

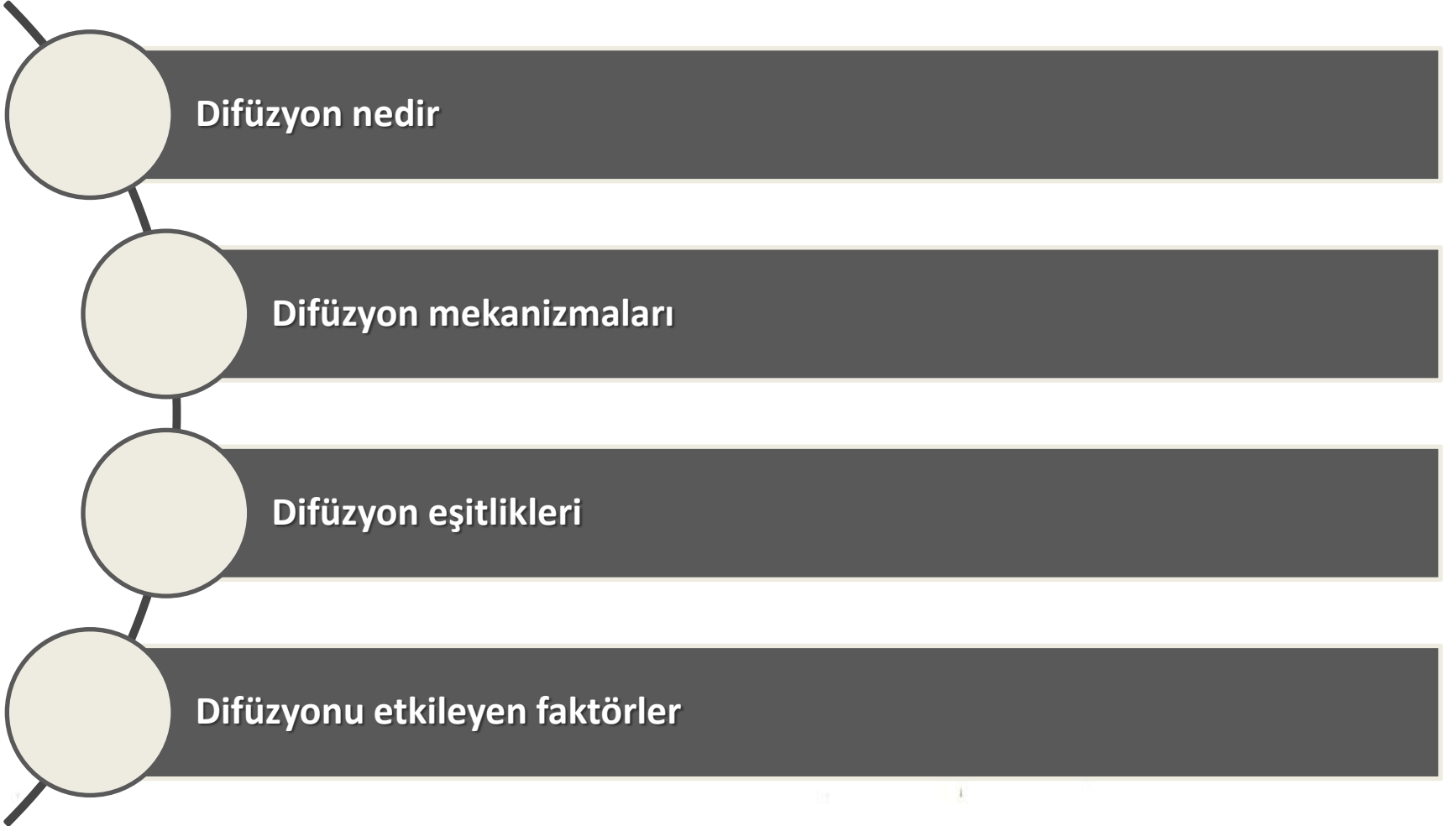
Malzeme Bilgisi  
Prof. Dr. Akgün ALSARAN



Mekanizma ve etkileyen faktörler

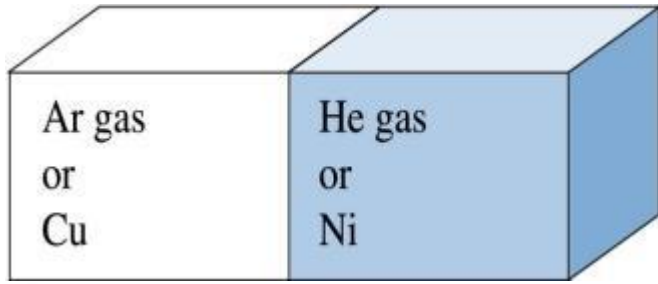
# Difüzyon



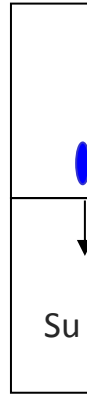


# Difüzyon nedir

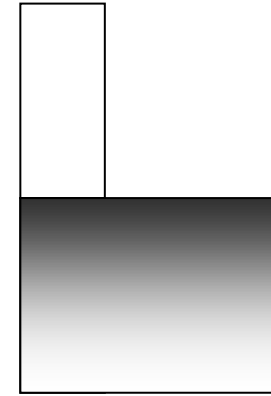
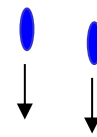
Katı içerisindeki atomların hareketi yüksek konsantrasyon bölgelerinden düşük konsantrasyon bölgelerine doğrudur. Kayma olayından farklıdır. Kaymada hareketli atom düzlemlerindeki bütün atomlar eşit miktarda hareket eder. Difüzyon ise bireysel olarak tek bir doğrultu takip etmeksizin zikzaklar çizerek hareket olayıdır. Yalnız atomların böyle bir hareket yapabilmesi için yani yerinden uzaklaşabilmesi için enerjiye ihtiyaçları vardır ki buna aktivasyon enerjisi denir. Difüzyon mekanizması büyük ölçüde noktasal kusurların varlığı ile oluşur.



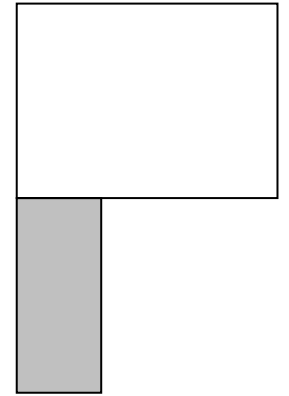
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning- is a trademark used herein under license.



Boya eklenmesi



Kismen karışma



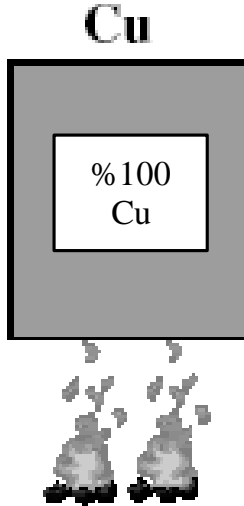
Homojenleşme

Süre

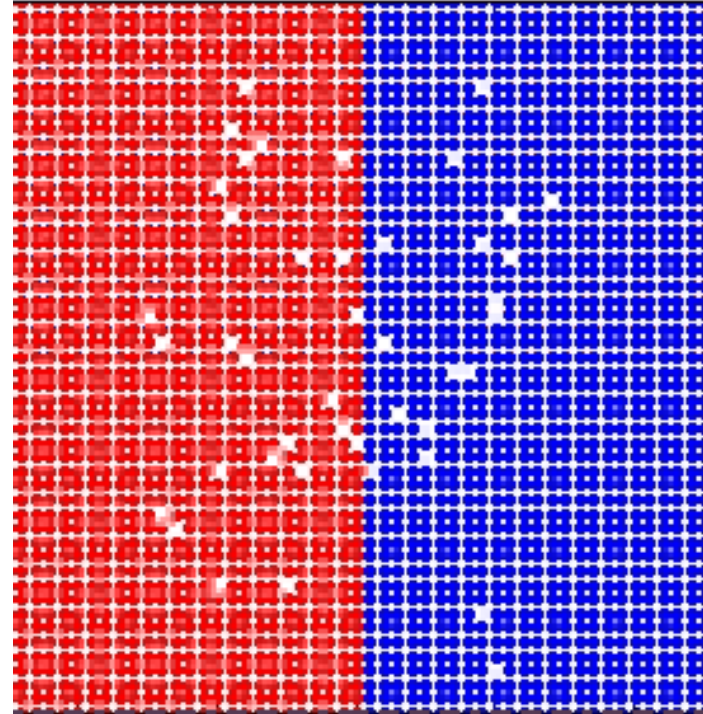


# Difüzyon nedir

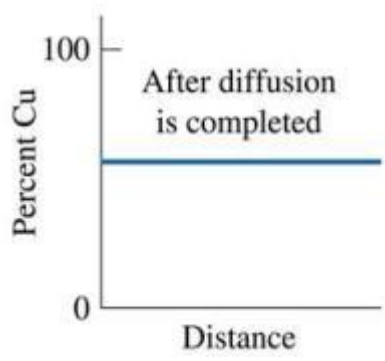
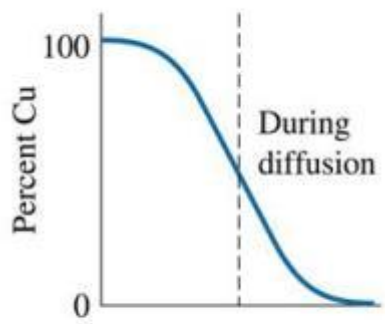
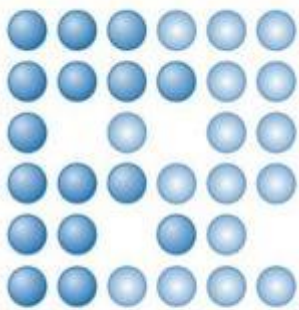
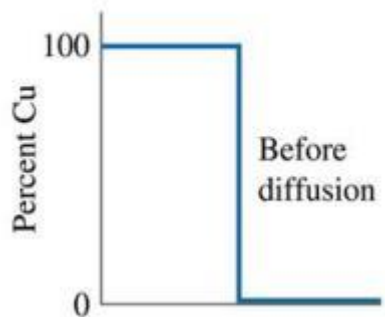
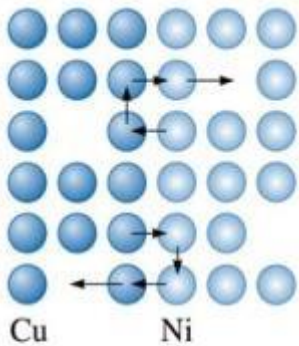
Sıcaklık yükseldikçe atomların ısı titreşimleri artar ve bir kısmı içinde bulunduğu yapıdan bir diğer konuma atlayarak yer değiştirir. Atomsal yayılım veya difüzyon denen bu olayda önce atomun çevresi ile bağları kopar, sonra atomlar arası boşluklardan geçer ve yeni konumda tekrar çevresi ile bağ kurar.



Öz difüzyon



# Difüzyon nedir



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning is a trademark used herein under license.

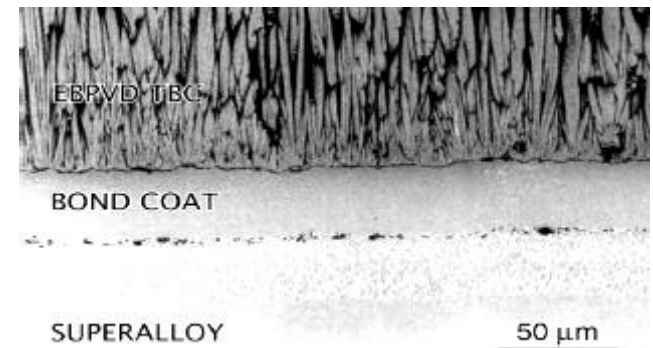
# Difüzyon nedir

## 👍 Niçin difüzyon üzerinde çalışılır?

- Termodinamik olaylar ve mekanizmaları ve hızlarını tespit etmek için
- Hataların oluşumu ve yayılmasının tespiti için
- Atomların hareketi ya da göçünün belirlenmesi

## 👍 Nerelerde karşımıza çıkıyor?

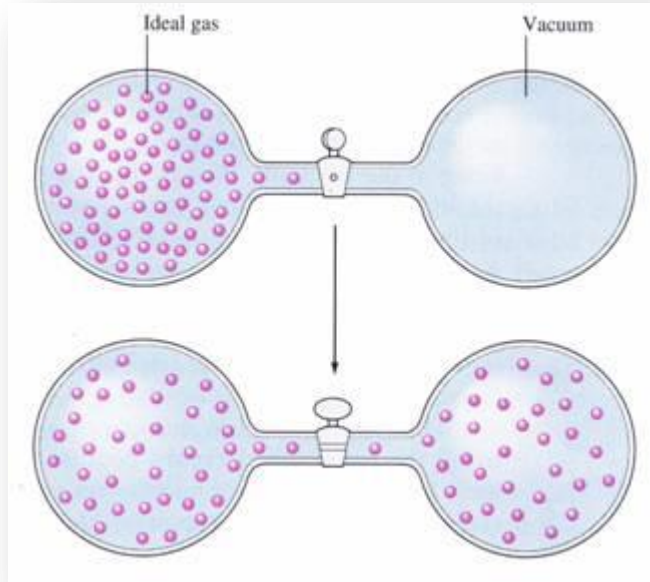
- Yüzey iyileştirme işlemlerinde
- Çevresel bozunmada (korozyon ve oksidasyon)
- Katılaşmada (sıvı halden katıya)
- Faz dönüşümlerinde (Katı-katı)
- Sürünmede (creep)
- Yarıiletken özellikleri olarak
- Kaplama ve taban malzeme arasında
- Radyoaktif süreçlerde



# Difüzyon nedir

## Gazlarda difüzyon

Gazlar birbirleriyle her oranda karışır ve homojen karışımlar meydana getirirler. Gazlardaki bu karışma özelliği moleküller arası büyük boşluklardan dolayı yayılmalarından ileri gelir. Gazların bu yayılma özelliğine difüzyon olarak tanımlanır. Kütlece küçük moleküller büyüklerden daha hızlı hareket ederler. Bu  $\frac{1}{2}mv^2$  formülü ile açıklanabilir. Örneğin bir hidrojen molekülü bir oksijen molekülünden daha hızlı (4 kat) bir difüzyon göstermektedir. (Graham'ın difüzyon kanunu)



# Difüzyon nedir

## Sıvılarda difüzyon

Sıvılarda difüzyon gazlardan çok daha yavaştır. Çünkü sıvılarda moleküller çok daha yakındır. Dolayısıyla moleküllerin boşluklardan istifade ederek yayılma ihtimalleri daha zayıftır. Sıcaklık arttıkça moleküller arası mesafeler arttığı için difüzyon artar.

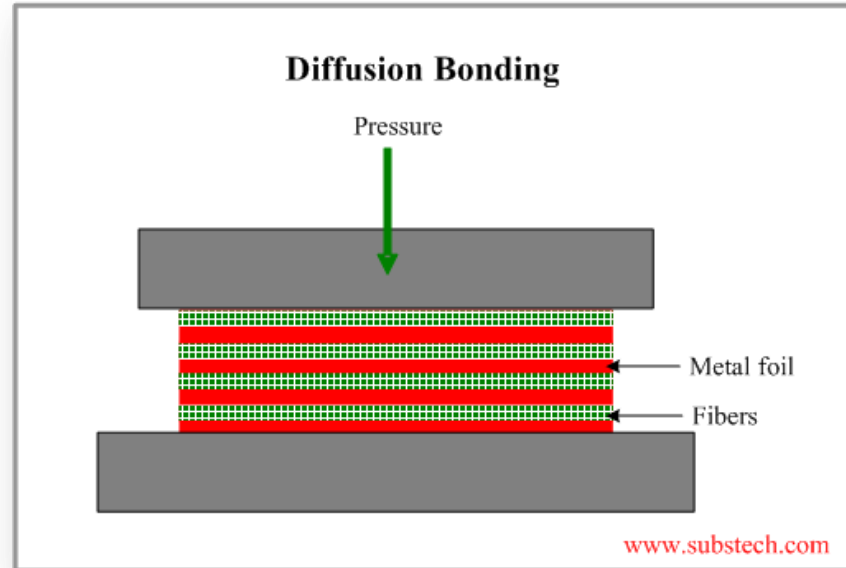




# Difüzyon nedir

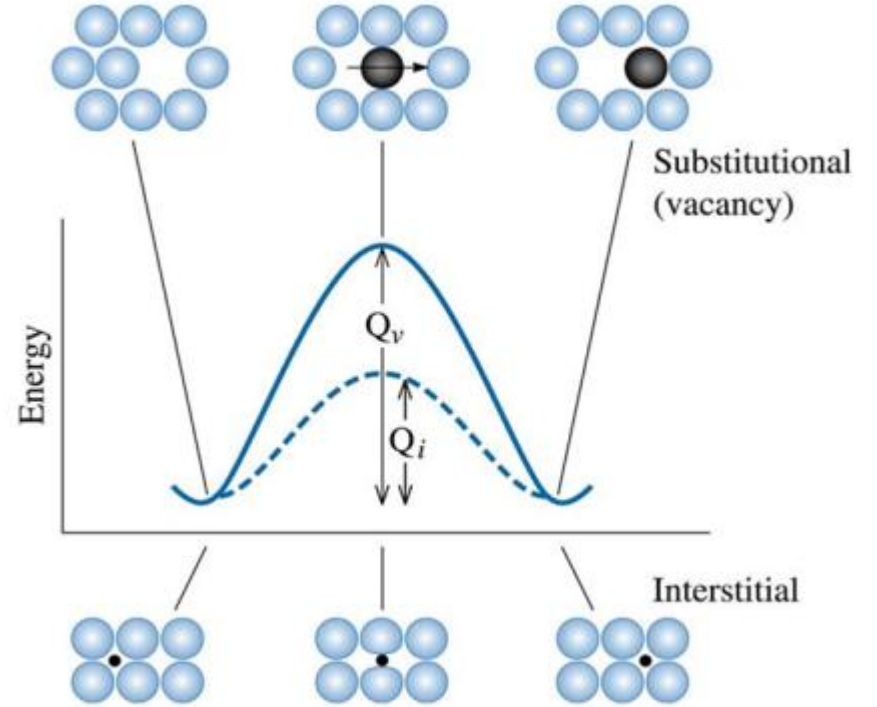
## Katılarda difüzyon

Katılarda katıları oluşturan parçacıklar buldukları yerde titreşebilirler. Hatta bazı durumlarda katılarda difüzyon olayına dahi rastlanabilir. Altın bir levha kurşun bir levha üzerinde uzun bir müddet tutulduğu takdirde, iki metalin yüzeyleri arasında difüzyon gerçekleşir. Deneyler sonucunda altın atomlarının kurşun levhaya geçtiği gözlenmiştir. Ya da radyoaktif kurşun levha ile radyoaktif olmayan kurşun bir levha üst üste bir kısıpça sıkıştırıldığında belli bir süre sonra radyoaktif atomların radyoaktif olmayan levhaya geçtiği görülmüştür.



# Difüzyon nedir

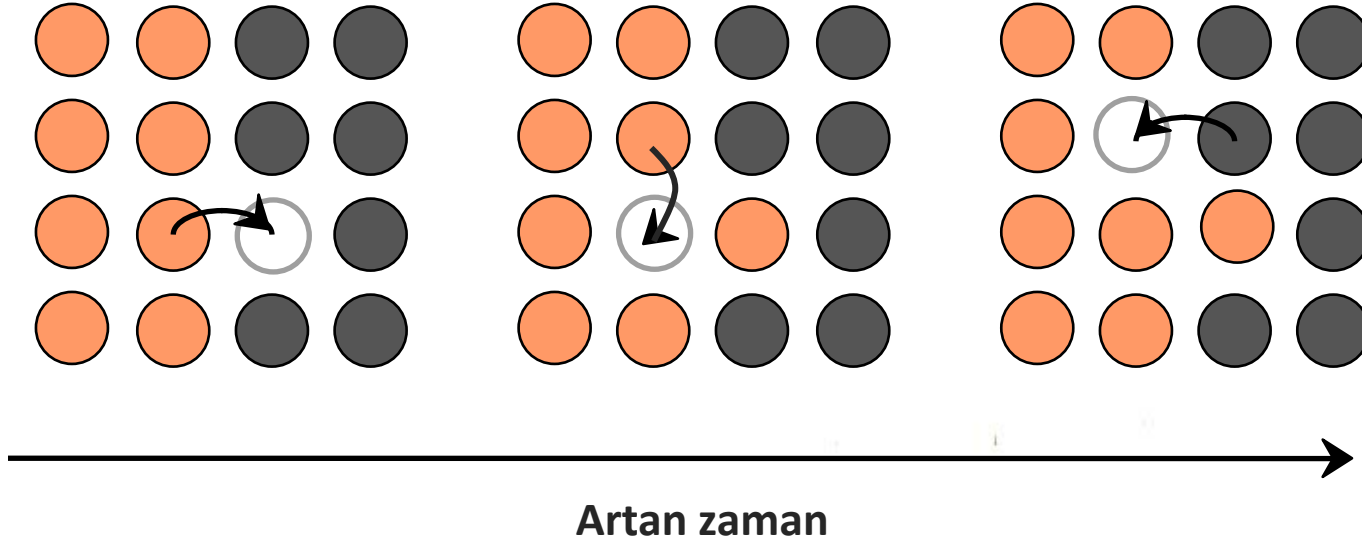
Bir atomun bulunduğu konumundan başka bir konuma geçebilmesi için komşu atom arasındaki bağı koparılması ya da komşu bir atoma bağlanabilmesi için ihtiyaç duyduğu enerji, **Aktivasyon Enerjisi ( $Q=Em$ )**'dir.



Aynı cins atomların konumlarını değiştirmesiyle ortaya çıkan yayınmaya kendi kendine ya da **öz difüzyon** (self diffusion) denir (saf malzeme içerisindeki atomların hareketi söz konusudur). Yaklaşık eşit çaptaki yabancı atomların difüzyonuna da **yabancı atom difüzyonu** denir.

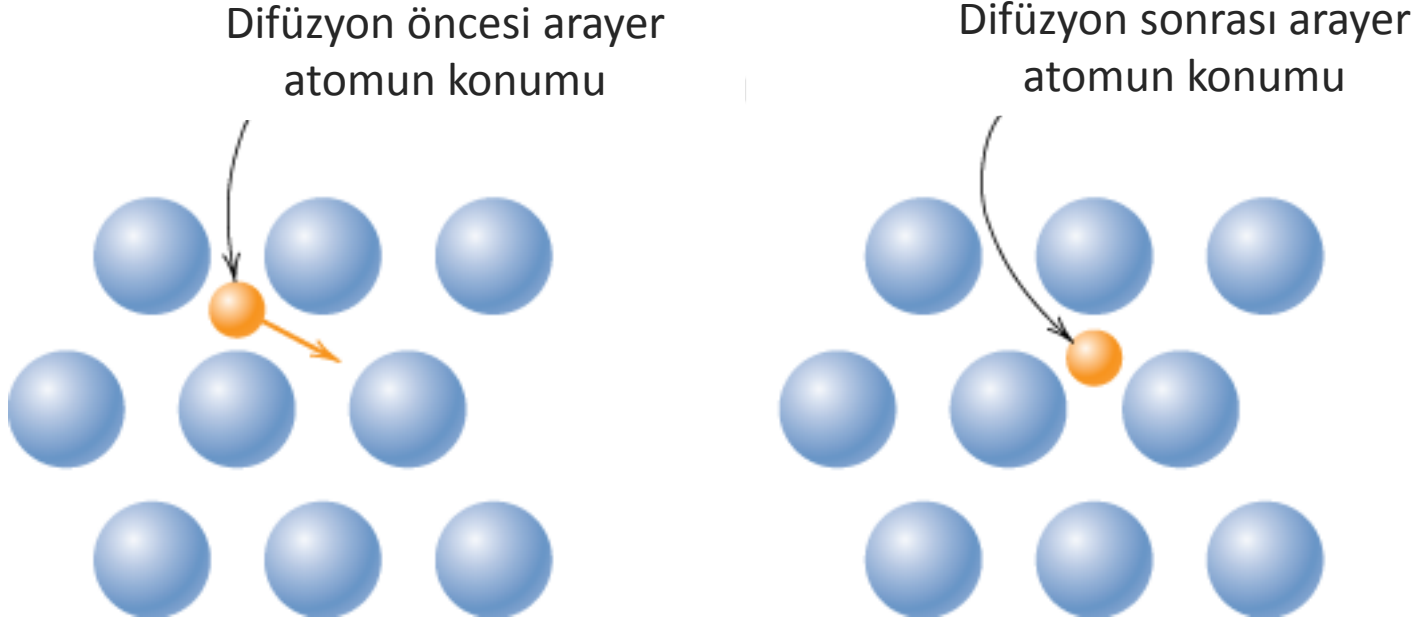
# Difüzyon mekanizmaları

**Boş Nokta Mekanizması:** Atomların komşu olan boş kafes noktalarını doldurması yani kafes boşluğu difüzyonudur. Çözünen element atomlarının boş noktalara sıçraması neticesinde boş olan yeri doldurması ve bu olayın zincirleme olarak devam etmesi söz konusudur. Fakat bu boşluklar atomsal doldurma hareketi sonucunda tane sınırlarında yok olurlar. Atom göçü, boşluk akma yönüne zıttır.



# Difüzyon mekanizmaları

**Arayer mekanizması:** Küçük çaplı atomların ara bölgelere sıçraması ile difüzyon gerçekleşir. Sıcaklığa bağlıdır. Bu mekanizmada, hem ara bölgelerin her zaman boşluk sayısından daha fazla olması, hem de çapça çok küçük arayer atomlarının aktivasyon için az enerji gerektirirler.

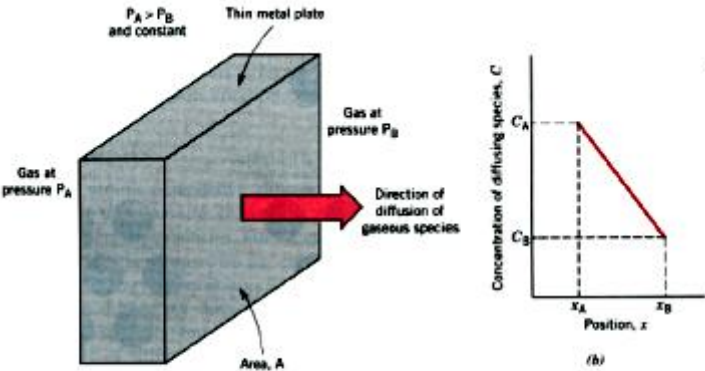


Adapted from Fig. 5.3 (b), *Callister 7e*.

# Difüzyon kanunları

## I. Fick Kanunu

Difüzyonun zamana bağlı olmadığını, itici kuvvetin konsantrasyon dağılımı olduğunu söyler. Konsantrasyon dağılımı olmadığında difüzyon olmaz, yani  $dc/dx = 0$ 'dır. Konsantrasyon dağılımı sabittir.



$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

$D$  - diffusion coefficient,  $m^2/s$   
 $\frac{dC}{dx}$  - concentration gradient driving force for diffusion

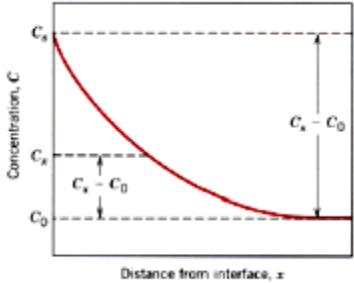
$$D = D_0 \exp\left(\frac{-Q_d}{RT}\right)$$

$D_0$  = temperature-independent pre-exponential,  $m^2/s$   
 $Q_d$  = activation energy for diffusion, J/mol, eV/mol  
 $R$  = gas constant, 8.31 J/mol-K  
 $T$  = absolute temperature, K

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

*Need boundary conditions!  
 Solutions depend on situation.*

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$



# Difüzyon kanunları

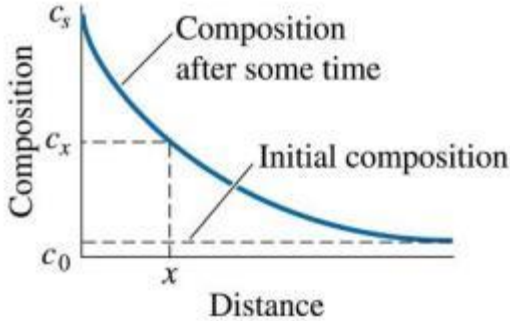
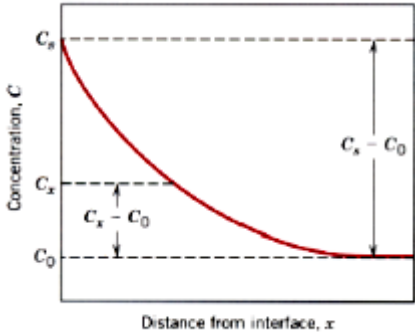
## II. Fick Kanunu

Metallerde difüzyon olaylarının çözümünde 1. Fick kanunu yetersiz kalmıştır. Bu nedenle 2. Fick kanunu ortaya çıkmıştır. Çünkü gerçek hallerde konsantrasyon dağılımı zamanın bir fonksiyonudur. Akış ve dağılım zamanla değişkenlik arz eder.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

*Need boundary conditions!  
Solutions depend on situation.*

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$



# Difüzyon hangi hallerde hızlıdır?

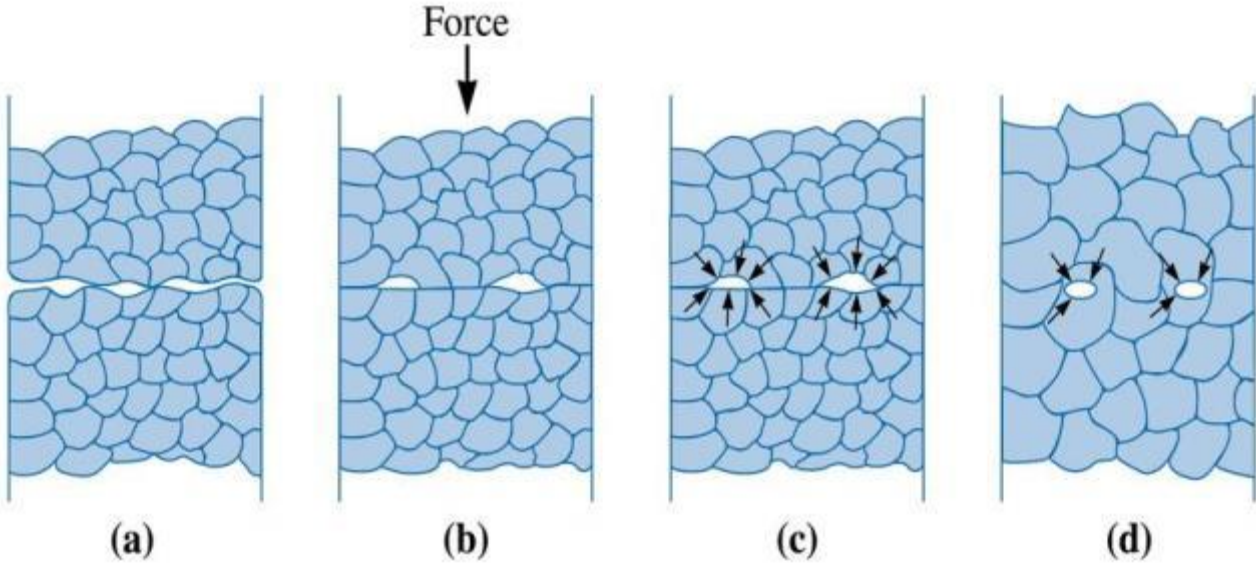
## 👉 Difüzyonu Etkileyen Faktörler

- Difüzyon mekanizması,
- D0 ve aktivasyon enerjisi (ikisi de her çözen ve çözünen için farklılık arzeder)
- Sıcaklık,
- Mikroyapı (çok kristallerde tane sınırının fazla olması nedeniyle tek kristallere göre difüzyon daha hızlıdır).

## 👉 Difüzyon Şu Hallerde Daha Hızlıdır?

- Açık kristal yapılarda (atom yoğunluğu düşük kristallerde)[sıkı paket yapılarda yavaş],
- Düşük ergime noktasına sahip malzemelerde,
- Van der Waals bağlı malzemelerde,
- Yayınan atomun çapı küçükse,
- Katyonlarda,
- Düşük yoğunluklu malzemelerde.
- Hatalı malzemelerde.

# Difüzyon örnekleri



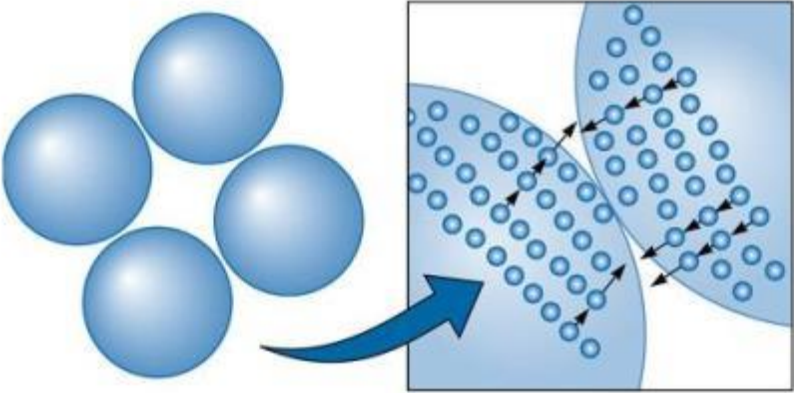
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning™ is a trademark used herein under license.

Adapted from chapter-opening photograph, Chapter 5, Callister 7e. (Courtesy of Surface Division, Midland-Ross.)

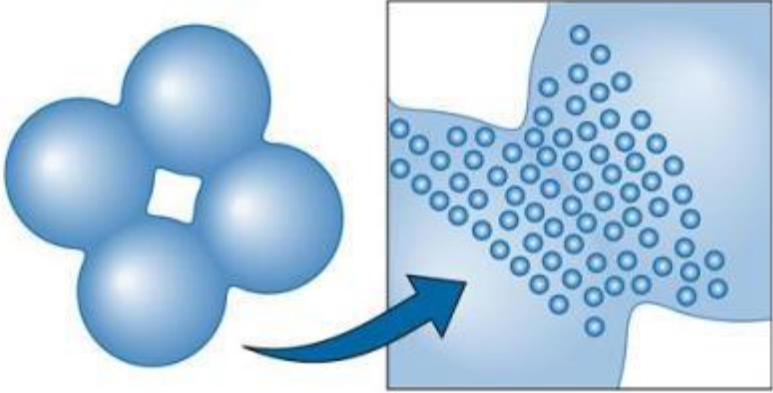




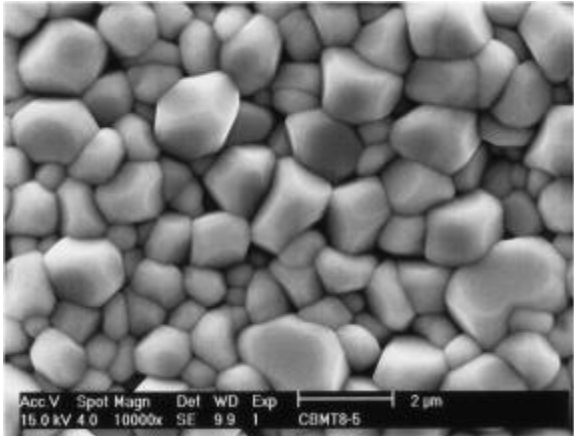
# Difüzyon örnekleri



Compacted product

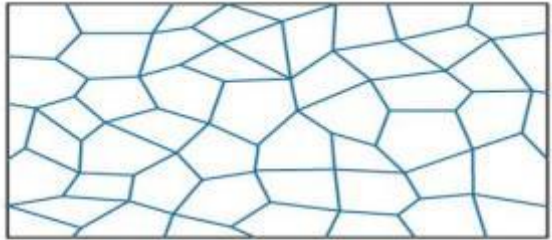


Partly sintered product



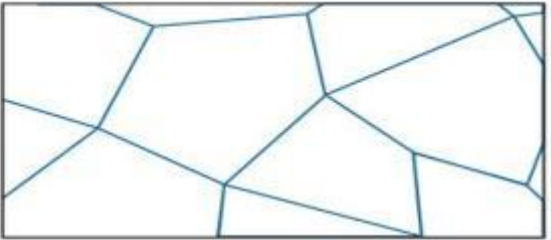
Sinterleme

# Difüzyon örnekleri



5  $\mu\text{m}$

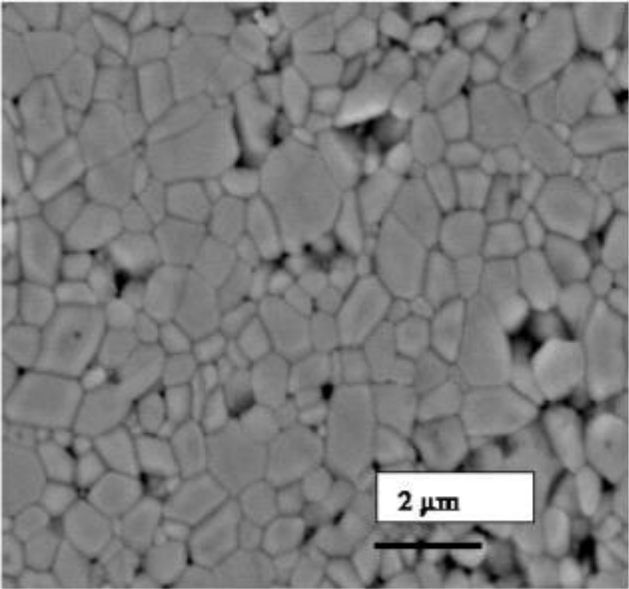
(a) Initial microstructure



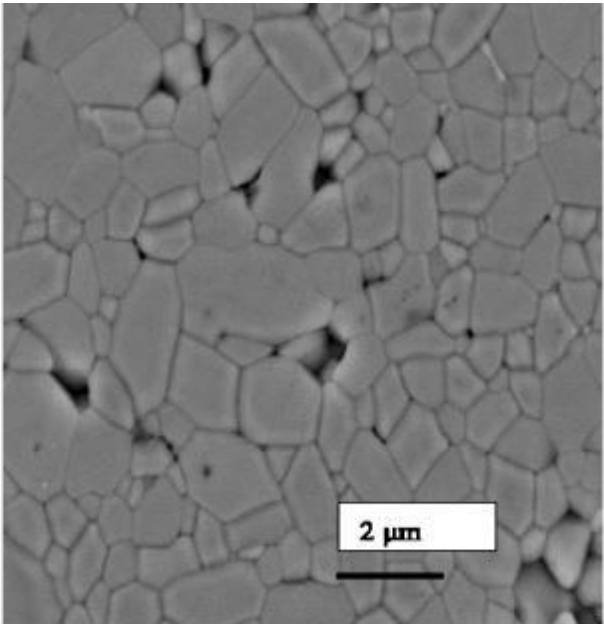
5  $\mu\text{m}$

(b) Microstructure after grain growth

©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.



(a)



(b)

Tane büyümesi