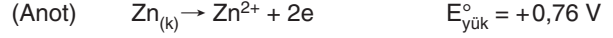
$$E_{\text{Ag}^+ / \text{Ag}}^\circ = +0,80\text{ V}$$

$$E_{\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}}^\circ = -0,76\text{ V}$$

Yukarıda verilen şemaya göre pil potansiyeli nedir?

ÇÖZÜM

Zn elektrot Anot, Ag elektrot ise katot olarak davranır.



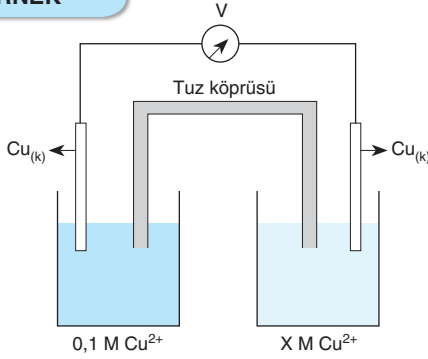
$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^\circ - \frac{0,06}{2} \cdot \log \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2}$$

$$E_{\text{pil}} = 1,56 - \frac{0,06}{2} \cdot \log \frac{1}{(0,1)^2}$$

$$E_{\text{pil}} = 1,56 - \frac{0,06}{2} \cdot 2$$

$$E_{\text{pil}} = 1,50\text{ V}$$

ÖRNEK



Yukarıdaki pil sistemi için $E_{\text{pil}} = 0,0296\text{ V}$ olduğuna göre katot çözeltilisinde Cu^{2+} iyon derişimi kaç moldır?

ÇÖZÜM

Her iki elektrotta Cu olduğu için $E_{\text{pil}}^\circ = 0$ 'dır.

$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^\circ - \frac{0,0592}{n} \cdot \log \frac{[\text{Anot}]}{[\text{Katot}]}$$

$$0,0296 = 0 - \frac{0,0592}{2} \cdot \log \frac{0,1}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

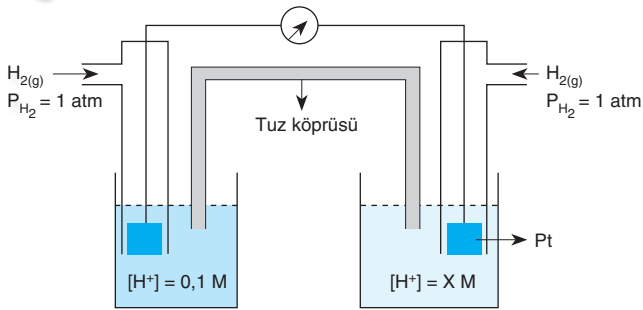
$$0,0296 = -0,0296 \cdot \log \frac{0,1}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

$$-1 = \log 0,1 - \log [\text{Cu}^{2+}]$$

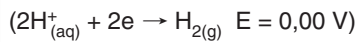
$$\log [\text{Cu}^{2+}] = 0$$

$$[\text{Cu}^{2+}] = 1\text{M}$$

ÖRNEK

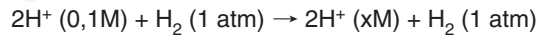


Şekilde verilen galvanik hücrenin potansiyeli $+0,1184\text{ V}$ olduğuna göre, anot çözeltilisinin pH'si kaçtır?



- A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

ÇÖZÜM



$$E_{\text{pil}}^\circ = 0$$

$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^\circ - \frac{0,0592}{n} \cdot \log \frac{[\text{Anot}]}{[\text{Katot}]}$$

$$0,1184 = 0 - \frac{0,0592}{2} \log \frac{(x)^2}{(0,1)^2}$$

$$0,1184 = -0,0296 \cdot \log \frac{x^2}{0,01}$$

$$-4 = \log x^2 - \log 0,01$$

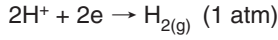
$$\log x^2 = -6$$

$$2 \log x = -6$$

$$\log x = -3$$

$$x = 1 \cdot 10^{-3}\text{ M} \quad [\text{H}^+] = 1 \cdot 10^{-3}\text{ M} \text{ ise } \text{pH} = 3$$

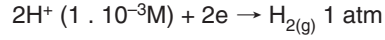
ÖRNEK



tepkimesi için pH = 3 iken indirgenme potansiyeli kaç voltur? ($2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})}$ $E_{\text{ind}}^{\circ} = 0$)

- A) +0,18 B) -0,18 C) +0,36
D) -0,36 E) 0

ÇÖZÜM



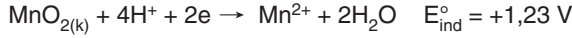
$$E = E^{\circ} - \frac{0,06}{n} \log \frac{P_{\text{H}_2}}{[\text{H}^+]^2}$$

$$E = 0 - \frac{0,06}{2} \log \frac{1}{(10^{-3})^2}$$

$$E = -0,03 \cdot (+6)$$

$$E = -0,18 \text{ V}$$

ÖRNEK



Çözeltideki Mn^{2+} iyon derişimi 0,01M olan yarı pilinin indirgenme potansiyeli $E_{\text{ind}} = 1,17 \text{ V}$ olduğuna göre **çözeltinin pH'ı kaçtır?**

- A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

ÇÖZÜM

$$E = E^{\circ} - \frac{0,06}{n} \log \frac{[\text{Mn}^{2+}]}{[\text{H}^+]^4}$$

$$1,17 = 1,23 - \frac{0,06}{2} \cdot \log \frac{10^{-2}}{[\text{H}^+]^4}$$

$$[\text{H}^+] = 0,1 \text{ M} \quad \text{pH} = 1 \text{ 'dir.}$$

Cevap A

8. E_{pil}° – Denge Sabiti (K) İlişkisi

Hem standart pil potansiyeli (E_{pil}°), hem de denge sabiti (K) standart serbest enerji değişimi ile ilişkilidir.

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K \quad \text{ve} \quad \Delta G^{\circ} = -nFE_{\text{pil}}^{\circ} \text{ olduğuna göre}$$

$$E_{\text{pil}}^{\circ} = \frac{0,0592}{n} \log K \text{ 'dır.}$$

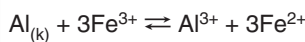
Bir tepkimeye ait denge sabitinin bulunmasında E_{pil}° değeri kullanılabilir.

ÖRNEK

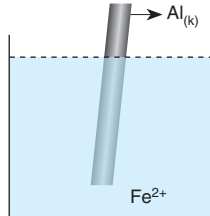
$$E_{\text{Al}^{3+}/\text{Al}}^{\circ} = -1,67 \text{ V}$$

$$E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^{\circ} = +0,77 \text{ V}$$

25°C'deki 1M Fe^{3+} iyonu içeren çözeltiliye alüminyum metali batırılıyor.



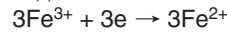
tepkimesinin denge sabiti K'nın değeri nedir?



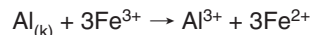
ÇÖZÜM



$$E_{\text{yük}}^{\circ} = +1,67 \text{ V}$$



$$E_{\text{ind}}^{\circ} = +0,77 \text{ V}$$



$$E_{\text{pil}}^{\circ} = +2,44 \text{ V}$$

$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^{\circ} - \frac{0,06}{n} \cdot \log K$$

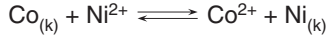
Dengedeki sistemde $E_{\text{pil}} = 0$ 'dır.

$$E_{\text{pil}}^{\circ} = \frac{0,06}{n} \cdot \log K$$

$$2,44 = \frac{0,06}{3} \log K$$

$$K = 10^{122}$$

ÖRNEK



Bir kobalt metali 0,1M Ni^{2+} çözeltisine batırıldığında yukarıdaki tepkimeye göre sistem dengede bulunuyor.

$E^{\circ}_{\text{Co}^{2+}/\text{Co}} = -0,28 \text{ V}$ ve $E^{\circ}_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -0,25 \text{ V}$ olduğuna göre,

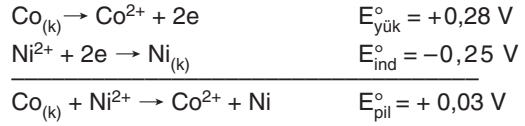
- I. Tepkimeye ait standart pil potansiyeli (E°_{pil}) 0,03 Volt'tur.
- II. Serbest enerji değişimi (ΔG) sıfırdır.
- III. Tepkimeye ait denge sabiti $K = 1$ 'dir.
- IV. Dengedeki Co^{2+} iyon derişimi 0,1M'dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III
D) I, III E) I, II, III, IV

ÇÖZÜM

Standart pil potansiyelleri (E°_{ind} ve $E^{\circ}_{\text{yük}}$) değerleri kullanılarak (E°_{pil}) bulunur.



Sistem dengede ise, serbest enerji değişimi ΔG ve dengedeki pil potansiyeli E_{pil} sıfırdır.

$$E_{\text{pil}} = E^{\circ}_{\text{pil}} - \frac{0,06}{n} \log K$$

$$0 = 0,03 - \frac{0,06}{2} \log K$$

$$\log K = 1$$

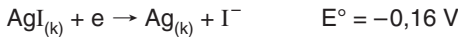
$$K = 10$$

$$K = \frac{[\text{Co}^{2+}]}{[\text{Ni}^{2+}]} \quad 10 = \frac{[\text{Co}^{2+}]}{0,1}$$

$$[\text{Co}^{2+}] = 1 \text{ M}$$

Cevap B

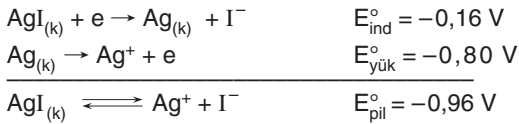
ÖRNEK



$E^{\circ}_{\text{Ag}^{+}/\text{Ag}} = +0,802 \text{ V}$ olduğuna göre **AgI katısı için K_{ϕ} değeri kaçtır?**

- A) 10^{-10} B) 10^{-12} C) 10^{-14} D) 10^{-16} E) 10^{-18}

ÇÖZÜM



AgI katısı Ag^{+} ve I^{-} iyonları ile dengede olduğuna göre bu denge tepkimesi için $\Delta G = 0$ ve $E_{\text{pil}} = 0$ 'dir.

$$E_{\text{pil}} = E^{\circ}_{\text{pil}} - \frac{0,06}{n} \log K_{\phi}$$

$$0 = -0,96 - \frac{0,06}{1} \log K_{\phi}$$

$$-\frac{0,96}{0,06} = \log K_{\phi}$$

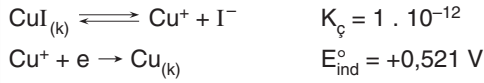
$$-16 = \log K_{\phi}$$

$$10^{-16} = 10^{\log K_{\phi}}$$

$$K_{\phi} = 10^{-16}$$

Cevap D

ÖRNEK

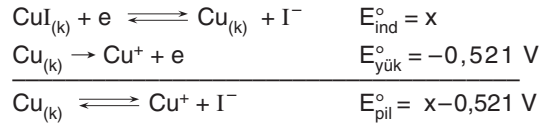


olduğuna göre, $\text{CuI}_{(k)} + e \rightleftharpoons \text{Cu}_{(k)} + \text{I}^-$

tepkimesi için standart pil potansiyeli (E°) kaç voltur?

- A) -0,187 V B) +0,187 V C) -0,374
D) +0,374 E) -0,573

ÇÖZÜM



$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^{\circ} - \frac{0,059}{n} K_{\text{ç}}$$

$$0 = (x - 0,521) - \frac{0,059}{1} \cdot \log 10^{-12}$$

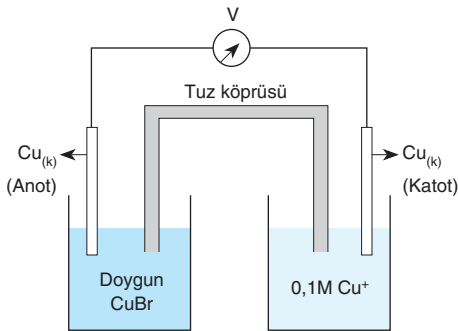
$$-x + 0,521 = 0,059 \cdot 12$$

$$-x = 0,708 - 0,521$$

$$x = -0,187 \text{ V}$$

Cevap A

ÖRNEK

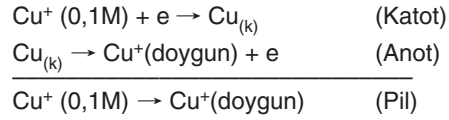


Yukarıda verilen volta hücresinde $E_{\text{pil}} = 0,296 \text{ V}$ olduğuna göre **CuBr için $K_{\text{ç}}$ değeri kaçtır?**

- A) 10^{-6} B) 10^{-9} C) 10^{-12} D) 10^{-14} E) 10^{-16}

ÇÖZÜM

Her iki yarı hücrelerde aynı iyonlar ve elektrotlar kullanıldığı için E_{pil}° değeri sıfırdır. $K_{\text{ç}}$ si sorulan CuBr az çözünen bir tuzdur. Bu nedenle Cu^+ iyon derişimi diğer kaptaki Cu^+ derişiminden (0,1M'dan) daha azdır. Derişik olan katot, seyreltik olan anot olarak davranır.



$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^{\circ} - \frac{0,0592}{n} \log \frac{[\text{Cu}^+]_{\text{doymun}}}{[\text{Cu}^+]_{0,1\text{M}}}$$

$$0,296 = 0 - \frac{0,0592}{1} \log \frac{[\text{Cu}^+]_{\text{doymun}}}{0,1}$$

$$-5 = \log [\text{Cu}^+]_{\text{doymun}} - \log 0,1$$

$$-6 = \log [\text{Cu}^+]_{\text{doymun}}$$

$$10^{-6} = 10^{\log [\text{Cu}^+]_{\text{doymun}}}$$

$$[\text{Cu}^+] = 10^{-6} \text{ M}$$



Doymun çözeltide $[\text{Cu}^+] = [\text{Br}^-]$ 'dir.

$$K_{\text{ç}} = [\text{Cu}^+] [\text{Br}^-]$$

$$K_{\text{ç}} = 10^{-6} \cdot 10^{-6}$$

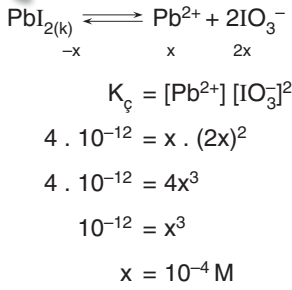
$$K_{\text{ç}} = 10^{-12}$$

Cevap C

ÖRNEK

$Pb(IO_3)_2$ için $K_{\text{ç}} = 4 \cdot 10^{-12}$ olduğuna göre,
 $Pb_{(k)} / Pb^{2+}$ (doymun $Pb(IO_3)_2$) // Pb^{2+} (0,1M) / $Pb_{(k)}$
 galvanik hücrenin potansiyeli (E_{pil}) kaç voltur?
 A) 0,0222 B) 0,0444 C) 0,0555
 D) 0,0888 E) 0,0999

ÇÖZÜM



$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^{\circ} - \frac{0,0592}{n} \log \frac{[Pb^{2+}]_{\text{doymun}}}{[Pb^{2+}]_{0,1M}}$$

$$E_{\text{pil}} = 0 - \frac{0,0592}{2} \log \frac{[Pb^{2+}]}{0,1}$$

$$E_{\text{pil}} = -\frac{0,0592}{2} \log \frac{10^{-4}}{0,1}$$

$$E_{\text{pil}} = -0,0296 \cdot (-3)$$

$$E_{\text{pil}} = 0,0888 \text{ V}$$

Elektrotlar aynı olduğu için E°_{pil} değeri sıfırdır.

Cevap D

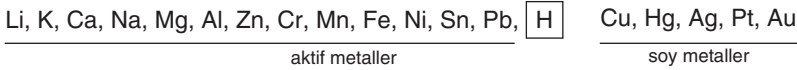
9. AKTİFLİK

Aktiflik elementlerin tepkimeye girme isteğinin ölçüsüdür. Bir elementin elektron alarak veya elektron vererek bileşik oluşturma isteğine **aktiflik** denir.

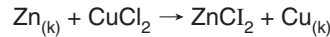
Metalik Aktiflik: Metaller bileşik oluştururken elektron verdiği için aktifliklerinin ölçüsü elektron verme isteğidir. Yani metallerde elektron verme isteği arttıkça aktiflik artar.

Ametalik Aktiflik: Ametaller ise bileşik oluştururken genel olarak elektron alan elementlerdir. Ametallerde elektron alma isteği arttıkça aktiflik artar.

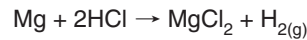
- Elektron verme isteği hidrojenden fazla olan metaller aktif metal, daha az olan metaller ise soy (pasif) metallerdir. Metallerin aktiflik sırası şöyledir.



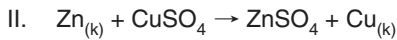
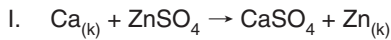
- Aktif olan elementler kendisinden daha az aktif olan elementleri bileşiğinden çıkarır.



- Aktif metaller asite atıldığında H_2 gazı açığa çıkarır.



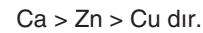
ÖRNEK



Yukarıdaki iki tepkime kendiliğinden gerçekleştiğine göre **Ca, Zn, Cu** in aktiflik sıralaması nasıldır?

ÇÖZÜM

Aktif metal daha az aktif olan metalin yerine geçer. Öyleyse Ca, Zn dan, Zn da Cu dan daha aktif metaldir.



NOT

Aktif bir metal kendisinden daha az aktif elementi bileşiğinden açığa çıkararak kendisi bileşiğe girer. Böylece aktif metal yükseltgenirken çıkan diğer elementi indirgemiş olur.

ÖRNEK

- I. Zn, Fe, Cr ve Mg metallerinin hepsi de asit çözeltisinden H₂ gazı açığa çıkar.
- II. Zn metali Mg⁺² çözeltisiyle reaksiyon vermez. Fe⁺² ve Cr⁺³ çözeltileri ile verir.
- III. Fe metali Zn⁺², Cr⁺² ve Mg⁺² çözeltilerinin hiçbiri ile reaksiyon vermez.

Buna göre **H, Mg, Cr, Fe ve Zn elementlerinin yükseltgenme potansiyelleri (aktiflikleri) büyükten küçüğe nasıl sıralanır?**

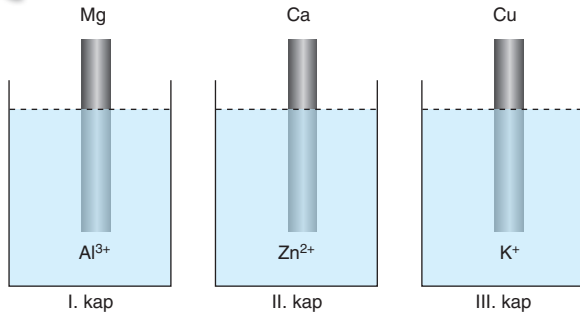
- A) Mg, Zn, Cr, Fe, H B) Zn, Fe, Cr, H, Mg
C) Cr, Fe, Zn, Mg, H D) Fe, Zn, Mg, Cr, H
E) Mg, H, Cr, Zn, Fe

ÇÖZÜM

- I. Asit çözeltisine atıldığında H₂ gazı çıkaran metaller H den daha aktiftir.
- II. Zn un elektron verme isteği (aktifliği) Fe⁺² ve Cr⁺³ den fazla olduğu için tepkime vermiştir. Mg den küçük olduğu için tepkime vermemiştir.
- III. Fe, Zn⁺², Cr⁺³ ile tepkime vermediğinden aktifliği Zn, Cr ve Mg den küçüktür.

Buna göre Mg > Zn > Cr > Fe > H dir.

Cevap A

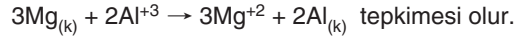
ÖRNEK

Yukarıdaki kaplardan hangilerinde tepkime olur? (Aktiflik sıralaması: K > Ca > Mg > Al > Zn > Cu)

ÇÖZÜM

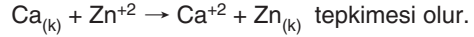
I. kap:

Mg, Al den daha aktif olduğu için elektron vererek yükseltgenir.



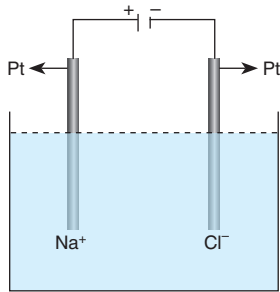
II. kap:

Ca, Zn dan daha aktif olduğu için



III. kap:

Cu ın aktifliği K dan daha az olduğu için yükseltgenemez.

**10. ELEKTROLİZ**

Elektrik enerjisi yardımıyla gerçekleşen redoks tepkimelerine **elektroliz**, elektrik akımını ileten sıvılara ise **elektrolit** denir. Elektrolit maddelerin elektrolizi sonucu

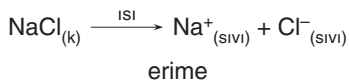
katotta: katyonlar indirgenerek

anotta: anyonlar yükseltgenerek toplanırlar.

Ortamda birden fazla cins katyon varsa önce indirgenme gerilimi büyük olan indirgenir.

Daha sonra diğer katyonlar indirgenmeye devam eder.

Eğer ortamda birden fazla cins anyon varsa önce yükseltgenme gerilimi büyük olan yükseltgenir. Daha sonra diğer anyonlar yükseltgenmeye devam eder.

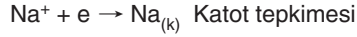


10. 1. ERİMİŞ TUZLARIN ELEKTROLİZİ

Isı yardımıyla eritilen tuzlar sıvı hâlde elektrik akımını iletirken elektroliz olurlar.

Eritilmiş NaCl tuzu elektroliz edildiğinde,

Katot : Katyonlar katoda geleceği için Na^+ iyonları katoda gelir ve elektron alarak indirgenir.

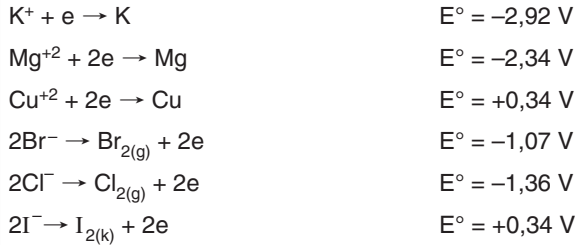


Anot : Anyonlar anota geleceği için Cl^- iyonları anota gelir ve elektron vererek yükseltgenir.

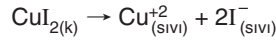
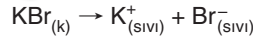
ÖRNEK

Erimiş KBr, MgCl_2 , CuI_2 tuzları karışımı elektroliz ediliyor. Buna göre

- a) Her bir tuzun iyonlaşma denklemini yazarak anot ve katoda gidecek iyonları belirtiniz.
- b) Anot ve katot tepkimelerini yazarak hangi ürünler toplanacağını belirtiniz.



ÇÖZÜM



Katotta katyonlar toplanacaktır. Hangi katyonun önce indirgeneceğini bulmak için indirgenme potansiyellerine bakılır.

Buna göre indirgenme gerilimi en büyük olan Cu önce toplanır. Cu tamamen toplandıktan sonra Mg, en son olarak da K toplanır.

Anotta anyonlar toplanacaktır. Hangi anyonun önce indirgeneceğini bulabilmek için anyonların yükseltgenme potansiyellerine bakılır.

Buna göre yükseltgenme gerilimi büyük olan I_2 önce toplanır. I^- tamamen yükseltgendikten sonra sırasıyla Br_2 ve Cl_2 toplanır.

10. 2. SUDA ÇÖZÜNEN TUZLARIN ELEKTROLİZİ

Suda çözünen tuzların elektrolizinde tuzdan gelen katyon ve anyonların dışında sudan gelen H^+ ve OH^- iyonları da bulunur. Katotta ve anotta hangi maddelerin toplanacağı yine indirgenme veya yükseltgenme potansiyellerine bakılarak bulunur. Ya da;

Katotta

- Sulu çözültide bir soy metalin (Cu, Hg, Ag, Au, Pt) katyonu bulunuyorsa bunlar indirgenir. Bu katyonlar yoksa H_2O indirgenir ve H_2 gazı açığa çıkar.
- Sulu çözültide hidrojenenden daha aktif bir metal katyonu bulunuyorsa katotta H_2 gazı toplanır.

Anotta

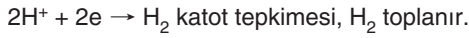
- Sulu çözültide Cl^- , Br^- , I^- (F^- hariç) gibi bir tek atomlu anyon varsa o yükseltgenir.
- Sulu çözültide SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} gibi çok atomlu iyonlar varsa H_2O yükseltgenerek O_2 gazı açığa çıkar.

ÖRNEK

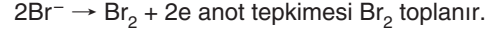
NaF, KCl ve ZnBr₂ tuzlarının karışımını içeren bir sulu çözelti elektroliz edildiğinde anot ve katotta hangi tepkimeler olur? Hangi maddeler toplanır?

ÇÖZÜM

Katotta: Na⁺, K⁺, Zn²⁺ gibi aktif metaller olduğu için H⁺ elektron olarak indirgenir.



Anotta: NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Br⁻ ve OH⁻ arasında yükseltgenme potansiyeli en fazla olan (en aktif olan) Br⁻ olduğu için Br⁻ e vererek yükseltgenir.

**10. 3. FARADAY YASALARI**

1. Bir elektroliz devresinde anot ve katotta açığa çıkan madde miktarı devreden geçen elektrik yükünün miktarıyla doğru orantılıdır.
2. Elektrotlarda oluşan madde miktarı elektrotta toplanan maddenin eşdeğer gram miktarıyla (1 mol elektron alan ya da veren maddenin gram cinsinden değeri) doğru orantılıdır.

$$m = \frac{i \cdot t \cdot M_A}{Z \cdot 96500} = \frac{Q \cdot M_A}{Z \cdot 96500} \quad Q = i \cdot t = \text{coulomb}$$

\downarrow \downarrow
 amp s

m = Elektrotlardan herhangi birinde toplanan madde miktarı (g)

I = Akım şiddeti (amper)

t = Zaman (s)

M_A = Elektrotların herhangi birinde toplanan maddenin atom kütlesi

1 Faraday = 96 500 coulomb = 1 mol elektron akımı

ÖRNEK

Erimiş CaCl₂ ün elektrolizinde devreden 19 300 Coulomb yük geçtiğinde **katotta kaç gram Ca metali toplanır?** (Ca = 40 g/mol)

2 mol e⁻ geçtiğinde 1 mol Ca oluşur.

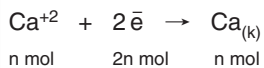
0,2 mol e⁻ geçtiğinde x

x = 0,1 mol ise m_{Ca} = 40.0,1 = 4g Ca oluşur.

ÇÖZÜM**1. Yol**

Devreden geçen e⁻ miktarı

$$n_e = \frac{19300}{96500} = 0,2 \text{ mol } e^-$$

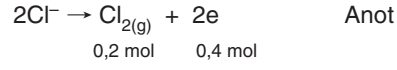
**2. yol**

$$m = \frac{Q \cdot M_A}{Z \cdot 96500} = \frac{19300 \cdot 40}{2 \cdot 96500} = 4 \text{ gram Ca toplanır.}$$

ÖRNEK

Erimiş KCl sıvısı 1,93 amperlik akım ile elektroliz ediliyor. Bu akım kaç saniye süre ile devreden geçerse anotta NŞA 4,48 L Cl₂ gazı toplanır?

- A) 5000 B) 10 000 C) 15 000
D) 20 000 E) 25 000

ÇÖZÜM

$$n_{\text{Cl}_2} = \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ mol} \quad n_{\text{elektron}} = 0,4 \text{ mol}$$

$$1 \text{ mol e} \quad 96 500 \text{ C}$$

$$0,4 \text{ mol e} \quad x$$

$$x = 38 600 \text{ C yük geçer.}$$

$$Q = i \cdot t$$

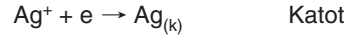
$$38 600 = 1,93 \cdot t$$

$$t = 20 000 \text{ s}$$

Cevap D'dir.**ÖRNEK**

AgNO₃'ün sulu çözeltisi Pt elektrotlarla elektroliz ediliyor. Katotta 5,4 gram Ag metalinin birikebilmesi için 100 saniye süre ile kaç amperlik akım geçirilmelidir? (Ag: 108 g/mol)

- A) 48,25 B) 28,95 C) 9,65
D) 1,93 E) 0,386

ÇÖZÜM

$$n_{\text{Ag}} = \frac{5,4}{108} = 0,05 \text{ mol} \quad \text{Ag katısı}$$

Devreden geçen elektronun mol sayısı ile toplanan gümüşün mol sayısı eşittir. Devreden 0,05 mol elektron geçmelidir.

$$1 \text{ mol e} \quad 96 500 \text{ C}$$

$$0,05 \text{ mol e} \quad x$$

$$x = 4825 \text{ C yük geçer.}$$

$$Q = i \cdot t$$

$$4825 = i \cdot 100$$

$$t = 48,25 \text{ saniye}$$

Cevap A'dır.**10. 4. SERİ BAĞLI ELEKTROLİZ KAPLARI**

$$\begin{array}{c} n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2 \\ \downarrow \quad \quad \quad \rightarrow \text{Elementin değeriği} \\ \text{Mol sayısı} \end{array}$$

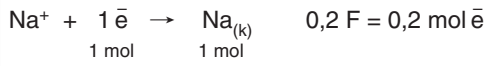
Seri bağlı elektroliz kaplarında açığa çıkan maddelerin eşdeğer gram sayıları birbirine eşittir. Seri bağlı devrede her elektroliz kabından eşit miktarda elektron geçer.

ÖRNEK

Seri bağlı üç elektroliz kabından birincisinde Na^+ , ikincisinde Cu^{+2} ve üçüncüsünde Al^{+3} iyonları bulunur.

Bu kaplardan 0,2 Faradaylık akım geçtiğinde kaplarda ayrı ayrı kaç gram metal toplanır?

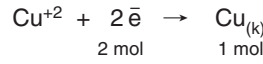
(Na: 23, Cu: 64, Al: 27 g/mol)

ÇÖZÜM**1. kapta**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ mol } \bar{e} \text{ geçerse} \quad 1 \text{ mol Na toplanır.} \\ 0,2 \text{ mol } \bar{e} \text{ geçerse} \quad x \end{array}$$

$$x = 0,2 \text{ mol Na toplanır.}$$

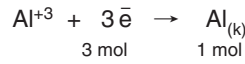
$$m_{\text{Na}} = 0,2 \cdot 23 = 4,6 \text{ g Na toplanır.}$$

2. kapta

$$\begin{array}{r} 2 \text{ mol } \bar{e} \text{ geçerse} \quad 1 \text{ mol Cu toplanır.} \\ 0,2 \text{ mol } \bar{e} \text{ geçerse} \quad x \end{array}$$

$$x = 0,1 \text{ mol Cu toplanır.}$$

$$m_{\text{Cu}} = 0,1 \cdot 64 = 6,4 \text{ g Cu toplanır.}$$

3. kapta

$$\begin{array}{r} 3 \text{ mol } \bar{e} \text{ geçerse} \quad 1 \text{ mol Al toplanır.} \\ 0,2 \text{ mol } \bar{e} \text{ geçerse} \quad x \end{array}$$

$$x = 0,2/3 \text{ mol Al toplanır.}$$

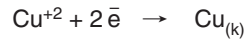
$$m_{\text{Al}} = \frac{0,2}{3} \cdot 27 = 1,8 \text{ g Al toplanır.}$$

ÖRNEK

Seri bağlı iki elektroliz kabından birincisinde Cu^{+2} , ikincisinde ise X^{+n} iyonlarını içeren çözeltiler bulunmaktadır. Birinci kapta 0,3 mol Cu metali açığa çıktığında, ikinci kapta 0,2 mol X metali toplanmaktadır.

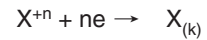
Buna göre X iyonunun değerliği (n) kaçtır?

- A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

ÇÖZÜM**1. yol**

$$\begin{array}{r} 2 \text{ mol } \bar{e} \quad 1 \text{ mol Cu}_{(k)} \\ x \quad 0,3 \text{ mol Cu}_{(k)} \end{array}$$

$$x = 0,6 \text{ mol } \bar{e} \text{ geçmiştir.}$$



$$\begin{array}{r} n \text{ mol } \bar{e} \quad 1 \text{ mol X}_{(k)} \\ 0,6 \text{ mol } \bar{e} \quad 0,2 \text{ mol X}_{(k)} \end{array}$$

$$x = 3 \text{ bulunur.}$$

2. yol

$$n_{\text{Cu}} \cdot Z_{\text{Cu}} = n_{\text{X}} \cdot Z_{\text{X}} \text{ ise } 0,3 \cdot 2 = 0,2 \cdot Z_{\text{X}}$$

$$Z_{\text{X}} = 3$$

Cevap C'dir.

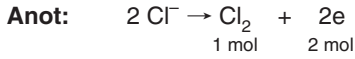
ÖRNEK

NaCl çözeltisinin elektrolizinde katotta H₂, anotta ise Cl₂ gazı çıkar. 100 mL NaCl çözeltisi anotta normal şartlarda 112 mL klor gazı toplanıncaya kadar elektroliz edildiğinde çözeltinin pH'ı ne olur?

- A) 3 B) 2 C) 1 D) 12 E) 13

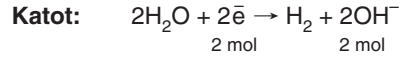
ÇÖZÜM

112 mL Cl₂ gazı = $\frac{112 \cdot 10^{-3}}{22,4L} = 0,005$ mol dür.



2 mol e geçtiğinde 1 mol Cl₂ oluşur.
x 0,005 mol Cl₂ oluşursa

x = 0,01 mol e⁻ geçmiştir.



2 mol e⁻ geçtiğinde 2 mol OH⁻ oluşur.

0,01 mol e⁻ geçerse x

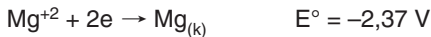
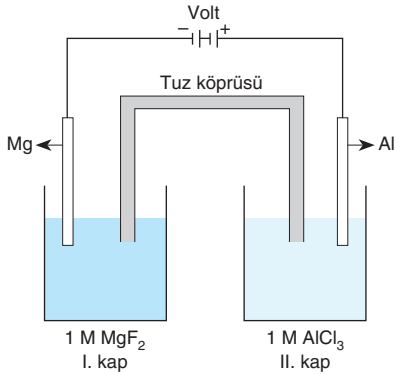
x = 0,01 mol OH⁻ oluşur.

$$[\text{OH}] = \frac{0,01 \text{ mol}}{0,1L} = 0,1 \text{ M}$$

pOH = 1 ⇒ pH = 13'tür.

Cevap E'dir.

ÖRNEK



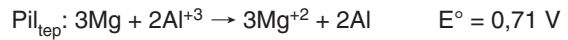
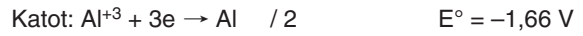
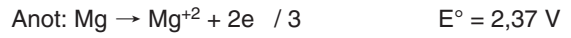
Yukarıdaki elektroliz kaplarında (1 volt) elektrik akımı uygulandığında aşağıdaki değişimlerden hangisinin olması mümkün değildir?

- A) Al elektrotta 0,2 mol aşınma olurken, Mg elektrotta 0,3 mol kütle artışı olması
B) Al elektrotta 1 mol aşınma olurken, Mg elektrotta 1,5 mol kütle artışı olması
C) Al elektrodun bulunduğu kaptaki Al³⁺ derişiminin artması
D) Mg nin elektronlarını vererek Mg²⁺ ye yükseltgenmesi
E) Elektrik devresinde elektronların, Al çubuktan Mg çubuğa doğru akması

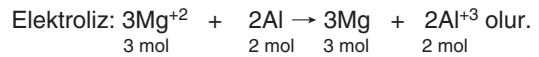
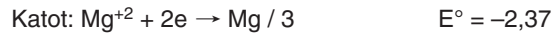
ÇÖZÜM

Şekildeki sistem bir elektroliz devresidir. Sisteme bir güç kaynağı ile bir miktar elektrik enerjisi verilmektedir.

Pil olsaydı: İndirgenme potansiyeli büyük olan indirgenirdi.



Bu pile ters yönde 0,71 V veya daha büyük gerilim uygulanırsa olaylar ters döner ve pil, elektroliz düzeneğine dönüşür.

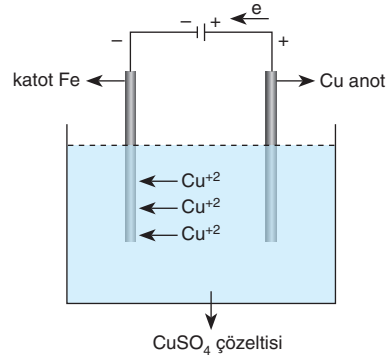


Mg elektrodun bulunduğu kaptaki indirgenme tepkimesi olur (katotta). Mg²⁺, Mg a indirgenir.

Cevap D'dir.

10. 5. ELEKTROLİZ İLE METAL KAPLAMA

Elektroliz yardımıyla bir metalin üzeri başka bir metalle kaplanabilir.



- Üzeri kaplanmak istenen metal katoda bağlanır.
- Hangi metalle kaplanacaksa bu metal anota bağlanır.
- Hangi metalle kaplanacaksa onun çözeltisi kullanılır.

Yukarıdaki düzenekte Fe metalinin üzeri Cu ile kaplanmak isteniyor. Elektroliz sırasında, çözeltideki Cu^{+2} iyonları;

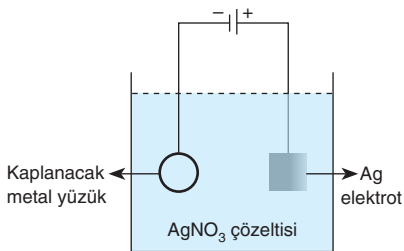
Katotta: $\text{Cu}^{+2} + 2e \rightarrow \text{Cu}_{(k)}$ şeklinde indirgenir.

Bu tepkime için elektron gerekmektedir. Bu elektronlar bakırdan sağlanabilir.



Yani Cu elektrot çözünerek çözeltiliye geçer. Çözeltiden de Cu^{+2} iyonları indirgenerek Fe üzerinde toplanır.

ÖRNEK



Yukarıdaki şekil bir metal yüzüğün elektroliz işlemi ile Ag kaplamasını göstermektedir.

Buna göre aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

- Ag metali anot olarak bağlanmalıdır.
- Yüzük katot olarak bağlanmalıdır.
- Zamanla çözeltideki Ag^+ derişimi azalır.
- Ag elektrodun kütlesi zamanla azalır.
- Elektronlar dış devrede Ag elektrottan yüzüğe doğru geçer.

ÇÖZÜM

Üzeri kaplanmak istenen metal katot, kaplayacak metal ise anot elektrot olmalıdır. Çözeltideki Ag^+ iyonları yüzük üzerinde toplandıkça Ag elektrot çözünerek çözeltiliye geçer. Bu yüzden çözeltideki Ag^+ derişimi değişmez.

Cevap C'dir.

Konu Kavrama Testleri

1. X atomu bir kimyasal tepkime sırasında elektron almıştır.

Bu X atomu için,

- I. İndirgenmiştir.
II. Yükseltgen olarak davranmıştır.
III. Değerliği artmıştır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

2. I. $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{NO}_2$
II. $\text{MnO}_4^- \rightarrow \text{MnO}_2$
III. $\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ClO}_3^-$

Yukarıda denkleşmemiş olarak verilen yarı tepkimelerden hangileri indirgenme yarı tepkimesidir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I ve III

3. $\text{I}^- + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{I}_2 + \text{NO}$

Tepkimesi asidik ortamda en küçük tamsayılarla denkleştiriliyor.

Buna göre, aşağıda verilenlerden hangisi yanlıştır?

- A) I^- iyonu yükseltgenmiştir.
B) NO_2^- indirgenmiştir.
C) H_2O nun katsayısı 2 dir.
D) H^+ iyonu indirgenmiştir.
E) NO_2^- nin katsayısı 2 dir.

4. $\text{Zn} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{ZnO}_2^{2-} + \text{NH}_3$

Redoks tepkimesi bazik ortamda denkleştirildiğinde hangi tarafa kaç tane OH^- ve H_2O eklenmelidir?

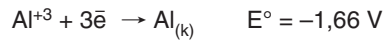
	Girenlere	Ürünlere
A)	7OH^-	$2\text{H}_2\text{O}$
B)	2OH^-	$2\text{H}_2\text{O}$
C)	2OH^-	$7\text{H}_2\text{O}$
D)	$7\text{H}_2\text{O}$	2OH^-
E)	$2\text{H}_2\text{O}$	2OH^-

5. Asidik ortamda SO_3^{-2} ile H_2O_2 den SO_4^{-2} ve H_2O oluşuyor.

Bu olayda yükseltgenme yarı tepkimesinin denklemi aşağıdakilerden hangisidir?

- A) $\text{SO}_3^{-2} + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow \text{SO}_4^{-2} + 2\text{H}_2\text{O}$
B) $\text{SO}_3^{-2} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{-2} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
C) $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
D) $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
E) $\text{SO}_3^{-2} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{SO}_4^{-2} + 2\text{H}^+$

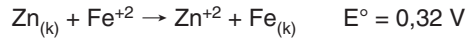
6. $\text{Zn}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}_{(k)} \quad E^\circ = -0,76 \text{ V}$



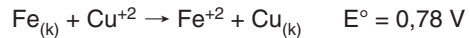
Yarı pil tepkimelerine göre Zn-Al pilinin gerilimi kaç voltur?

- A) 0,90 B) 2,42 C) 0,76
D) 1,66 E) 1,04

7. Zn – Fe pili için toplam tepkime



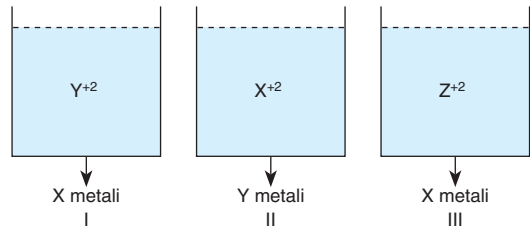
Fe – Cu pili için toplam tepkime



olduğuna göre Zn – Cu pilinin gerilimi kaç voltur?

- A) -0,46 B) +0,46 C) 0,00
D) -1,10 E) 1,10

- 8.

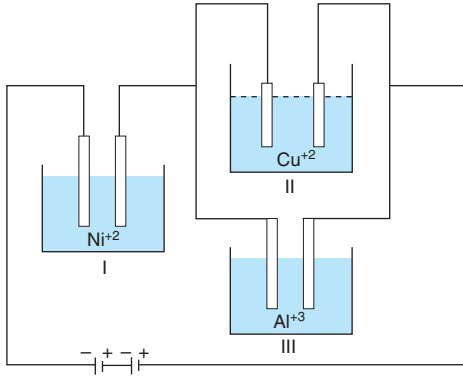


Yukarıdaki X, Y ve Z den yapılmış kapılarda içlerinde yazan çözeltiler bulunmaktadır.

Bu metallerin aktiflik sıralamaları $X > Y > Z$ şeklinde olduğuna göre hangi kapılarda içlerindeki çözeltiler saklanabilir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I ve III

9.



Şekildeki dirençleri özdeş olan I, II ve III kaplarında katyonlarla aynı cins elektrotlar bulunmaktadır.

Belli bir süre sonunda II. kapta 3,2 g Cu biriktiğine göre I. ve III. kaplarda aynı sürede sırasıyla ne kadar Ni ve Al birikir? (Cu: 64 , Ni: 58 , Al: 27 g/mol)

Ni	Al
A) 5,8 gram	0,9 gram
B) 5,8 gram	2,7 gram
C) 2,9 gram	1,35 gram
D) 2,9 gram	0,9 gram
E) 1,6 gram	2,7 gram

10. $Mn_3O_4 \rightarrow MnO_2 + Mn^{+2}$

Asidik ortamda gerçekleşen tepkimenin denkleşmiş hâli aşağıdakilerden hangisidir?

- A) $2Mn_3O_4 + 8H^+ \rightarrow MnO_2 + Mn^{+2} + 4H_2O$
 B) $3Mn_3O_4 + 12H^+ \rightarrow 3MnO_2 + 6Mn^{+2} + 6H_2O$
 C) $3Mn_3O_4 + 2H_2O \rightarrow 4MnO_2 + 2Mn^{+2} + 8H^+$
 D) $4Mn_3O_4 + 8H^+ \rightarrow 3MnO_2 + 9Mn^{+2} + 2H_2O$
 E) $3Mn_3O_4 + 16H^+ \rightarrow 3MnO_2 + 6Mn^{+2} + 12H_2O$

11. Bakırdan yapılmış bir elektrodun standart hücre geriliminin ölçülebilmesi için;

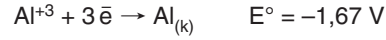
- I. Hidrojen elektrotta $25^\circ C$ de H_2 gazının basıncı 1 atmosfer olmalıdır.
 II. Bakır metalinin elektrodu 1M Cu^{+2} çözeltisine batırılmış olmalıdır.
 III. Hidrojen elektrodun çözeltisi 1M H^+ iyonu içermelidir.

şartlarından hangilerinin sağlanması gerekir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve II E) I, II ve III

12. Li-Al pilinin standart gerilimi 1,35 voltur.

Bu pilde,



tepkimesine göre alüminyum açığa çıkmaktadır.

Buna göre,

- I. Li, Al den daha aktiftir.
 II. Li-Al pilinin katot elektrodunda Li metali açığa çıkar.
 III. $Li^{+1} + 1e \rightarrow Li_{(k)}$ tepkimesinin standart gerilimi $-3,02 V$ tur.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve II E) II ve III

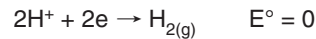
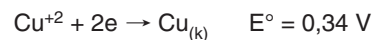
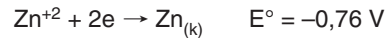
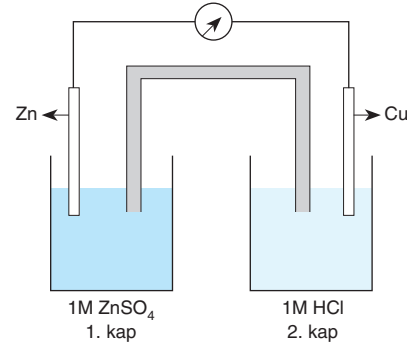
13. $Zn^{+2} + 2e \rightarrow Zn_{(k)}$

Yarı pil tepkimesinin standart elektrot potansiyeli (E°) $-0,76 Volt$ 'tur.

Zn^{+2} derişimi 0,1M olduğunda elektrot potansiyeli kaç volt olur?

- A) $-0,76$ B) $-0,076$ C) $-0,79$
 D) $-0,079$ E) $-0,11$

14.



Yukarıdaki şekilde elektrokimyasal bir pil gösterilmiştir.

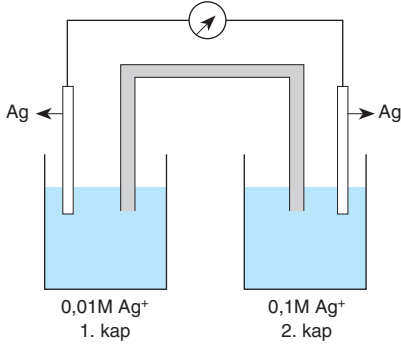
Buna göre,

- I. Standart pil gerilimi 0,76 Volttur.
 II. Zamanla Cu elektrodun kütlesi artar.
 III. II. kaba NaOH eklenirse pil gerilimi düşer.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve II E) I ve III

15.



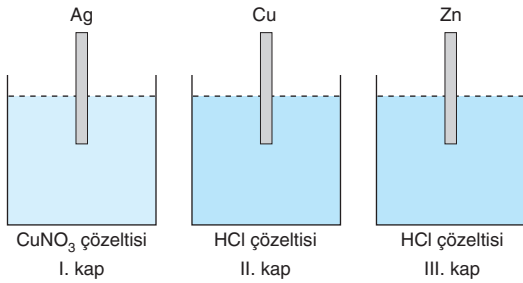
Yukarıdaki şekilde verilen derişim kabı için,

- I. 1. kaptaki elektrot anottur.
- II. 2. kaptaki Ag^+ derişimi zamanla azalır.
- III. Elektronlar dış devrede 1. kaptan 2. kaba doğru geçer.

Yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

16.



Yukarıdaki I ve II kaplarında tepkime gerçekleşmezken, III. kapta H_2 gazı çıkışı gözleniyor.

Buna göre, Ag, Cu, Zn ve H in aktiflikleri büyükten küçüğe doğru nasıl sıralanır?

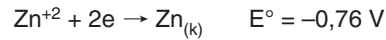
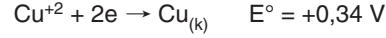
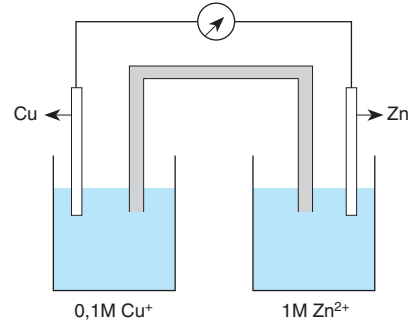
- A) Zn, H, Cu, Ag B) Zn, H, Ag, Cu
C) Zn, Cu, Ag, H D) Ag, Cu, H, Zn
E) Cu, Ag, H, Zn

17. $E_{Ag^+/Ag}^{\circ} = +0,80 V$ $E_{Ni^{2+}/Ni}^{\circ} = -0,25 V$ $E_{Cu^{2+}/Cu}^{\circ} = +0,34 V$ $E_{Fe^{2+}/Fe}^{\circ} = -0,44 V$

Yukarıda verilen standart indirgenme potansiyellerine göre hangi metaller kullanılarak yapılan pilin standart pil potansiyeli en fazladır?

- A) Fe – Ni B) Fe – Ag C) Cu – Ag
D) Ni – Ag E) Fe – Cu

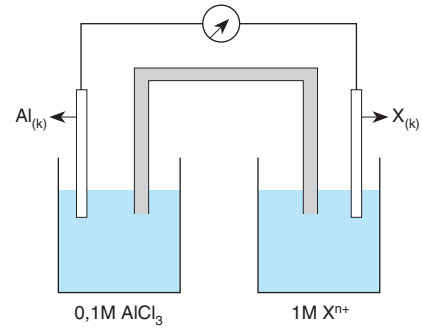
18.



Yukarıdaki düzenek için pil potansiyeli kaç voltur?

- A) +1,10 B) –1,10 C) +1,07
D) +1,13 E) –1,07

19.



Yukarıdaki pil sisteminde Al elektrodun kütlesi 10,8 g azaldığında X elektrodun kütlesi 38,4 gram artmaktadır.

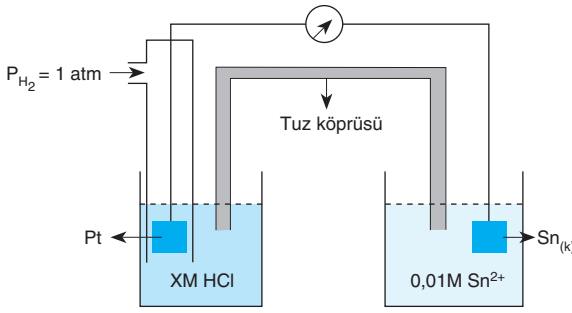
Buna göre X'in yükseltgenme basamağı (n) kaçtır? (Al: 27, X: 64 g/mol)

- A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

20. $Pt_{(k)}/Cl^{-}(1,0M)/Cl_2(1 \text{ atm})//Pb^{2+}(0,01M)/H^{+}(0,1M)/PbO_{2(k)}$
 $PbO_{2(k)} + 4H^{+}_{(suda)} + 2e \rightarrow Pb^{2+}_{(suda)} + 2H_2O \quad E^{\circ} = 1,455 V$
 $Cl_{2(g)} + 2e \rightarrow 2Cl^{-} \quad E^{\circ} = 1,360 V$
 Diyagramı verilen galvanik hücrenin potansiyeli ($E_{hücre}$) aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) 0,018 V B) 0,036 V C) 0,048 V
D) 0,072 V E) 0,104 V

21.



$$E_{\text{H}^+/\text{H}_2}^\circ = 0 \text{ V}$$

$$E_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}}^\circ = -0,137 \text{ V}$$

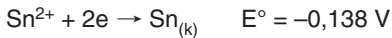
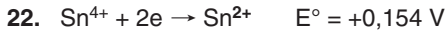
Yukarıdaki galvanik hücre gerilimi 0,078 Volttur.

Buna göre,

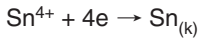
- I. Hidrojen elektrot anottur.
- II. Hücre tepkimesi istemsizdir.
- III. HCl çözeltisinin pH'ı 0'dır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III



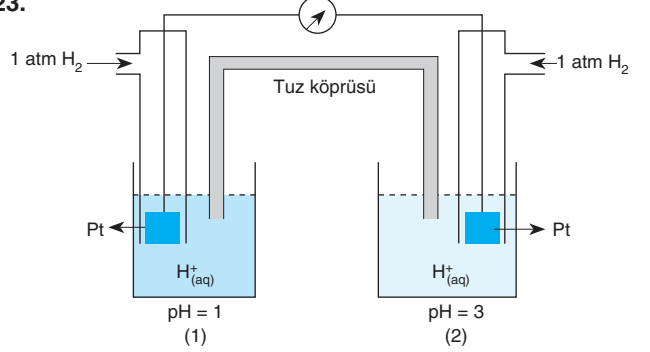
olduğuna göre,



tepkimesine ait indirgenme yarı tepkimesinin pil potansiyeli aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) 0,001 B) 0,002 C) 0,004
D) 0,006 E) 0,008

23.



Yukarıda verilen elektrokimyasal sistem ile ilgili,

- I. Galvanik hücredir.
- II. Hücre tepkimesi istemsizdir.
- III. 1. kap anottur.
- IV. $E_{\text{hücre}} = 0$ 'dır.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) II ve III
D) I, III ve IV E) II, III ve IV

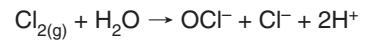
24. 4 L'lik CuSO_4 çözeltisinden 0,04 Faradaylık akım geçtiğinde,

- I. Katotta 2,56 g Cu katısı birikir.
- II. Anotta NŞA'da 0,224 L O_2 gazı açığa çıkar.
- III. Son durumda çözeltinin pH'ı 2'dir.

yargılarından hangileri doğrudur? (Cu = 64 g/mol)

- A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III
D) I ve III E) I, II ve III

25. Suyun dezenfeksiyonu için kullanılan klor gazı,



tepkimesine göre su ile tepkimeye girmektedir.

Buna göre,

- I. Disproporsiyonlanma tepkimesidir.
- II. H_2O yükseltgenmiştir.
- III. 100 mL suda NŞA'da 0,112 L hacim kaplayan Cl_2 gazı çözündüğünde pH = 1 olur.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

Konu Kavrama Çözümleri

1. Kimyasal tepkime

$X + e \rightarrow X^{-1}$ şeklindedir.

Atom elektron alarak indirgenmiştir. Karşısındaki atomu yükseltgediği için kendisi yükseltgendir. Değerliği azalmıştır.

Cevap D'dir.

2. I. $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{NO}_2$

N atomu $1\bar{e}$ olarak indirgenmiştir.

II. $\text{MnO}_4^{-1} \rightarrow \text{MnO}_2$

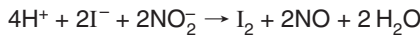
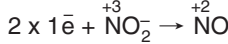
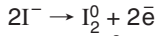
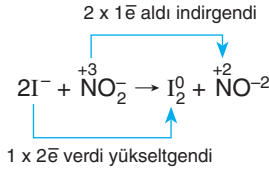
Mn atomu $3\bar{e}$ olarak indirgenmiştir.

III. $\text{Cl}_2^0 \rightarrow \text{ClO}_3^{-}$

Cl atomu $5\bar{e}$ vererek yükseltgenmiştir.

Cevap D'dir.

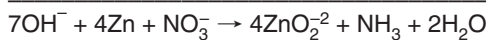
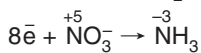
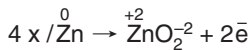
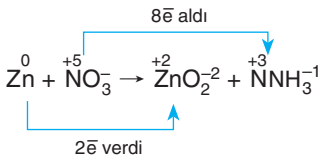
3.



H^+ nın değeriği değişmemiştir. İndirgenmemiştir.

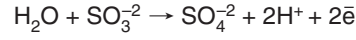
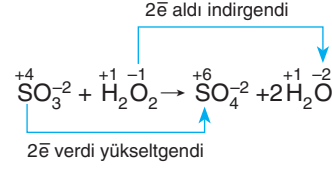
Cevap D'dir.

4.



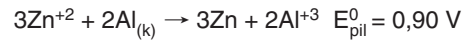
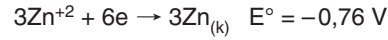
Cevap A'dir.

5.



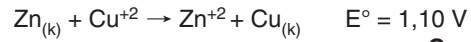
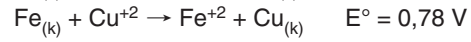
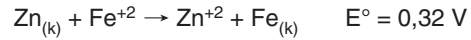
Cevap B'dir.

6. İndirgenme potansiyeli büyük olan Zn indirgenir. Al ise yükseltgenir.



Cevap A'dir.

7. İki tepkime Hess yasasına uygun şekilde toplanabilir.



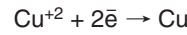
Cevap E'dir.

8. Aktif olan metal daha az aktif metal iyonu ile etkileştiğinde tepkime olur.

I ve III. kaplarda tepkime olur. X ve Y metalleri çözünür. Kap aşınır. Fakat II. kaptaki tepkime olmaz içindeki çözelti saklanabilir.

Cevap B'dir.

9. $n_{\text{Cu}} = \frac{3,2}{64} = 0,05 \text{ mol Cu}$



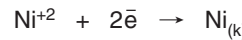
2 mol \bar{e} 1 mol Cu toplanır

x 0,05 mol Cu toplanır.

0,1 mol e geçmiştir.

Dirençler eşit olduğundan III. kaptan da 0,1 mol e geçmiştir.

I. kap diğer iki kap ile paralel bağlanmıştır. I. kaptan ise 0,2 mol e geçmiştir. Buna göre



2 mol \bar{e} 1 mol Ni toplanır

0,2 mol \bar{e} ?

0,1 mol Ni ise 5,8 g Ni toplanır.

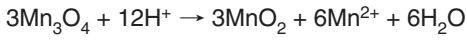
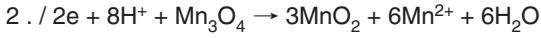
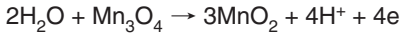
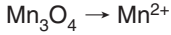
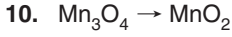


3 mol \bar{e} 1 mol Al toplanır

0,1 mol \bar{e} ?

$\frac{0,1}{3}$ mol Al ise $\frac{0,1}{3} \cdot 27 = 0,9 \text{ g Al}$ toplanır.

Cevap A'dir.

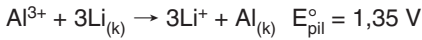


Cevap B'dir.

11. Standart hücre geriliminin ölçülebilmesi için 25°C'da 1M Cu^{+2} çözeltisi içeren bakır elektrot, standart hidrojensel elektrot (SHE) bağlanmalıdır. SHE'de 1 atm H_2 gazı ve 1M H^+ çözeltisi kullanılmalıdır.

Cevap E'dir.

12. Alüminyum katısı açığa çıktığına göre, Al^{3+} iyonları indirgenmiştir. Bu durumda anotta Li metali yükseltgenmiştir.



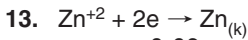
$$E_{pil}^{\circ} = E_{ind}^{\circ} + E_{yük}^{\circ}$$

$$1,35 = -1,67 + E_{yük}^{\circ}$$

$$E_{yük}^{\circ} = 3,02 \text{ V}$$

Alüminyum daha aktif olan lityum metali yükseltgenmiştir. Katotta alüminyum açığa çıkar.

Cevap A'dir.



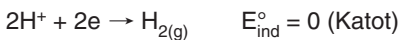
$$E = E^{\circ} - \frac{0,06}{n} \log K$$

$$E = -0,76 - \frac{0,06}{2} \log \frac{1}{0,1}$$

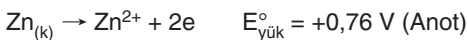
$$E = -0,79 \text{ V}$$

Cevap C'dir.

14. E_{ind}° değerleri verilen tepkimelere bakıldığında indirgenme potansiyeli en büyük olan Cu^{2+} 'nin indirgenmesi beklenir. Ancak şekildeki pil çözeltilerinde Cu^{+2} iyonu yoktur. Bu nedenle bir sonraki iyon H^+ indirgenir. 2. kaptan,

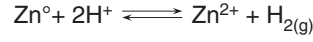


1. kaptan ise, $Zn_{(k)}$ yükseltgenir.



$$E_{pil} = E_{ind} + E_{yük} = 0 + 0,76 = 0,76 \text{ V'dur.}$$

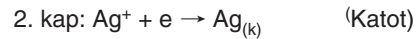
2. kaptan H_2 gazı açığa çıkar. Bakır çubuğun kütlesi değişmez.



2. kaba NaOH eklenirse H^+ derişimi azalır. Pil tepkimesi bunu arttırmak için girenler yönüne kayar. Pil gerilimi düşer.

Cevap E'dir.

15. Seyreltik olan çözeltilerde iyon derişiminin artması için yükseltgenme tepkimesi gerçekleşir. Yani seyreltik olan 1. kap anottur. 2. kap ise katottur ve derişimi azalır.



Dış devrede elektronlar Anottan katota doğru hareket eder.

Cevap E'dir.

16. Aktif metaller HCl'de çözünür ve H_2 gazı açığa çıkarır.

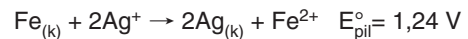
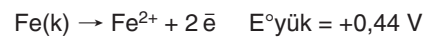
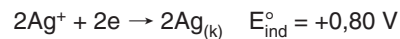
$$Zn > H > Cu \text{ 'dır.}$$

Aktif olan metaller daha az aktif olan metallerin katyonlarından oluşan çözeltilerde çözünür. Ag metali $CuNO_3$ çözeltisine çözünmediği için Cu daha aktiftir. Aktiflik sıralaması, büyükten küçüğe doğru,

$$Zn > H > Cu > Ag \text{ şeklindedir.}$$

Cevap A'dir.

17. İndirgenme gerilimi en büyük olan indirgenirken indirgenme gerilimi en küçük olanın yükseltgendiği tepkimenin potansiyeli en yüksek olur.



Fe-Ag pilinin gerilimi en büyük olur.

Cevap B

18. İndirgenme potansiyeli büyük olan bakır indirgenir. Çinko ise yükseltgenir.



$$E_{\text{pil}}^{\circ} = E_{\text{ind}}^{\circ} + E_{\text{yük}}^{\circ} = (+0,34) + (0,76) = +1,10 \text{ V}$$

Nernst Eşitliğine göre,

$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^{\circ} - \frac{0,06}{n} \log \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

$$E_{\text{pil}} = +1,10 - \frac{0,06}{2} \log \frac{1}{0,1}$$

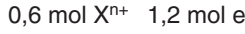
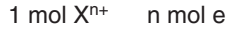
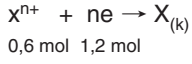
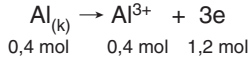
$$E_{\text{pil}} = +1,10 - 0,03 \cdot \log 10$$

$$E_{\text{pil}} = +1,07 \text{ V}$$

Cevap C'dir.

19. $n_x = \frac{38,4}{64} = 0,6 \text{ mol}$

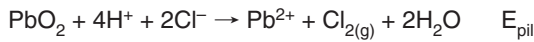
$$n_{\text{Al}} = \frac{10,8}{27} = 0,4 \text{ mol}$$



$$n = 2 \text{ dir.}$$

Cevap B

20. Cl^- bulunan elektrot anot, Pb^{2+} bulunan ise katottur. Bu hem pil şemasından hem de indirgenme potansiyellerinden anlaşılabilir. Piş şimesanıda solda her zaman anot bulunur. Ayrıca Cl_2 'un indirgenme potansiyeli daha düşük olduğundan yükseltgendir.



$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^{\circ} - \frac{0,059}{n} \log K$$

$$E_{\text{pil}} = (1,455 + (-1,360)) - \frac{0,059}{2} \log \frac{[\text{Pb}^{2+}] \cdot P_{\text{Cl}_2}}{[\text{H}^+]^4 [\text{Cl}^-]^2}$$

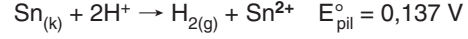
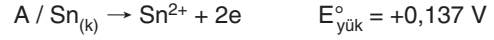
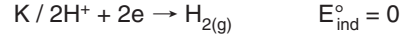
$$E_{\text{pil}} = 0,095 - \frac{0,059}{2} \log \frac{(0,01)(1)}{(0,1)^4 (1,0)^2}$$

$$E_{\text{pil}} = 0,095 - \frac{0,059}{2} \cdot 2$$

$$E_{\text{pil}} = 0,036 \text{ V}$$

Cevap B'dir.

21. İndirgenme gerilimi büyük olan H^+ indirgenir, Sn ise yükseltgenir. Galvanik hücre ve E_{pil} pozitif olduğu için tepkime istemlidir.



$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^{\circ} - \frac{0,059}{n} \log \frac{P_{\text{H}_2} \cdot [\text{Sn}^{2+}]}{[\text{H}^+]^2}$$

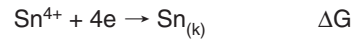
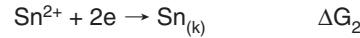
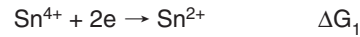
$$0,078 = 0,137 - \frac{0,059}{2} \log \frac{1 \cdot 0,01}{[\text{H}^+]^2}$$

$$[\text{H}^+] = 1 \text{ M}$$

$$\text{pH} = 0 \text{ dir.}$$

Cevap C'dir.

22. İki yarı tepkime toplanarak bir net tepkime elde edilmeyip, yine bir indirgenme yarı tepkimesi oluşmaktadır. Gibbs serbest enerjileri yardımıyla sonuç bulunur.



$$\Delta G = \Delta G_1 + \Delta G_2$$

$$-nFE^{\circ} = -nFE_1^{\circ} + (-nFE_2^{\circ})$$

$$-4 \cdot FE^{\circ} = -2F \cdot 0,154 + [-2 \cdot F(-0,138)]$$

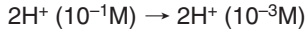
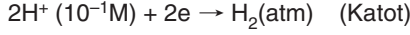
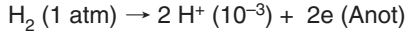
$$E^{\circ} = 0,008 \text{ V}$$

Cevap E'dir.

23. 1. kapta pH = 1 ise $[H^+] = 10^{-1} M$

2. kapta pH = 3 ise $[H^+] = 10^{-3} M$

H^+ derişimi fazla olan 1. kapta indirgenme olur, H^+ derişimi azalır ve katot olarak davranır. Seyreltik olan 2. çözelti ise anottur.



$$E_{\text{pil}} = E_{\text{pil}}^{\circ} - \frac{0,0592}{2} \cdot \log \frac{[H^+]_{(\text{anot})}^2}{[H^+]_{(\text{katot})}^2}$$

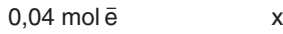
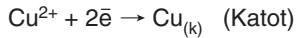
$$E_{\text{pil}} = 0 - \frac{0,0592}{2} \cdot \log \frac{(10^{-3})^2}{(10^{-1})^2}$$

$$E_{\text{pil}} = +0,1184 V$$

$E_{\text{pil}} > 0$ olduğu için hücre tepkimesi istemlidir ve galvanik hücredir.

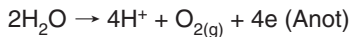
Cevap A'dır.

24. 0,04 Faraday = 0,04 mol \bar{e}



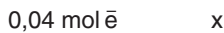
$$x = 0,02 \text{ mol } Cu$$

$$m_{Cu} = 0,02 \cdot 64 = 1,28 \text{ g } Cu \text{ birikir.}$$



$$x = 0,01 \text{ mol } O_2 \text{ gazı}$$

NŞA 0,224 L O_2 gazı açığa çıkar.



$$x = 0,04 \text{ mol } H^+ \text{ açığa çıkar.}$$

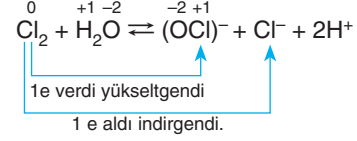
$$[H^+] = \frac{0,04 \text{ mol}}{4 L}$$

$$[H^+] = 0,01M$$

$$pH = 2' \text{dir.}$$

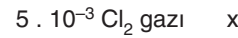
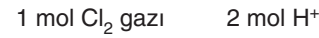
Cevap C'dir.

25.



Cl_2 molekülü hem yükseltgenmiş, hem de indirgenmiştir. Bir molekülün aynı anda hem yükseltgenip, hem de indirgendiği bu tür tepkimeler disproporsiyonlanma tepkimesi olarak adlandırılır. H_2O indirgenme-yükseltgenmeye katılmamıştır.

$$n_{Cl_2} = \frac{0,112}{22,4} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol } Cl_2 \text{ gazı harcanmıştır.}$$



$$x = 0,01 \text{ mol } H^+ \text{ açığa çıkar.}$$

$$[H^+] = \frac{0,01 \text{ mol}}{0,1L}$$

$$[H^+] = 0,1M$$

$$pH = 1' \text{dir.}$$

Cevap C'dir.