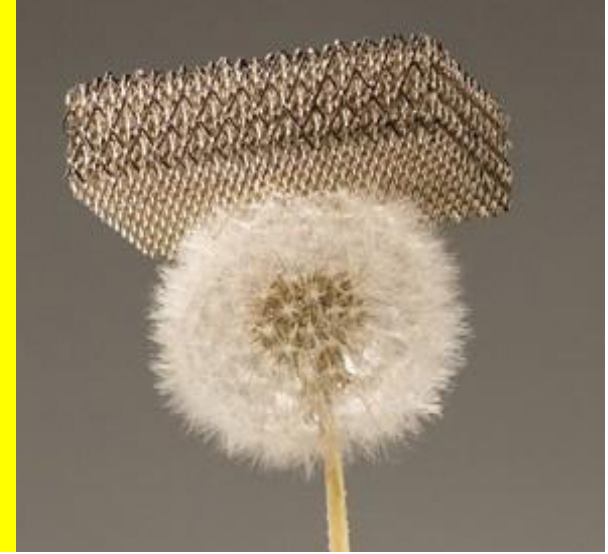
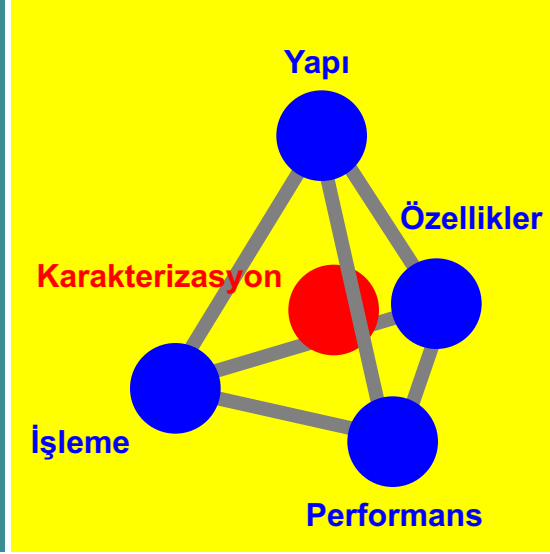
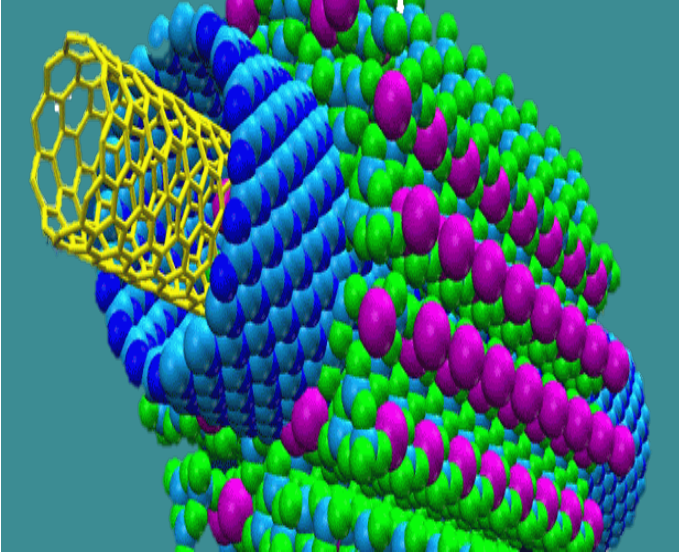


# FZM 220

## Malzeme Bilimine Giriş



Prof. Dr. İlker DİNÇER

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Fizik Mühendisliği Bölümü

## Ders Hakkında

### FZM 220 Malzeme Bilimine Giriş Dersinin Amacı

Bu dersin amacı, fizik mühendisliği öğrencilerine, malzemelerin yapısal özellikleri ile mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri tanıtmak ve tasarımlarındaki malzeme seçiminin önemini lisans düzeyinde öğretmektir.

## Dersin İçeriği

Hafta	Konu
1. Hafta	Giriş: Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinin Önemi ( <u>Ön Çalışma: Dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
2. Hafta	Atomal Yapı ve Atomlararası Bağ-1 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
3. Hafta	Atomal Yapı ve Atomlararası Bağ-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
4. Hafta	Katılarda Kristal Yapılar-1 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
5. Hafta	Katılarda Kristal Yapılar-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
6. Hafta	Katılarda Kusurlar ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
7. Hafta	Katılarda Kusurlar-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
8. Hafta	Vize Sınavı ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftaların konularını gözden geçirip Vize Sınavına hazırlanınız.</u> )
9. Hafta	Yayınma-1 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
10. Hafta	Yayınma-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
11. Hafta	Metallerin Mekanik Özellikleri-1 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
12. Hafta	Metallerin Mekanik Özellikleri-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
13. Hafta	Dislokasyonlar ve Dayanım Arttırıcı Mekanizmalar ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
14. Hafta	Hasar ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )

# 5. Yayınma

## Giriş

- Malzemelerin özelliklerini iyileştirmek amacıyla ısı işleme tabi tutulmaları yaygın olarak kullanılan işlemdir.
- Isıl işlem sırasında meydana gelen olayların temelinde atomsal yayınma vardır.
- Isıl işlem sıcaklıkları ve süreleri soğuma hızları çoğunlukla yayınma denklemleri ve uygun yayınma sabitleri kullanılarak belirlenir.
- Çelik yüzeyi sertleştirme işlemi, karbon ve azotun yüzey tabakasında yayındırılmasıyla yüzeyin sertliği ve yorulma hasarına olan direncin artırılmasıyla yapılır.
- Silisyum yarı iletken malzemesine safsızlık-empürite atomları yüksek sıcaklıkta yapılan ısı işlem sonucu yayınma ile katılır.
- Çeliklerin mekanik özelliklerini arttırmak için de yayınma kullanılır.

# 5. Yayınma

## Giriş

- Malzemelere ait işlemlerde önemli olan **reaksiyon ve süreçlerin çoğu**, belirli bir katı içinde (genellikle mikroskobik düzeyde) veya bir sıvı/gazdan ya da bir başka katı fazdan malzeme içine doğru gerçekleşen **kütle transferine** dayanır. **Bu olaylar tamamen atomsal hareketlerle, malzemenin bir yerden başka yere taşınması olan yayınma ile gerçekleşir.**
- Yayınma olayı, bir yüzeylerinden birbirine sıkı bir şekilde temas ettirilmiş iki farklı metal çubuktan oluşan yayınma çifti yardımıyla açıklanabilir.

# 5. Yayınma

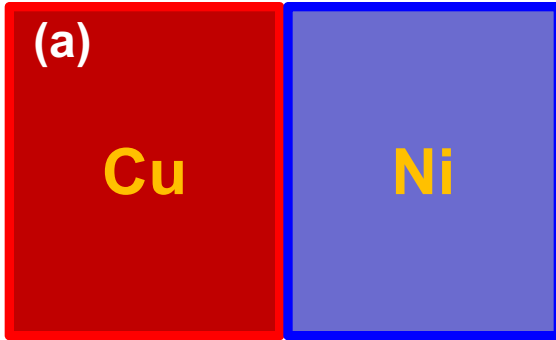
## Giriş

- Cu-Ni yayınma çifti her iki metalin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta uzun süre bekletilmesi ile, Cu atomlarının Ni malzemesi içine ve Ni atomlarının Cu malzemesi içine doğru yayındığı gözlenmiştir.

# 5. Yayınma

## Giriş

- Cu-Ni yayınma çifti her iki metalin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta uzun süre bekletilmesi ile, Cu atomlarının Ni malzemesi içine ve Ni atomlarının Cu malzemesi içine doğru yayıldığı gözlenmiştir.

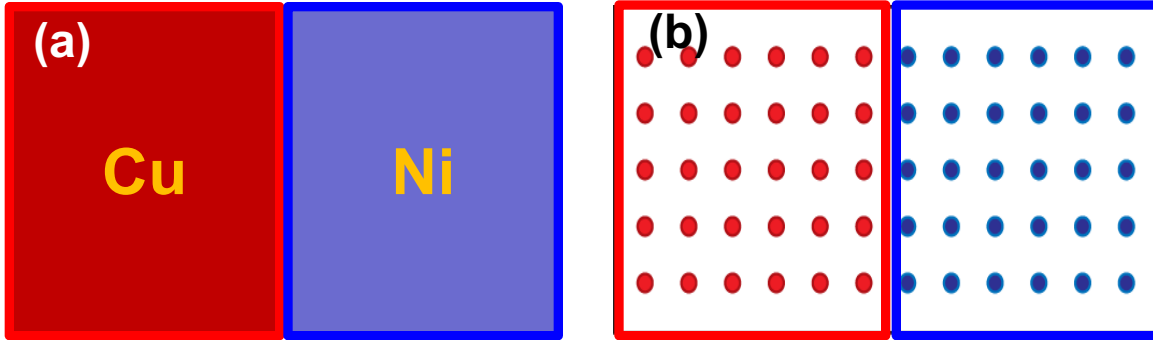


(a) Isıl işlem öncesindeki **Cu-Ni** yayınma çifti.

# 5. Yayınma

## Giriş

- Cu-Ni yayınma çifti her iki metalin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta uzun süre bekletilmesi ile, Cu atomlarının Ni malzemesi içine ve Ni atomlarının Cu malzemesi içine doğru yayındığı gözlenmiştir.

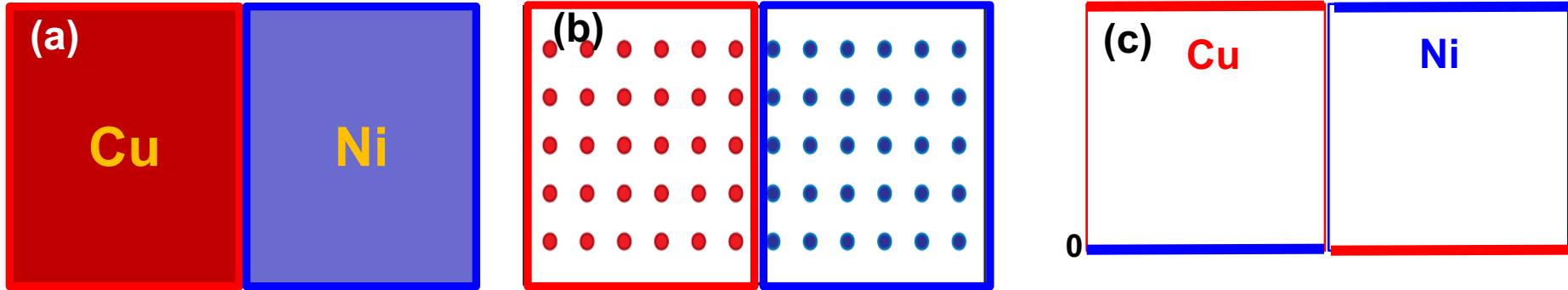


(a) Isıl işlem öncesindeki **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi.

# 5. Yayınma

## Giriş

- Cu-Ni yayınma çifti her iki metalin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta uzun süre bekletilmesi ile, Cu atomlarının Ni malzemesi içine ve Ni atomlarının Cu malzemesi içine doğru yayındığı gözlenmiştir.



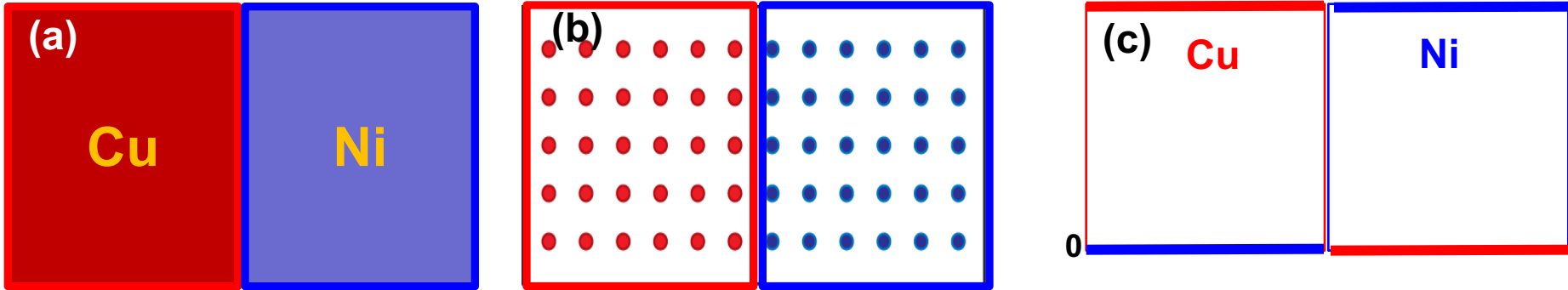
(a) Isıl işlem öncesindeki **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi. (c) **Cu** ve **Ni** konsantrasyonunun kesit içerisinde mesafeye göre değişimi.



# 5. Yayınma

## Giriş

- Cu-Ni yayınma çifti her iki metalin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta uzun süre bekletilmesi ile, Cu atomlarının Ni malzemesi içine ve Ni atomlarının Cu malzemesi içine doğru yayındığı gözlenmiştir.
- Bir metale ait atomların diğerinin içerisine yayınmasıyla gerçekleşen olaya **birbirinde yayınma** veya **empürite yayınması** denir.

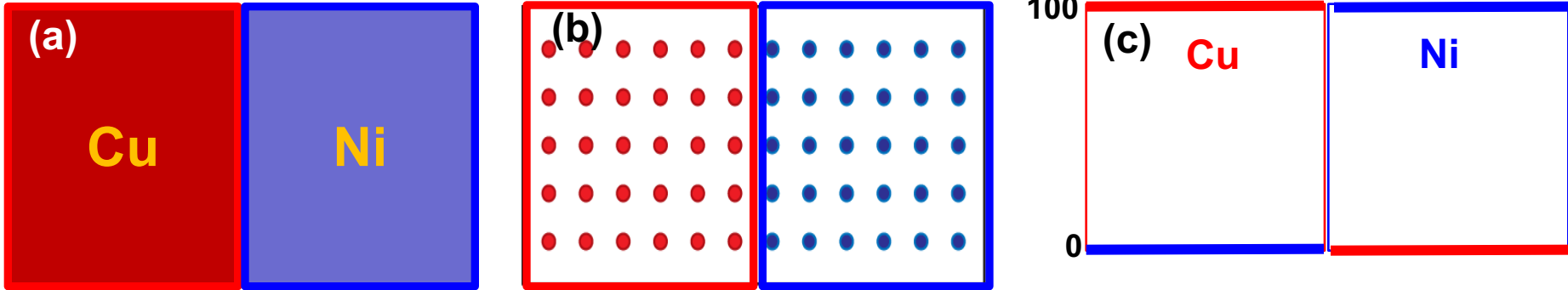


(a) Isıl işlem öncesindeki **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi. (c) **Cu** ve **Ni** konsantrasyonunun kesit içerisinde mesafeye göre değişimi.

# 5. Yayınma

## Giriş

- Cu-Ni yayınma çifti her iki metalin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta uzun süre bekletilmesi ile, Cu atomlarının Ni malzemesi içine ve Ni atomlarının Cu malzemesi içine doğru yayındığı gözlenmiştir.
- Bir metale ait atomların diğerinin içerisine yayınmasıyla gerçekleşen olaya **birbirinde yayınma** veya **empürite yayınması** denir.

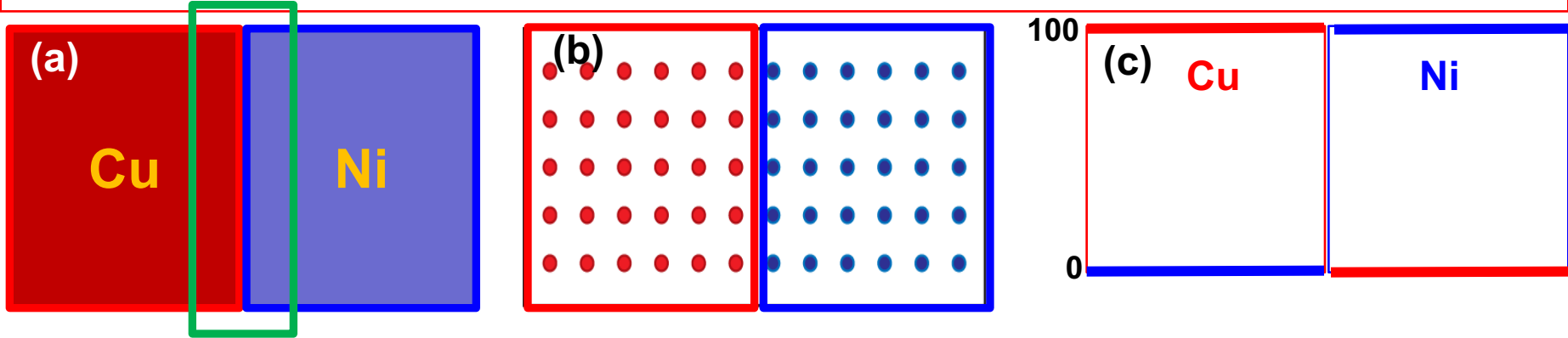


Yayınma durumunda yukarıdaki Şekil nasıl değişir.

# 5. Yayınma

## Giriş

- Cu-Ni yayınma çifti her iki metalin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta uzun süre bekletilmesi ile, Cu atomlarının Ni malzemesi içine ve Ni atomlarının Cu malzemesi içine doğru yayındığı gözlenmiştir.
- Bir metale ait atomların diğerinin içerisine yayınmasıyla gerçekleşen olaya **birbirinde yayınma** veya **empürite yayınması** denir.



Yayınma durumunda yukarıdaki Şekil nasıl değişir.

# 5. Yayınma

## Giriş

- Bir metale ait atomların diğerinin içerisine yayınmasıyla gerçekleşen olaya **birbirinde yayınma** veya **empürite yayınması** denir.
- Makro ölçekte, **birbirinde yayınma**, **Cu-Ni** yayınma çifti örneğinde olduğu gibi, uzun bir süre sonra konsantrasyonda oluşan değişimle fark edilebilir. Burada yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye atomların sürüklenmesi veya taşınması söz konusudur. Saf metallerde de yayınma gerçekleşir ancak konumlarını değiştiren atomların hepsi aynı tür atom olduklarından bu, **kendinde-yayınma** olarak adlandırılmıştır.

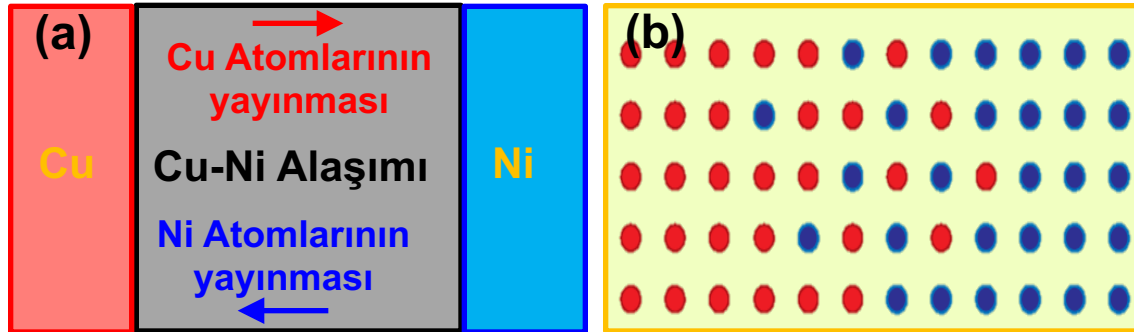


(a) Isıl işlem sonrasında **Cu-Ni** yayınma çiftinde alaşımlanmış bölgenin oluşumu.

# 5. Yayınma

## Giriş

- Bir metale ait atomların diğerinin içerisine yayınmasıyla gerçekleşen olaya **birbirinde yayınma** veya **empürite yayınması** denir.
- Makro ölçekte, **birbirinde yayınma**, **Cu-Ni** yayınma çifti örneğinde olduğu gibi, uzun bir süre sonra konsantrasyonda oluşan değişimle fark edilebilir. Burada yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye atomların sürüklenmesi veya taşınması söz konusudur. Saf metallerde de yayınma gerçekleşir ancak konumlarını değiştiren atomların hepsi aynı tür atom olduklarından bu, **kendinde-yayınma** olarak adlandırılmıştır.

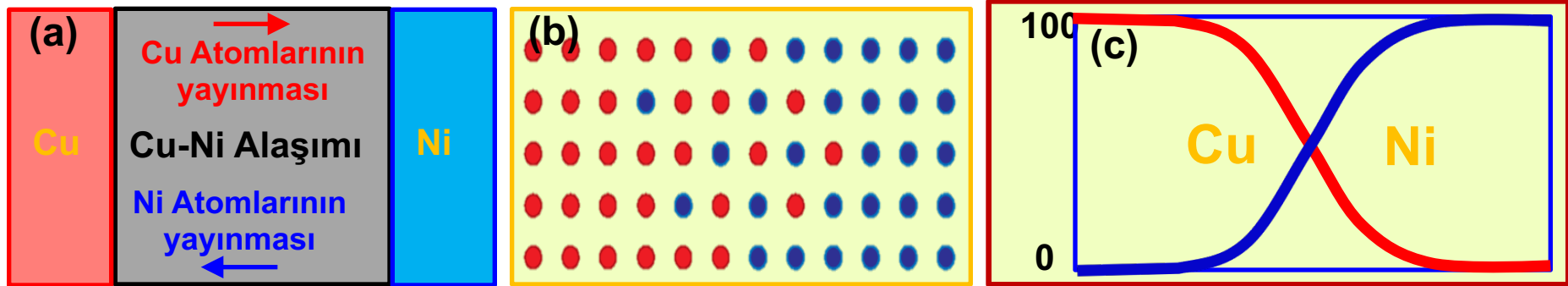


(a) Isıl işlem sonrasında **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi.

# 5. Yayınma

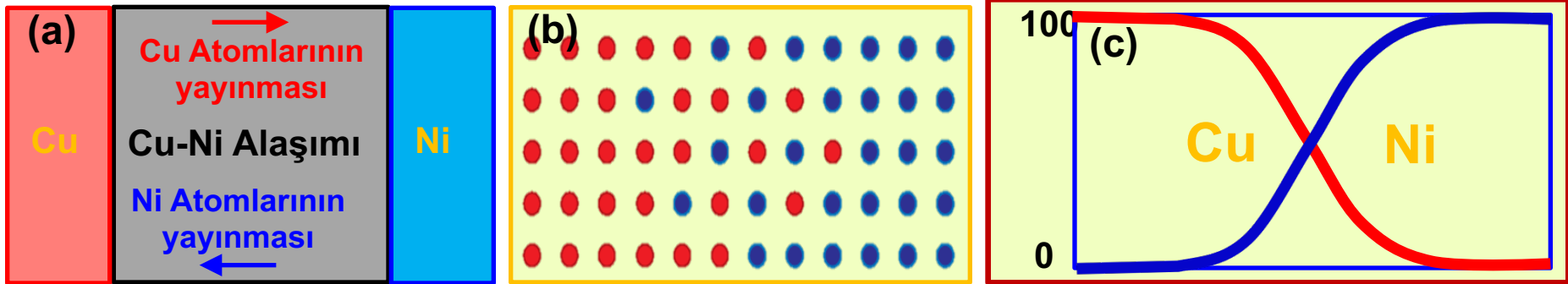
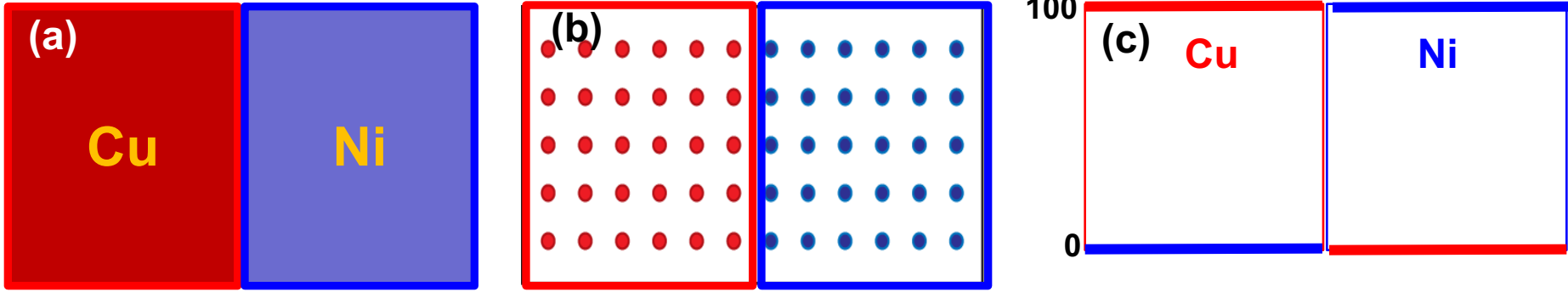
## Giriş

- Bir metale ait atomların diğerinin içerisine yayınmasıyla gerçekleşen olaya **birbirinde yayınma** veya **empürite yayınması** denir.
- Makro ölçekte, **birbirinde yayınma**, **Cu-Ni** yayınma çifti örneğinde olduğu gibi, uzun bir süre sonra konsantrasyonda oluşan değişimle fark edilebilir. Burada yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye atomların sürüklenmesi veya taşınması söz konusudur. Saf metallerde de yayınma gerçekleşir ancak konumlarını değiştiren atomların hepsi aynı tür atom olduklarından bu, **kendinde-yayınma** olarak adlandırılmıştır.



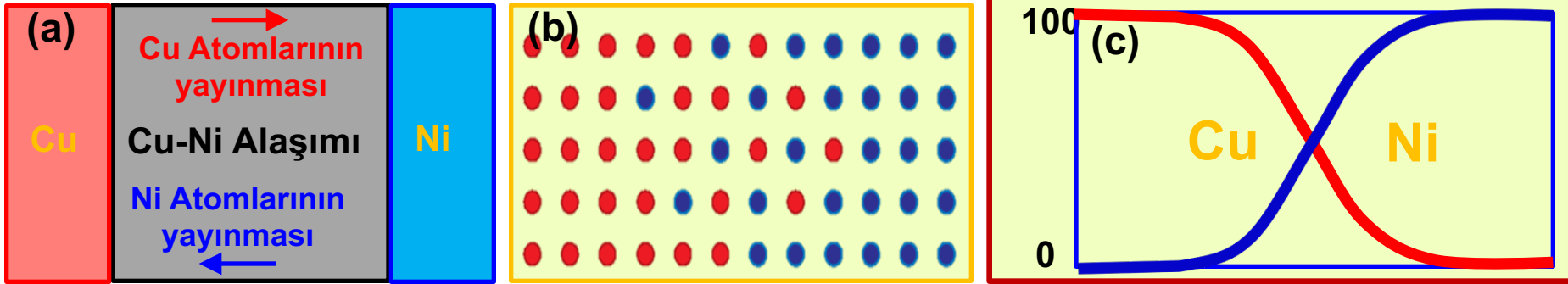
# 5. Yayınma

## Giriş



# 5. Yayınma

## Giriş



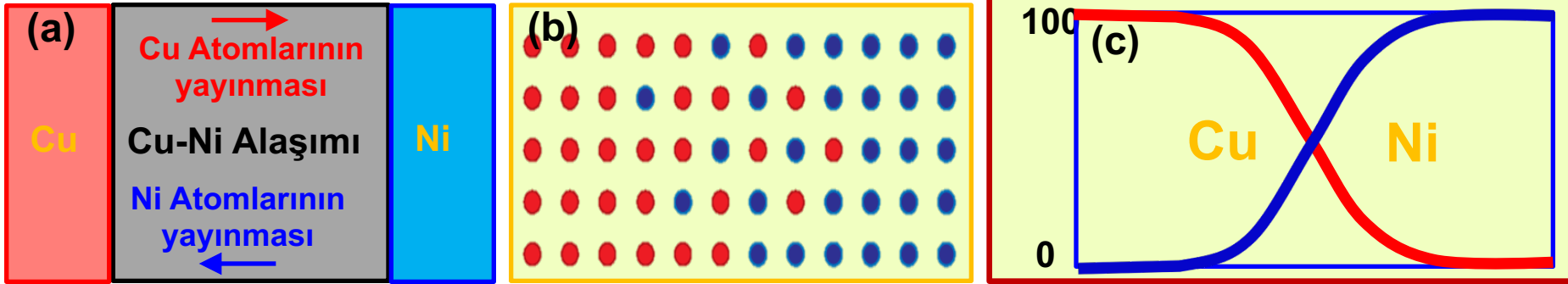
(a) Isıl işlem sonrasında **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi. (c) **Cu** ve **Ni** konsantrasyonunun kesit içerisinde mesafeye göre değişimi.



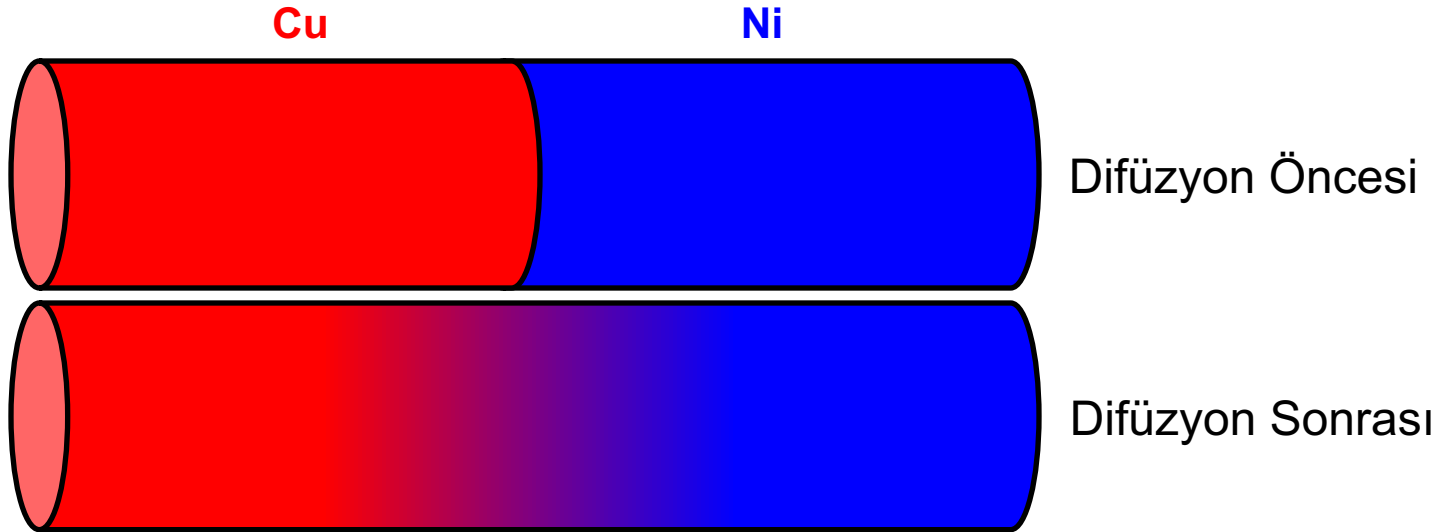


# 5. Yayınma

## Giriş

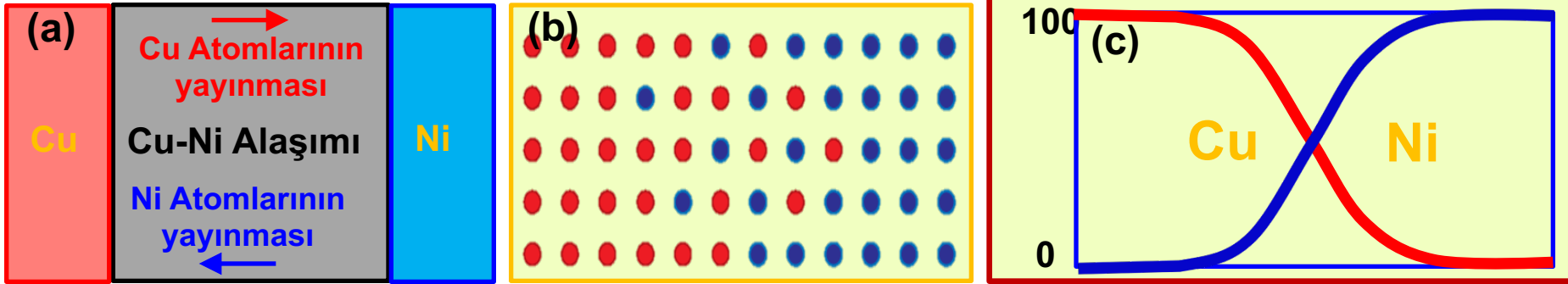


(a) Isıl işlem sonrasında **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi. (c) **Cu** ve **Ni** konsantrasyonunun kesit içerisinde mesafeye göre değişimi.

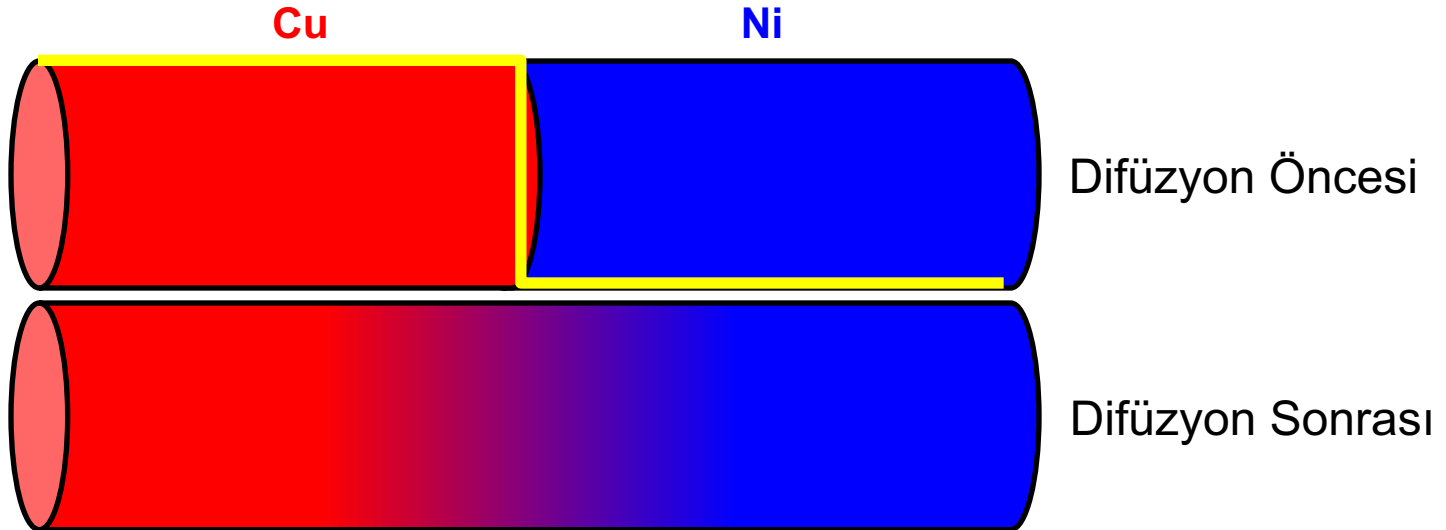


# 5. Yayınma

## Giriş

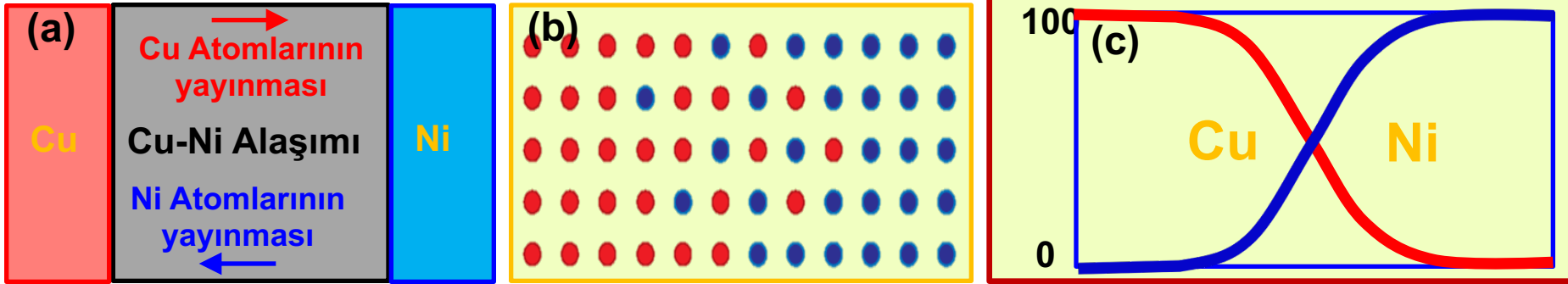


(a) Isıl işlem sonrasında **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi. (c) **Cu** ve **Ni** konsantrasyonunun kesit içerisinde mesafeye göre değişimi.

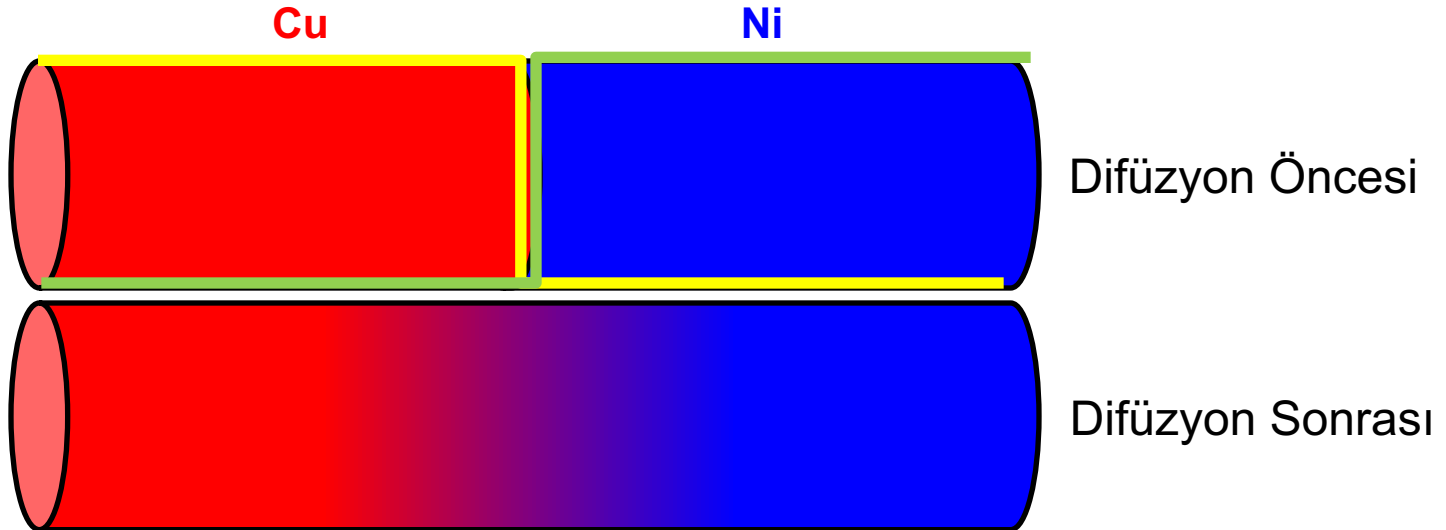


# 5. Yayınma

## Giriş

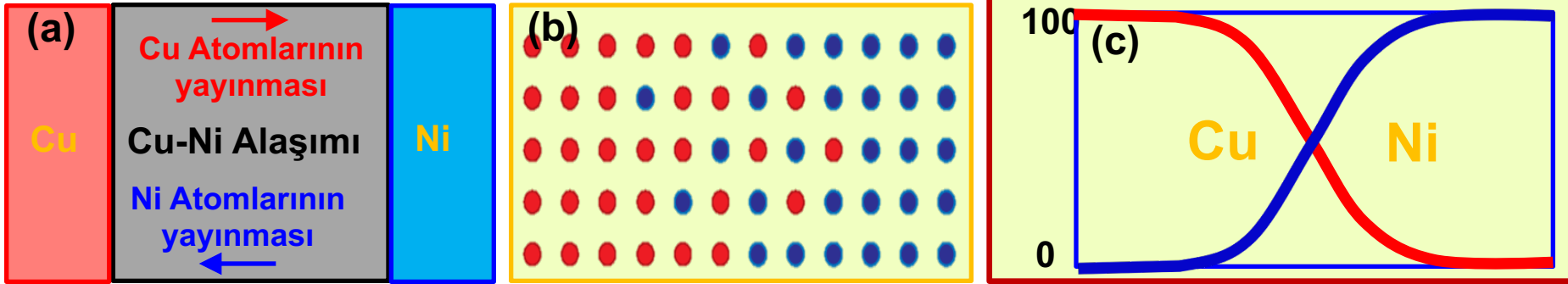


(a) Isıl işlem sonrasında **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi. (c) **Cu** ve **Ni** konsantrasyonunun kesit içerisinde mesafeye göre değişimi.

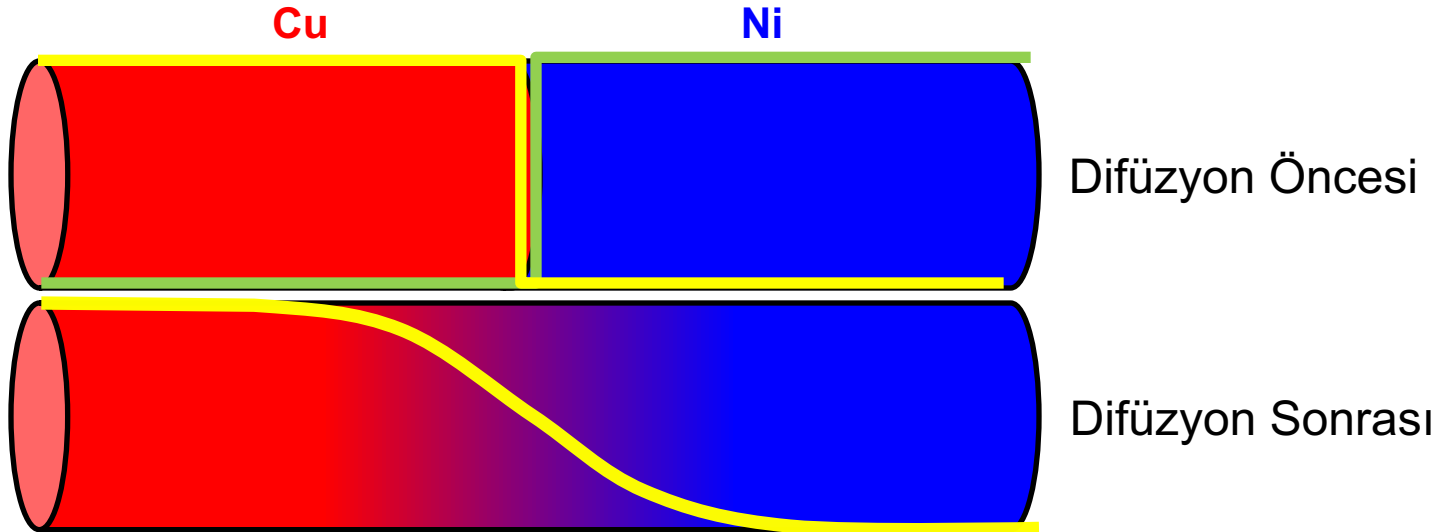


# 5. Yayınma

## Giriş

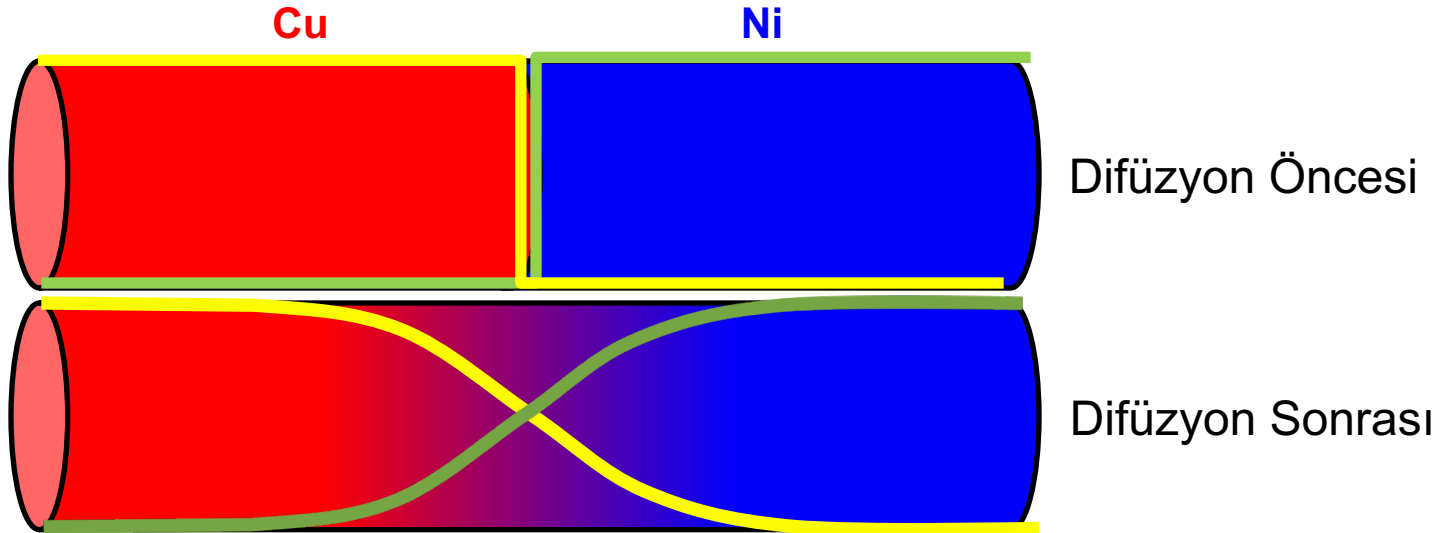
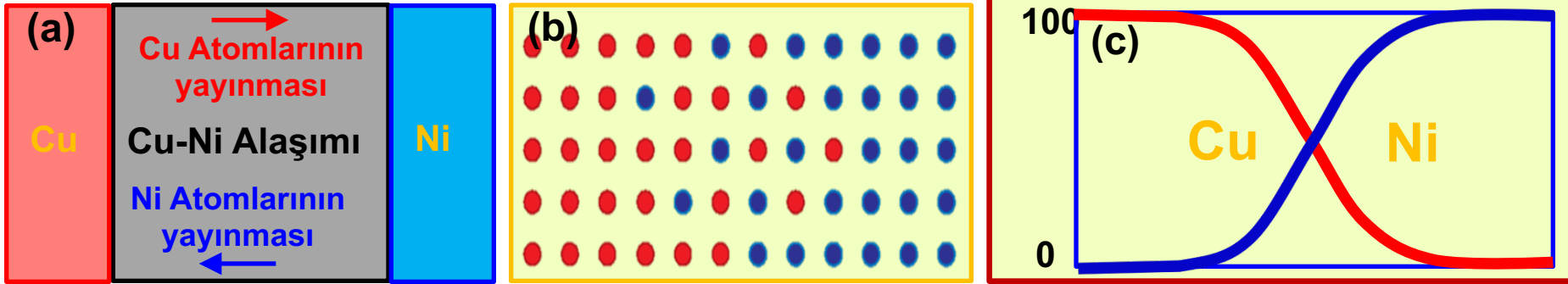


(a) Isıl işlem sonrasında **Cu-Ni** yayınma çifti. (b) Yayınma çiftinde **Cu** ve **Ni** atomlarının konuma göre şematik çizimi. (c) **Cu** ve **Ni** konsantrasyonunun kesit içerisinde mesafeye göre değişimi.



# 5. Yayınma

## Giriş



# 5. Yayınma

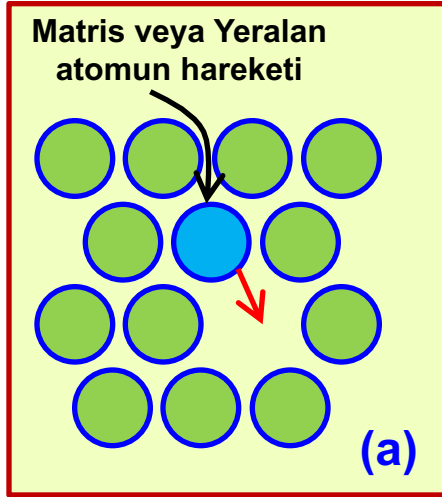
## Yayınma Mekanizmaları

- Atomik açıdan yayınma, atomların bir kafes boşluğundan diğerine adım adım yaptıkları yer değiştirme olarak tanımlanabilir.
- Katı malzemelerdeki atomlar sürekli olarak hareket halindedirler ve hızlı bir şekilde konumlarını değiştirirler.
- Katı malzemede atomun yer değiştirmesi için: (i) bitişiğinde boş bir yer olması ve (ii) komşu atomlarla arasındaki bağı koparacak ve sonrasında yer değiştirme sırasında oluşacak kafes çarpılmalarını karşılayacak enerjiye sahip olması gerekmektedir.
- Herhangi bir sıcaklıkta atomların küçük bir kısmı sahip oldukları titreşim enerjilerinden dolayı yayınma hareketi yapabilirken sıcaklığın artmasıyla yayınma hareketi yapan atomların sayısı da artar.

# 5. Yayınma

## Yayınma Mekanizmaları: Boşluk Yayınması

- Aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilen mekanizmada, normal kafes noktasındaki bir atom ile komşu kafes boşluğunun yer değiştirmesi olur. Bu yüzden, bu mekanizmaya **boşluk yayınması** denir.

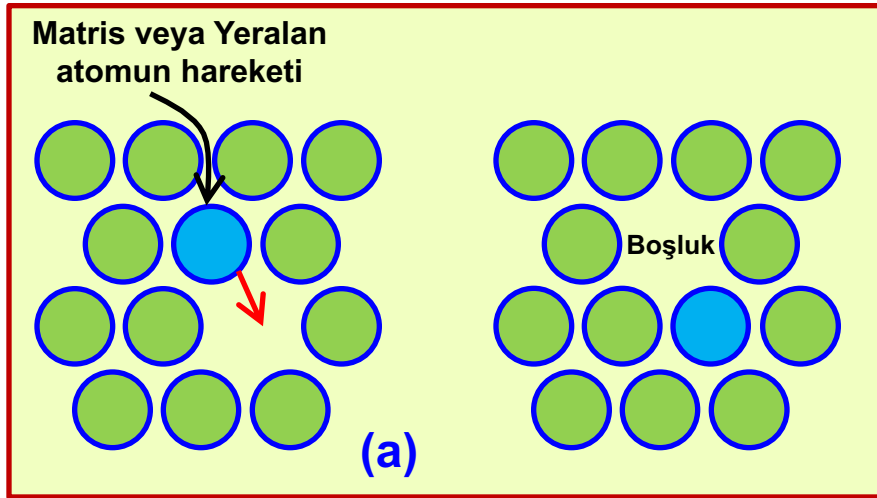


(a) **Boşluk yayınması**nın şematik gösterimi.

# 5. Yayınma

## Yayınma Mekanizmaları: Boşluk Yayınması

- Aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilen mekanizmada, normal kafes noktasındaki bir atom ile komşu kafes boşluğunun yer değiştirmesi olur. Bu yüzden, bu mekanizmaya **boşluk yayınması** denir.



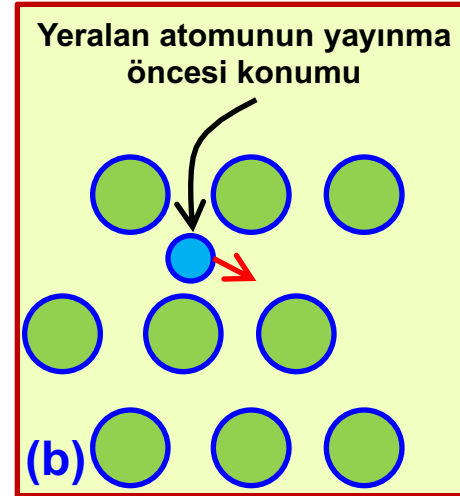
(a) **Boşluk yayınması**nın şematik gösterimi.



# 5. Yayınma

## Yayınma Mekanizmaları: Arayer Yayınması

- Arayer konumunda bulunan bir atom, komşu bir diğer arayer boşluğuna yayınır. Hidrojen, karbon, azot ve oksijen gibi arayer boşluğuna yerleşebilecek kadar küçük empürite atomlarının yayınması bu mekanizmayla gerçekleşir.



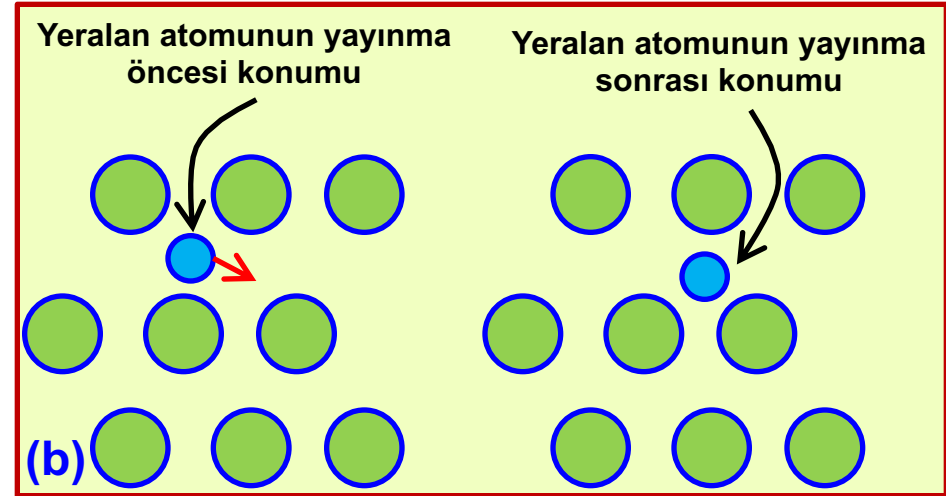
(b) Arayer yayınmasının şematik gösterimi.

Yeralan empürite atomları nadiren arayer konumunda bulunurlar ve bu atomlar normalde bu mekanizmayla (arayer yayınmasıyla) yer değiştirmez. Küçük çaplı empürite atomlarının yaptıkları bu yayınma türüne, doğal olarak arayer yayınması adı verilmiştir

# 5. Yayınma

## Yayınma Mekanizmaları: Arayer Yayınması

- Arayer konumunda bulunan bir atom, komşu bir diğer arayer boşluğuna yayınır. Hidrojen, karbon, azot ve oksijen gibi arayer boşluğuna yerleşebilecek kadar küçük empürite atomlarının yayınması bu mekanizmayla gerçekleşir.



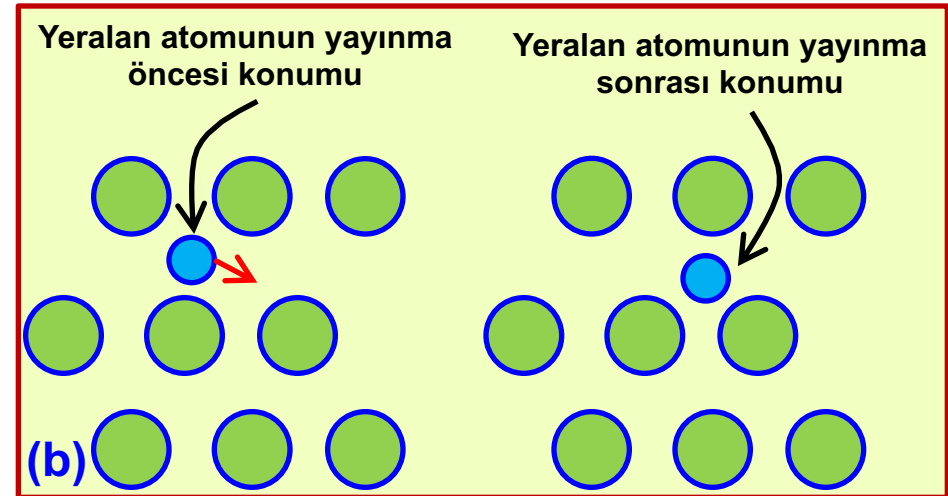
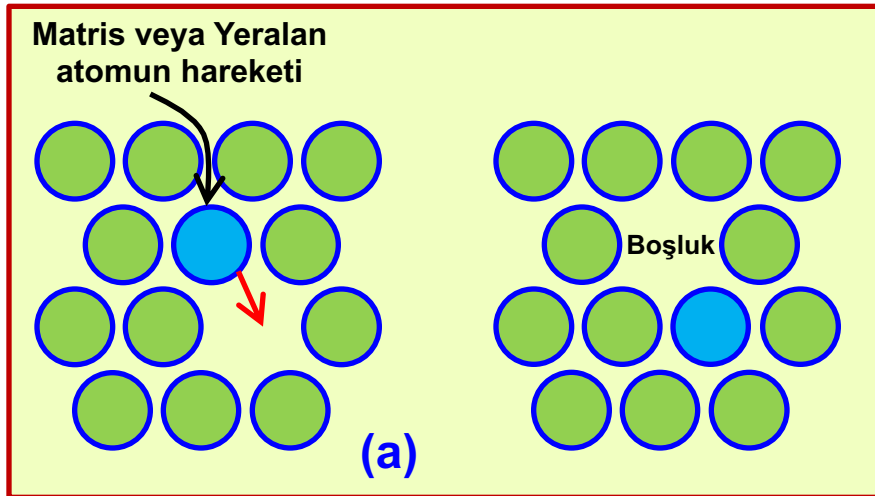
(b) Arayer yayınmasının şematik gösterimi.

Yeralan empürite atomları nadiren arayer konumunda bulunurlar ve bu atomlar normalde bu mekanizmayla (arayer yayınmasıyla) yer değiştirmez. Küçük çaplı empürite atomlarının yaptıkları bu yayınma türüne, doğal olarak arayer yayınması adı verilmiştir

# 5. Yayınma

## Yayınma Mekanizmaları: Boşluk ve Arayer Yayınması

- Aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilen mekanizmada, normal kafes noktasındaki bir atom ile komşu kafes boşluğunun yer değiştirmesi olur. Bu yüzden, bu mekanizmaya **boşluk yayınması** denir.
- Arayer konumunda bulunan bir atom, komşu bir diğer arayer boşluğuna yayınır. Hidrojen, karbon, azot ve oksijen gibi arayer boşluğuna yerleşebilecek kadar küçük empürite atomlarının yayınması bu mekanizmayla gerçekleşir.



(a) **Boşluk** ve (b) **Arayer yayınması**nın şematik gösterimi.

Malzeme Bilimine Giriş

Yayınma

Prof. Dr. İlker Dinçer  
Ankara Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

# 5. Yayınma

## Kararlı Yayınma

- **Yayınma**, zamana bağlı olarak gerçekleşen bir olay olduğu için, makro ölçekte taşınan elementin miktarı zamanın bir fonksiyonu olarak değişir. Çoğu zaman yayınma veya kütle transfer hızının bilinmesi gereklidir. **Yayınma akısı (J)** olarak ifade edilen hız, katı içerisinde birim kesit alanına dik olarak, birim zamanda yayınan kütle **M** olarak (veya eşdeğer atom sayısı) tanımlanır. Burada **A**, yayınmanın gerçekleştiği kesit alanını ve **t** yayınma süresini göstermektedir.

Yayınma Akısı: J

$$J = \frac{M}{A t}$$

$$J = \frac{1}{A} \frac{dM}{dt}$$

- **J**'nin anlamı, bir metre kareden bir saniyede yayınan atomun ağırlıkça ya da sayıca miktarıdır. Dolayısıyla birimi:

# 5. Yayınma

## Kararlı Yayınma

- **Yayınma**, zamana bağlı olarak gerçekleşen bir olay olduğu için, makro ölçekte taşınan elementin miktarı zamanın bir fonksiyonu olarak değişir. Çoğu zaman yayınma veya kütle transfer hızının bilinmesi gereklidir. **Yayınma akısı (J)** olarak ifade edilen hız, katı içerisinde birim kesit alanına dik olarak, birim zamanda yayınan kütle **M** olarak (veya eşdeğer atom sayısı) tanımlanır. Burada **A**, yayınmanın gerçekleştiği kesit alanını ve **t** yayınma süresini göstermektedir.

Yayınma Akısı: J

$$J = \frac{M}{A t}$$

$$J = \frac{1}{A} \frac{dM}{dt}$$

- **J**'nin anlamı, bir metre kareden bir saniyede yayınan atomun ağırlıkça ya da sayıca miktarıdır. Dolayısıyla birimi:

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}}$$

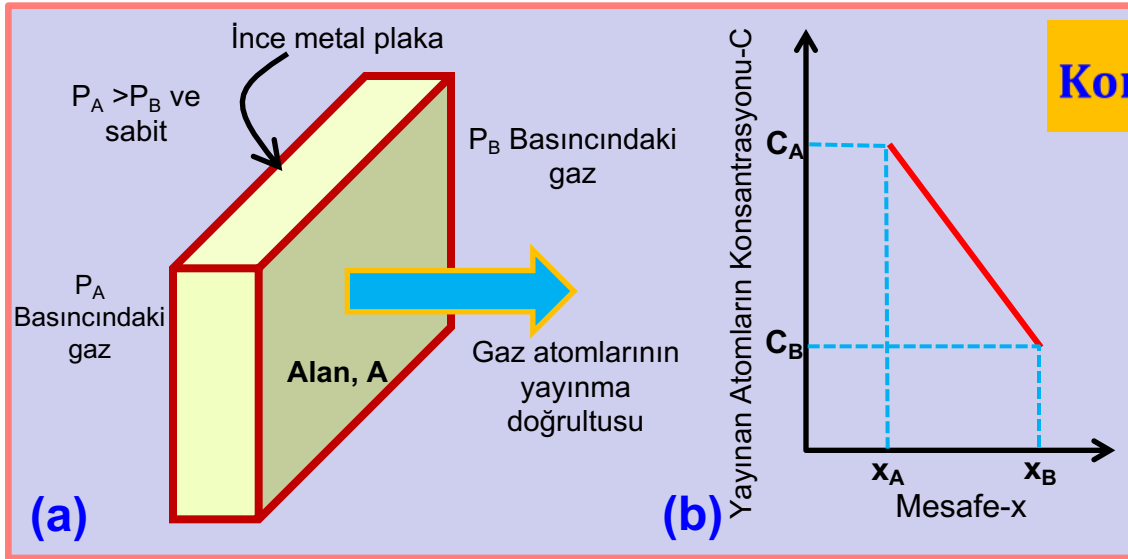
ya da

$$\frac{\text{atom}}{\text{m}^2 \text{ s}}$$

# 5. Yayınma

## Kararlı Yayınma

- Yayınma akısı zamanla değişmiyorsa, kararlı yayınma hali söz konusudur. Her iki yüzeyindeki konsantrasyonun (veya basıncın) sabit tutulduğu bir metal plakada, kesit boyunca gaz atomlarının yayınması kararlı yayınma için verilen tipik bir örnektir. Bu şekilde gerçekleşen bir yayınma şematik olarak Şekilde gösterilmiştir.
- Katı içerisindeki karbon-C konsantrasyonunun konuma  $x$ 'e göre değişimi çizildiğinde elde edilen eğri konsantrasyon profili olarak isimlendirilir. Bu eğri üzerinde belirli bir noktadaki eğim konsantrasyon gradyenti olarak adlandırılır.



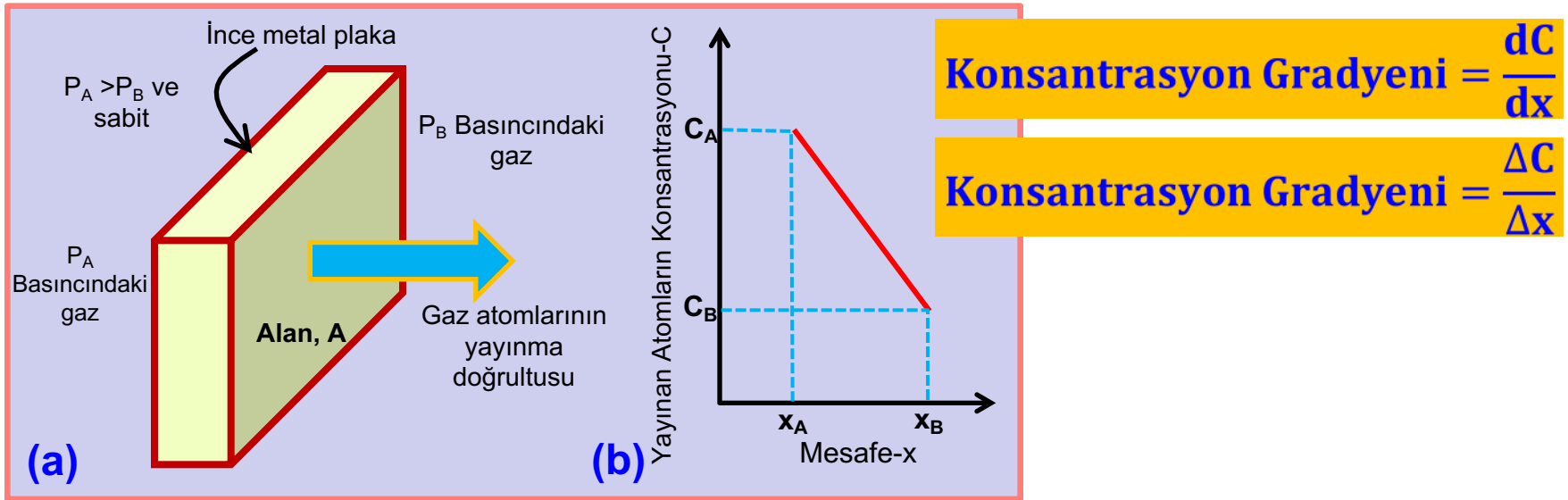
$$\text{Konsantrasyon Gradyeni} = \frac{dC}{dx}$$

(a) İnce bir plakada kararlı yayınma (b) (a)'daki yayınma halinde doğrusal konsantrasyon profili.

# 5. Yayınma

## Kararlı Yayınma

- **Yayınma akısı zamanla değişmiyorsa, kararlı yayınma hali söz konusudur.** Her iki yüzeyindeki konsantrasyonun (veya basıncın) sabit tutulduğu bir metal plakada, kesit boyunca gaz atomlarının yayınması kararlı yayınma için verilen tipik bir örnektir. Bu şekilde gerçekleşen bir yayınma şematik olarak Şekilde gösterilmiştir.
- Katı içerisindeki karbon-C konsantrasyonunun konuma  $x$ 'e göre değişimi çizildiğinde elde edilen eğri **konsantrasyon profili** olarak isimlendirilir. Bu eğri üzerinde belirli bir noktadaki eğim **konsantrasyon gradyenti** olarak adlandırılır.

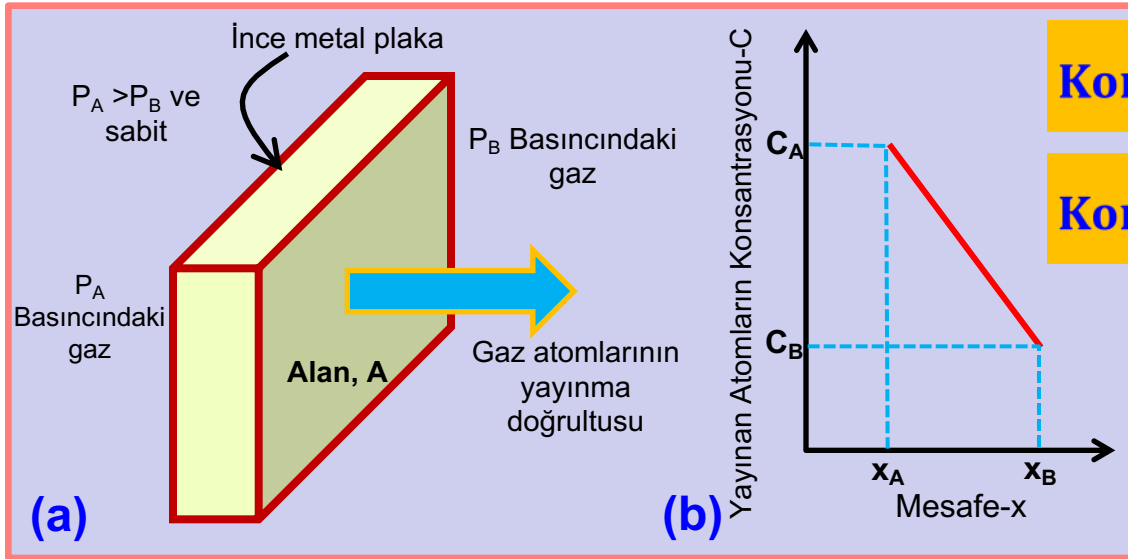


(a) İnce bir plakada kararlı yayınma (b) (a)'daki yayınma halinde doğrusal konsantrasyon profili.

# 5. Yayınma

## Kararlı Yayınma

- **Yayınma akısı zamanla değişmiyorsa, kararlı yayınma hali söz konusudur.** Her iki yüzeyindeki konsantrasyonun (veya basıncın) sabit tutulduğu bir metal plakada, kesit boyunca gaz atomlarının yayınması kararlı yayınma için verilen tipik bir örnektir. Bu şekilde gerçekleşen bir yayınma şematik olarak Şekilde gösterilmiştir.
- Katı içerisindeki karbon-C konsantrasyonunun konuma  $x$ 'e göre değişimi çizildiğinde elde edilen eğri **konsantrasyon profili** olarak isimlendirilir. Bu eğri üzerinde belirli bir noktadaki eğim **konsantrasyon gradyenti** olarak adlandırılır.



$$\text{Konsantrasyon Gradyeni} = \frac{dC}{dx}$$

$$\text{Konsantrasyon Gradyeni} = \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

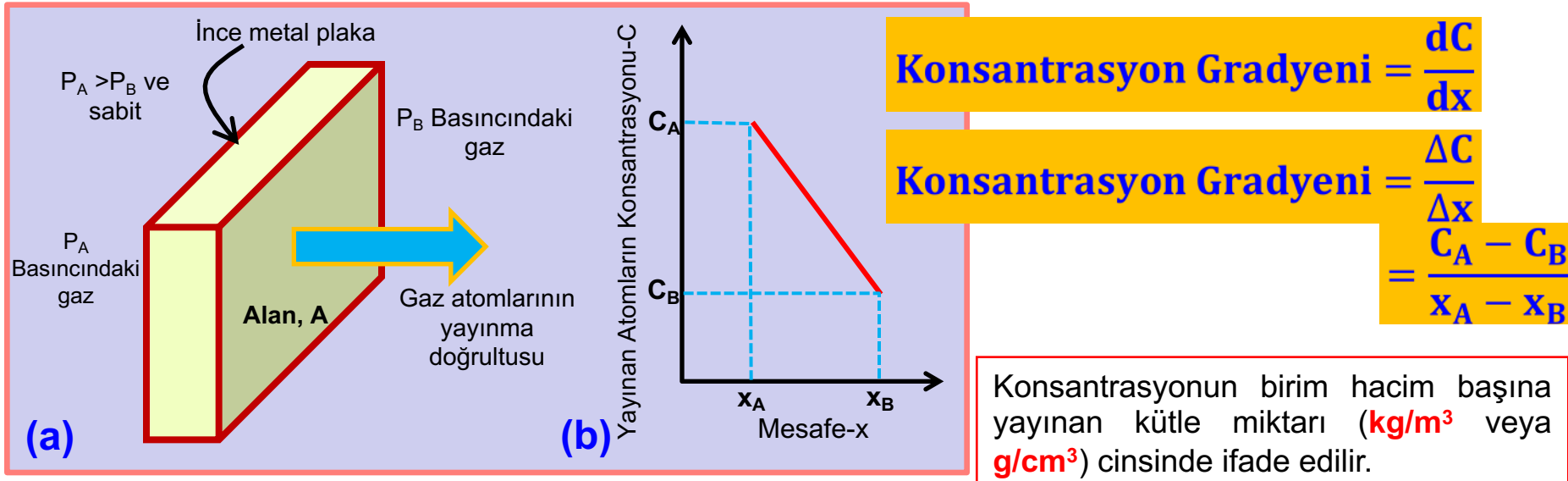
(a) İnce bir plakada kararlı yayınma (b) (a)'daki yayınma halinde doğrusal konsantrasyon profili.



# 5. Yayınma

## Kararlı Yayınma

- Yayınma akısı zamanla değişmiyorsa, kararlı yayınma hali söz konusudur. Her iki yüzeyindeki konsantrasyonun (veya basıncın) sabit tutulduğu bir metal plakada, kesit boyunca gaz atomlarının yayınması kararlı yayınma için verilen tipik bir örnektir. Bu şekilde gerçekleşen bir yayınma şematik olarak Şekilde gösterilmiştir.
- Katı içerisindeki karbon-C konsantrasyonunun konuma  $x$ 'e göre değişimi çizildiğinde elde edilen eğri konsantrasyon profili olarak isimlendirilir. Bu eğri üzerinde belirli bir noktadaki eğim konsantrasyon gradyenti olarak adlandırılır.



(a) İnce bir plakada kararlı yayınma (b) (a)'daki yayınma halinde doğrusal konsantrasyon profili.

# 5. Yayınma

## Kararlı Yayınma

- Yayınma akısının konsantrasyon gradyanıyla orantılı olması nedeniyle tek bir (x) doğrultudaki kararlı yayınma matematiksel olarak nispeten basit bir şekilde ifade edilir.
- Buradaki **D** orantı sabiti **yayınma katsayısı** olarak isimlendirilir ve **m<sup>2</sup>/s** şeklinde ifade edilir. **Eksi (-)** işareti, yayınma yönündeki konsantrasyonun azaldığını gösterir. Bu denklem **Fick'in birinci kanunu** olarak bilinir.
- Genelde “itici güç” terimiyle bir reaksiyonun gerçekleşmesini sağlayan etkenler kastedilir.

Fick'in  
birinci  
kanunu

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

# 5. Yayınma

## Örnek:

700°C (973 K) sıcaklıktaki demir plakanın bir yüzeyi, karbonca zengin karbürleme atmosferine, diğer yüzeyi ise karbonca fakir dekarbürizasyon atmosferine maruz bırakılmıştır. Kararlı yayınma durumunda, karbürleme yüzeyinden 5 ve 10 mm ( $5 \times 10^{-3}$  ve  $10^{-2}$  m) derinlikteki karbon konsantrasyonları, sırasıyla 1,2 ve 0,8 kg/m<sup>3</sup> değerlerinde olduğuna göre, plaka boyunca karbonun yayınma akısını hesaplayınız. Bu sıcaklıktaki yayınma katsayısını  $3 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s olarak alınız.

Fick'in  
birinci  
kanunu

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

# 5. Yayınma

## Örnek:

700°C (973 K) sıcaklıktaki demir plakanın bir yüzeyi, karbonca zengin karbürleme atmosferine, diğer yüzeyi ise karbonca fakir dekarbürizasyon atmosferine maruz bırakılmıştır. Kararlı yayınma durumunda, karbürleme yüzeyinden 5 ve 10 mm ( $5 \times 10^{-3}$  ve  $10^{-2}$  m) derinlikteki karbon konsantrasyonları, sırasıyla 1,2 ve 0,8 kg/m<sup>3</sup> değerlerinde olduğuna göre, plaka boyunca karbonun yayınma akısını hesaplayınız. Bu sıcaklıktaki yayınma katsayısını  $3 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s olarak alınız.

Fick'in  
birinci  
kanunu

$$J = -D \frac{dC}{dx} = -D \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

# 5. Yayınma

## Örnek:

700°C (973 K) sıcaklıktaki demir plakanın bir yüzeyi, karbonca zengin karbürleme atmosferine, diğer yüzeyi ise karbonca fakir dekarbürizasyon atmosferine maruz bırakılmıştır. Kararlı yayınma durumunda, karbürleme yüzeyinden 5 ve 10 mm ( $5 \times 10^{-3}$  ve  $10^{-2}$  m) derinlikteki karbon konsantrasyonları, sırasıyla 1,2 ve 0,8 kg/m<sup>3</sup> değerlerinde olduğuna göre, plaka boyunca karbonun yayınma akısını hesaplayınız. Bu sıcaklıktaki yayınma katsayısını  $3 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s olarak alınız.

Fick'in  
birinci  
kanunu

$$J = -D \frac{dC}{dx} = -D \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

$$J = -(3 \times 10^{-11} \frac{m^2}{s}) \frac{(1.2 - 0.8) \frac{kg}{m^3}}{(5 \times 10^{-3} - 10^{-2})m}$$

# 5. Yayınma

## Örnek:

700°C (973 K) sıcaklıktaki demir plakanın bir yüzeyi, karbonca zengin karbürleme atmosferine, diğer yüzeyi ise karbonca fakir dekarbürizasyon atmosferine maruz bırakılmıştır. Kararlı yayınma durumunda, karbürleme yüzeyinden 5 ve 10 mm ( $5 \times 10^{-3}$  ve  $10^{-2}$  m) derinlikteki karbon konsantrasyonları, sırasıyla 1,2 ve 0,8 kg/m<sup>3</sup> değerlerinde olduğuna göre, plaka boyunca karbonun yayınma akısını hesaplayınız. Bu sıcaklıktaki yayınma katsayısını  $3 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s olarak alınız.

Fick'in  
birinci  
kanunu

$$J = -D \frac{dC}{dx} = -D \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$

$$J = -(3 \times 10^{-11} \frac{m^2}{s}) \frac{(1.2 - 0.8) \frac{kg}{m^3}}{(5 \times 10^{-3} - 10^{-2})m}$$

$$J = 2.4 \times 10^{-9} \frac{kg}{m^2 s}$$

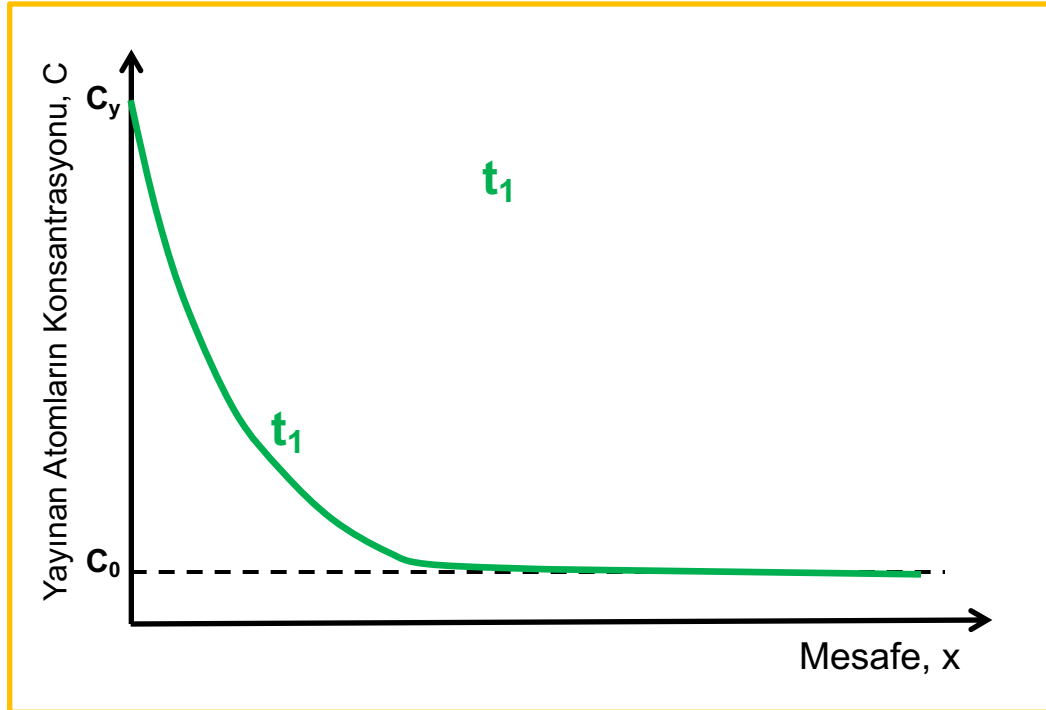
Malzeme Bilimine Giriş  
Yayınma

Prof. Dr. İlker Dinçer  
Ankara Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

- Pratikte gerçekleşen yayınmaların çoğu kararlı değildir. Kararsız yayınma sırasında bir katı içinde yayınan atomların birikmesi veya eksilmesi sonucunda belirli bir noktadaki **yayınma akısı** ve **konsantrasyon gradyeni** zamanla **değişir**.
- Bu durumda **Fick'in ikinci kanunu** (birinci kanunun diferansiyeli) geçerlidir.

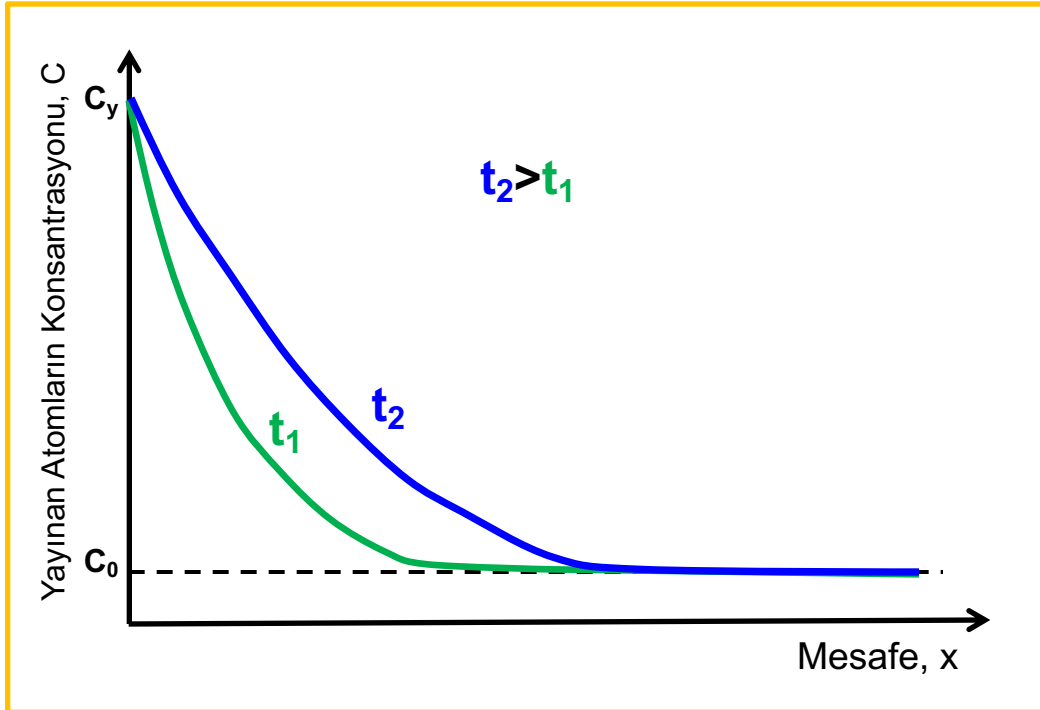


Kararsız yayınmada üç farklı süre  $t_1$ ,  $t_2$  ve  $t_3$  için çizilen konsantrasyon profilleri.

# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

- Pratikte gerçekleşen yayınmaların çoğu kararlı değildir. Kararsız yayınma sırasında bir katı içinde yayınan atomların birikmesi veya eksilmesi sonucunda belirli bir noktadaki **yayınma akısı** ve **konsantrasyon gradyeni** zamanla **değişir**.
- Bu durumda **Fick'in ikinci kanunu** (birinci kanunun diferansiyeli) geçerlidir.



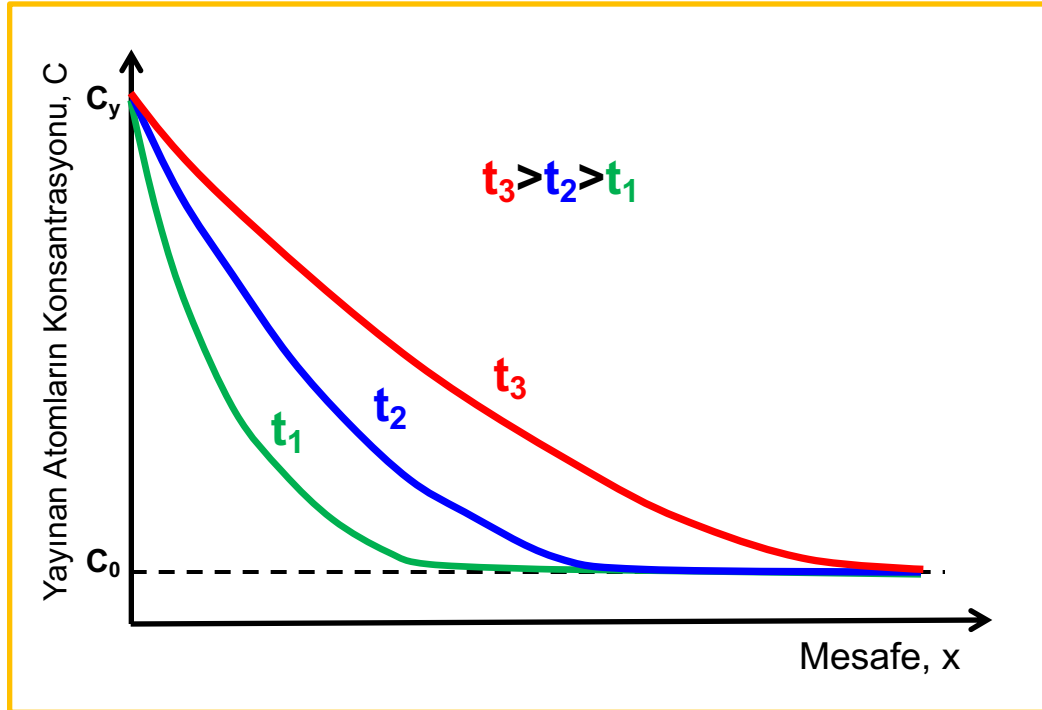
Kararsız yayımda üç farklı süre  $t_1$ ,  $t_2$  ve  $t_3$  için çizilen konsantrasyon profilleri.



# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

- Pratikte gerçekleşen yayınmaların çoğu kararlı değildir. Kararsız yayınma sırasında bir katı içinde yayınan atomların birikmesi veya eksilmesi sonucunda belirli bir noktadaki **yayınma akısı** ve **konsantrasyon gradyeni** zamanla **değişir**.
- Bu durumda **Fick'in ikinci kanunu** (birinci kanunun diferansiyeli) geçerlidir.

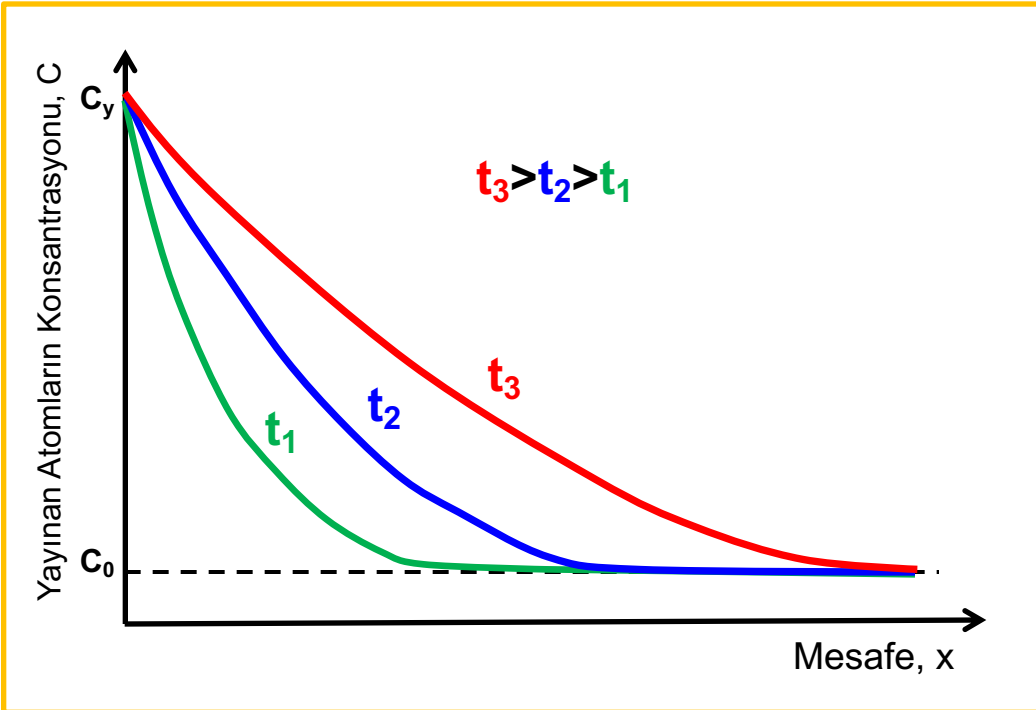


Kararsız yayımda üç farklı süre  $t_1$ ,  $t_2$  ve  $t_3$  için çizilen konsantrasyon profilleri.

# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

- Pratikte gerçekleşen yayınmaların çoğu kararlı değildir. Kararsız yayınma sırasında bir katı içinde yayınan atomların birikmesi veya eksilmesi sonucunda belirli bir noktadaki **yayınma akısı** ve **konsantrasyon gradyeni** zamanla değişir.
- Bu durumda **Fick'in ikinci kanunu** (birinci kanunun diferansiyeli) geçerlidir.



Fick'in  
ikinci  
kanunu

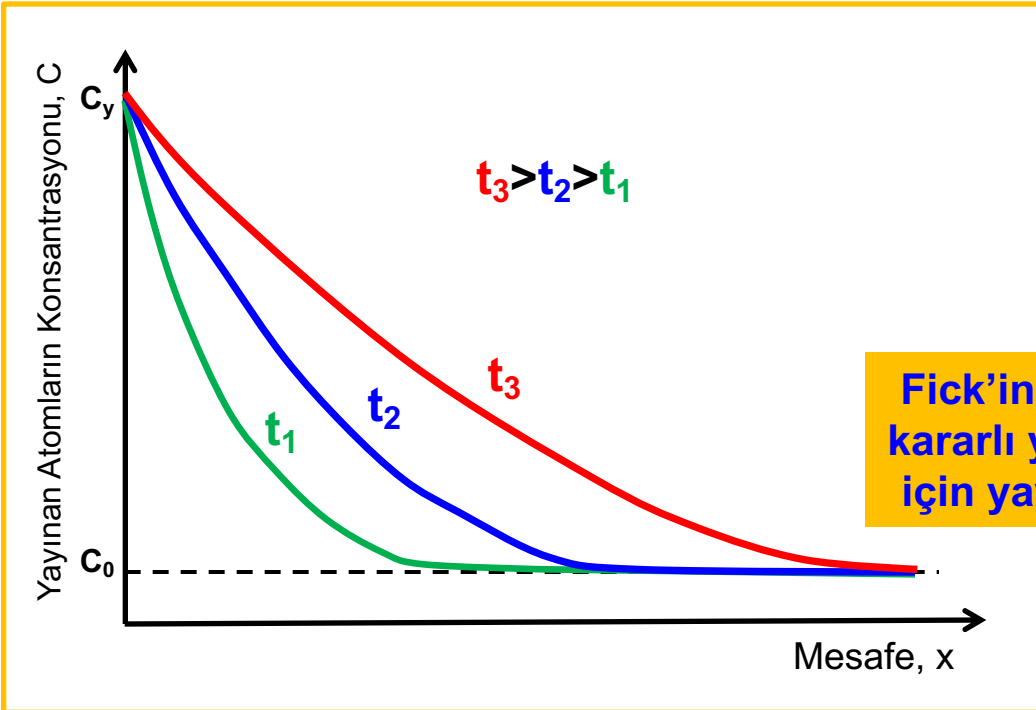
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

Kararsız yayımda üç farklı süre  $t_1$ ,  $t_2$  ve  $t_3$  için çizilen konsantrasyon profilleri.

# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

- Pratikte gerçekleşen yayınmaların çoğu kararlı değildir. Kararsız yayınma sırasında bir katı içinde yayınan atomların birikmesi veya eksilmesi sonucunda belirli bir noktadaki **yayınma akısı** ve **konsantrasyon gradyeni** zamanla değişir.
- Bu durumda **Fick'in ikinci kanunu** (birinci kanunun diferansiyeli) geçerlidir.



Fick'in  
ikinci  
kanunu

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

- Yayınma katsayısı bileşime **bağımlı değil** ise:

Fick'in ikinci kanunu –  
kararlı yayınma durumu  
için yayınma denklemi

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

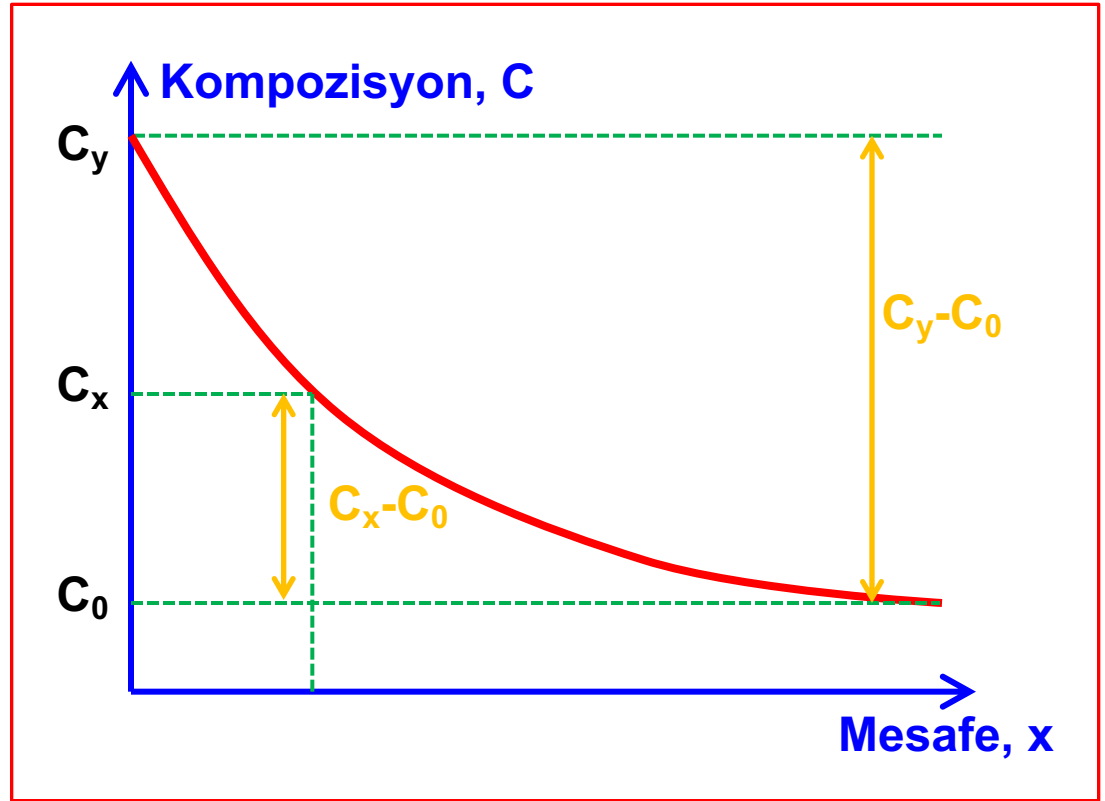
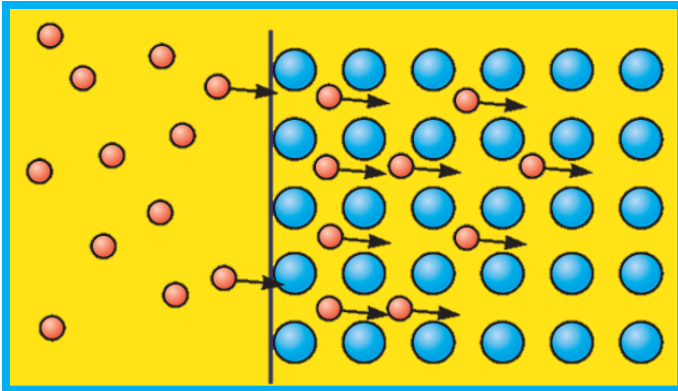
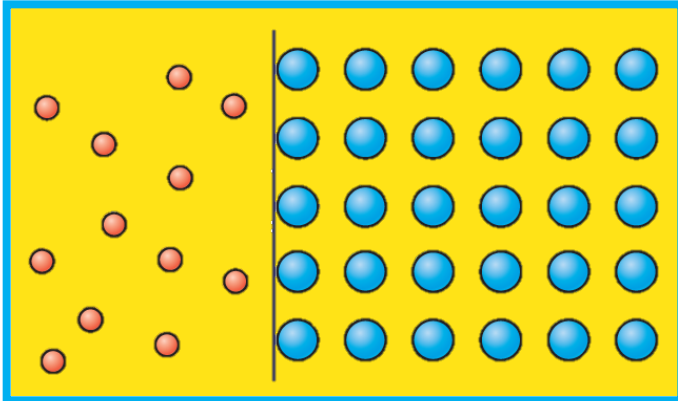
Kararsız yayımda üç farklı süre  $t_1$ ,  $t_2$  ve  $t_3$  için çizilen konsantrasyon profilleri.

# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

Fick'in ikinci kanunu –  
kararlı yayınma durumu  
için yayınma denklemi

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



Fick'in ikinci yasasına göre bir malzemenin yüzeyinden içine doğru atomların yayınmasının şematik gösterimi.

# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

- Uygulamada önemli bir çözüm için aşağıdaki kabuller söz konusudur:
  1. **Yayınma öncesinde**, katı içerisindeki çözelti atomlarının konsantrasyonları  $C_0$  olup bu atomlar üniform olarak dağılmışlardır.
  2.  $x$ 'in değeri yüzeyde sıfırdır ve katı içerisinde yüzeyden içeriye doğru mesafe arttıkça değeri artmaktadır.
  3. Yayınma başlamadan hemen önce süre sıfır olarak alınır.
- Kısaca sınır koşulları:
  - $t=0$  için  $0 \leq x \leq \infty$  iken  $C = C_0$
  - $t > 0$  için  $x=0$ 'da  $C = C_y$  (sabit yüzey konsantrasyonu)
  - $x=\infty$ 'da  $C = C_0$
- şeklindedir. Burada  $C_x$ ,  $t$  süresinde  $x$  derinliğindeki oluşan konsantrasyonu ifade etmektedir. Burada  $erf(x/2\sqrt{Dt})$  ise Gaussian hata fonksiyonudur. Değerleri Çizelgede verilmiştir.

Sabit yüzey konsantrasyonu için Fick'in ikinci kanununa ait denklem çözümü

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

# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

Sabit yüzey konsantrasyonu için Fick'in ikinci kanununa ait denklem çözümü

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

Çizelge. Hata fonksiyonuna ait değerler.

$z$	$\operatorname{erf}(z)$	$z$	$\operatorname{erf}(z)$	$z$	$\operatorname{erf}(z)$
0	0	0,55	0,5633	1,3	0,9340
0,025	0,0282	0,60	0,6039	1,4	0,9523
0,05	0,0564	0,65	0,6420	1,5	0,9661
0,10	0,1125	0,70	0,6778	1,6	0,9763
0,15	0,1680	0,75	0,7112	1,7	0,9838
0,20	0,2227	0,80	0,7421	1,8	0,9891
0,25	0,2763	0,85	0,7707	1,9	0,9928
0,30	0,3286	0,90	0,7970	2,0	0,9953
0,35	0,3794	0,95	0,8209	2,2	0,9981
0,40	0,4284	1,0	0,8427	2,4	0,9993
0,45	0,4755	1,1	0,8802	2,6	0,9998
0,50	0,5205	1,2	0,9103	2,8	0,9999

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy$$

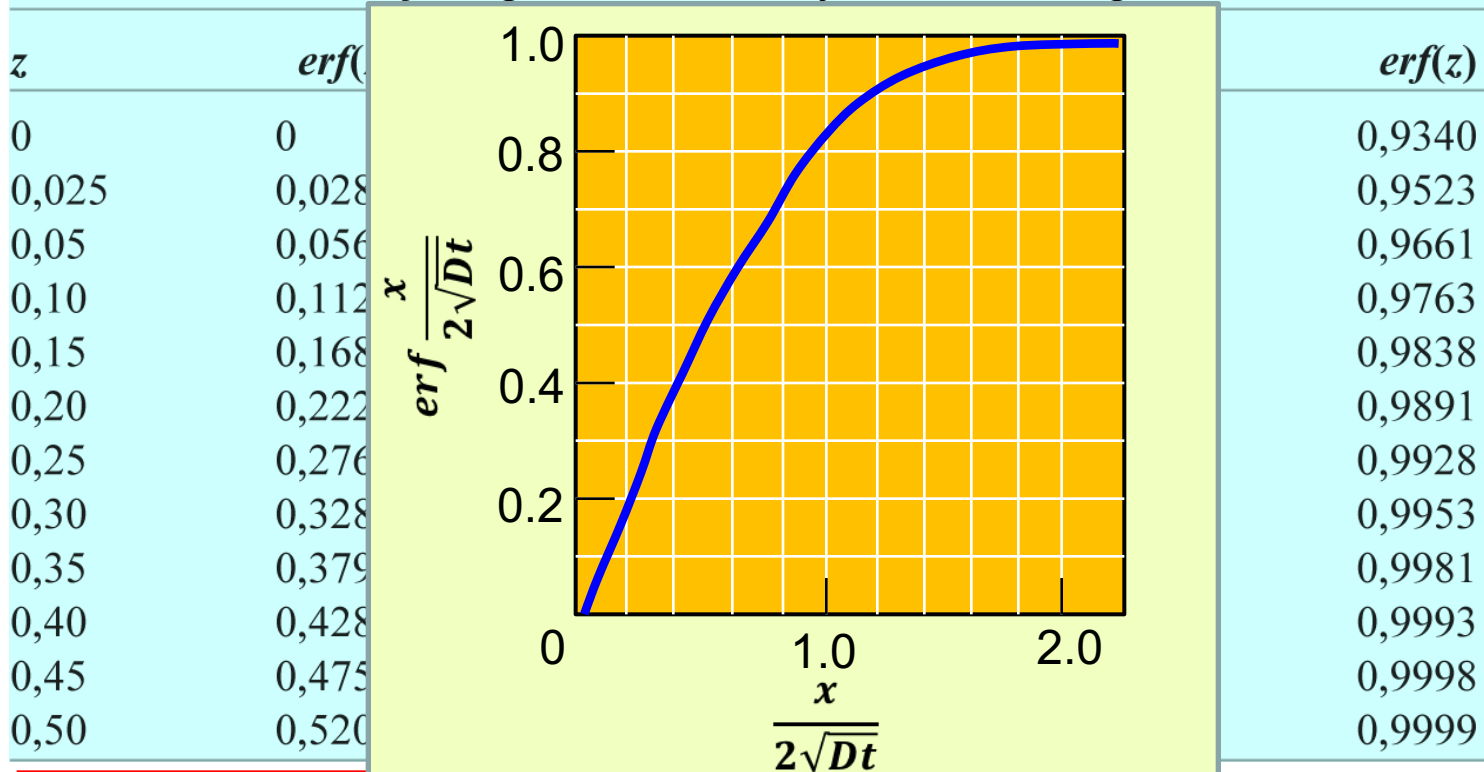
# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

Sabit yüzey konsantrasyonu için Fick'in ikinci kanununa ait denklem çözümü

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

Çizelge. Hata fonksiyonuna ait değerler.



$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy$$

Malzeme Bilimine Giriş  
Yayınma

Prof. Dr. İlker Dinçer  
Ankara Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

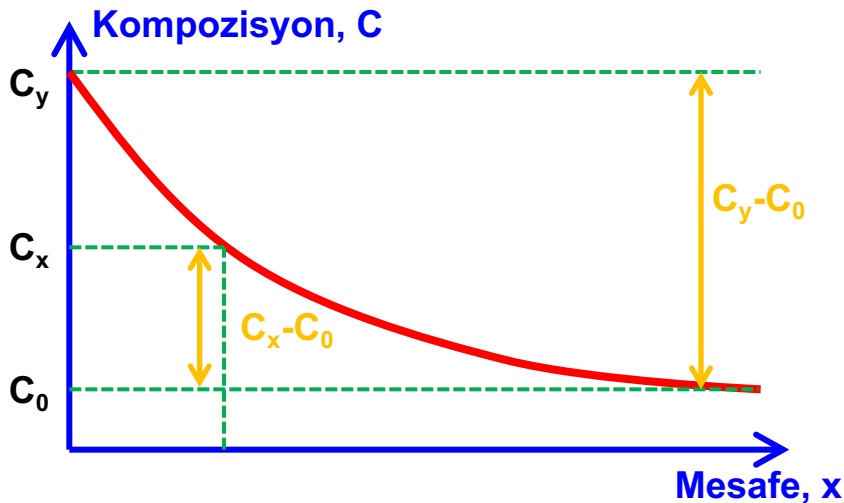
# 5. Yayınma

## Kararsız Yayınma

Sabit yüzey konsantrasyonu için Fick'in ikinci kanununa ait denklem çözümü

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

- Yukarıdaki denklemdeki konsantrasyon parametreleri belirli bir yayınma süresi için çizilen **Şekil**'deki konsantrasyon profili üzerinde gösterilmiştir. Bu denklem konsantrasyon, konum ve süre arasındaki ilişkiyi vermektedir.
- Bir alaşımda belirli bir çözelti konsantrasyonu ( $C_1$ ) oluşturmak istendiğini varsayalım. Bu durumda yukarıdaki denklemin **sol tarafı sabit** olur. O halde bu denklemin **sağ tarafı da sabit** olur.
- Böylece bu ilişkiye dayanarak yayınmaya ait bazı hesaplamalar örnekte olduğu gibi kolaylaşmaktadır.



$$\frac{x}{2\sqrt{Dt}} = \text{sabit}$$

$$\frac{x^2}{Dt} = \text{sabit}$$

Kararsız yayınmada konsantrasyon profili ve denklemde geçen konsantrasyonla ilgili parametreler.



# 5. Yayınma

## Örnek

$$C_0 = \text{ağ. \%}0.25 C$$

$$C_y = \text{ağ. \%}1.2 C$$

$$C_x = \text{ağ. \%}0.8 C$$

$$x = 0.50 \text{ mm} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$D = 1.6 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

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

$$\frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}}\right)$$

$$0.4210 = \operatorname{erf}\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right)$$

# 5. Yayınma

## Örnek

$C_0$	$C_y$	$C_x$	$z$	$erf(z)$
		0	0	0
$x = 0.5$		0,025	0,025	0,0282
	$D =$	0,05	0,05	0,0564
		0,10	0,10	0,1125
		0,15	0,15	0,1680
		0,20	0,20	0,2227
		0,25	0,25	0,2763
		0,30	0,30	0,3286
		0,35	0,35	0,3794
		0,40	0,40	0,4284
		0,45	0,45	0,4755
		0,50	0,50	0,5205

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

$$\frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}}\right)$$

$$0.4210 = \operatorname{erf}\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right)$$

# 5. Yayınma

## Örnek

$C_0$	$C_y$	$C_x$	$z$	$erf(z)$
		0	0	0
$x = 0.5$		0,025	0,025	0,0282
	$D =$	0,05	0,0564	0,0564
		0,10	0,1125	0,1125
		0,15	0,1680	0,1680
		0,20	0,2227	0,2227
		0,25	0,2763	0,2763
		0,30	0,3286	0,3286
		0,35	0,3794	0,3794
		0,40	0,4284	0,4284
		0,45	0,4755	0,4755
		0,50	0,5205	0,5205

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

$$\frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}}\right)$$

$$0.4210 = \operatorname{erf}\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right)$$

$$\frac{z - 0.35}{0.40 - 0.35} = \frac{0.4210 - 0.3794}{0.4284 - 0.3794}$$

# 5. Yayınma

## Örnek

$C_0$	$C_y$	$C_x$	$z$	$erf(z)$
		0	0	0
$x = 0.5$		0,025	0,025	0,0282
	$D =$	0,05	0,05	0,0564
		0,10	0,10	0,1125
		0,15	0,15	0,1680
		0,20	0,20	0,2227
		0,25	0,25	0,2763
		0,30	0,30	0,3286
		0,35	0,35	0,3794
		0,40	0,40	0,4284
		0,45	0,45	0,4755
		0,50	0,50	0,5205

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

$$\frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}}\right)$$

$$0.4210 = \operatorname{erf}\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right)$$

$$\frac{z - 0.35}{0.40 - 0.35} = \frac{0.4210 - 0.3794}{0.4284 - 0.3794}$$

$$z = 0.392$$

# 5. Yayınma

$C_0$	$z$	$erf(z)$
$C_y$		
$C_x$	0	0
$x = 0.5$	0,025	0,0282
$D =$	0,05	0,0564
	0,10	0,1125
	0,15	0,1680
	0,20	0,2227
	0,25	0,2763
	0,30	0,3286
	0,35	0,3794
	0,40	0,4284
	0,45	0,4755
	0,50	0,5205

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

$$\frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}}\right)$$

$$0.4210 = \operatorname{erf}\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right)$$

$$\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right) = 0.392$$

# 5. Yayınma

$C_0$	$C_y$	$C_x$	$z$	$erf(z)$
		0	0	0
$x = 0.5$		0,025	0,025	0,0282
	$D =$	0,05	0,05	0,0564
		0,10	0,10	0,1125
		0,15	0,15	0,1680
		0,20	0,20	0,2227
		0,25	0,25	0,2763
		0,30	0,30	0,3286
		0,35	0,35	0,3794
		0,40	0,40	0,4284
		0,45	0,45	0,4755
		0,50	0,50	0,5205

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

$$\frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}}\right)$$

$$0.4210 = \operatorname{erf}\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right)$$

$$\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right) = 0.392 \quad t = \left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{0.392}\right)^2$$

# 5. Yayınma

$C_0$	$z$	$erf(z)$
$C_y$		
$C_x$	0	0
$x = 0.5$	0,025	0,0282
$D =$	0,05	0,0564
	0,10	0,1125
	0,15	0,1680
	0,20	0,2227
	0,25	0,2763
	0,30	0,3286
	0,35	0,3794
	0,40	0,4284
	0,45	0,4755
	0,50	0,5205

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

$$\frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}}\right)$$

$$0.4210 = \operatorname{erf}\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right)$$

$$\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right) = 0.392$$

$$t = \left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{0.392}\right)^2 = 25400 \text{ s}$$

# 5. Yayınma

$C_0$	$C_y$	$C_x$	$z$	$erf(z)$
		0	0	0
$x = 0.5$		0,025	0,025	0,0282
	$D =$	0,05	0,05	0,0564
		0,10	0,10	0,1125
		0,15	0,15	0,1680
		0,20	0,20	0,2227
		0,25	0,25	0,2763
		0,30	0,30	0,3286
		0,35	0,35	0,3794
		0,40	0,40	0,4284
		0,45	0,45	0,4755
		0,50	0,50	0,5205

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

$$\frac{0.80 - 0.25}{1.20 - 0.25} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{(1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s})(t)}}\right)$$

$$0.4210 = \operatorname{erf}\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right)$$

$$\left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{\sqrt{(t)}}\right) = 0.392$$

$$t = \left(\frac{62.5 \text{ s}^{1/2}}{0.392}\right)^2 = 25400 \text{ s} \\ = 7.1 \text{ saat}$$



## 5. Yayınma

### Örnek

500 ve 600°C sıcaklıklarda, bakırın alüminyum içerisindeki yayınma katsayıları sırasıyla  $4,8 \times 10^{-14}$  ve  $5,3 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/s'dir. 600°C'de 10 saat sonunda meydana gelen yayınmanın (Al içerisindeki Cu konsantrasyonu bakımından), 500°C'de elde edilebilmesi için gerekli süreyi yaklaşık olarak hesaplayınız.

$$Dt = \text{sabit}$$

## 5. Yayınma

### Örnek

500 ve 600°C sıcaklıklarda, bakırın alüminyum içerisindeki yayınma katsayıları sırasıyla  $4,8 \times 10^{-14}$  ve  $5,3 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/s'dir. 600°C'de 10 saat sonunda meydana gelen yayınmanın (Al içerisindeki Cu konsantrasyonu bakımından), 500°C'de elde edilebilmesi için gerekli süreyi yaklaşık olarak hesaplayınız.

$$Dt = \text{sabit}$$

$$D_{500}t_{500} = D_{600}t_{600}$$

## 5. Yayınma

### Örnek

500 ve 600°C sıcaklıklarda, bakırın alüminyum içerisindeki yayınma katsayıları sırasıyla  $4,8 \times 10^{-14}$  ve  $5,3 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/s'dir. 600°C'de 10 saat sonunda meydana gelen yayınmanın (Al içerisindeki Cu konsantrasyonu bakımından), 500°C'de elde edilebilmesi için gerekli süreyi yaklaşık olarak hesaplayınız.

$$Dt = \text{sabit}$$

$$D_{500}t_{500} = D_{600}t_{600}$$

$$t_{500} = \frac{D_{600}t_{600}}{D_{500}}$$

## 5. Yayınma

### Örnek

500 ve 600°C sıcaklıklarda, bakırın alüminyum içerisindeki yayınma katsayıları sırasıyla  $4,8 \times 10^{-14}$  ve  $5,3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ 'dir. 600°C'de 10 saat sonunda meydana gelen yayınmanın (Al içerisindeki Cu konsantrasyonu bakımından), 500°C'de elde edilebilmesi için gerekli süreyi yaklaşık olarak hesaplayınız.

$$Dt = \text{sabit}$$

$$D_{500}t_{500} = D_{600}t_{600}$$

$$t_{500} = \frac{D_{600}t_{600}}{D_{500}}$$

$$t_{500} = \frac{(5.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s})(10 \text{ saat})}{4.8 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}}$$

## 5. Yayınma

### Örnek

500 ve 600°C sıcaklıklarda, bakırın alüminyum içerisindeki yayınma katsayıları sırasıyla  $4,8 \times 10^{-14}$  ve  $5,3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ 'dir. 600°C'de 10 saat sonunda meydana gelen yayınmanın (Al içerisindeki Cu konsantrasyonu bakımından), 500°C'de elde edilebilmesi için gerekli süreyi yaklaşık olarak hesaplayınız.

$$Dt = \text{sabit}$$

$$D_{500}t_{500} = D_{600}t_{600}$$

$$t_{500} = \frac{D_{600}t_{600}}{D_{500}}$$

$$t_{500} = \frac{(5.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s})(10 \text{ saat})}{4.8 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}} = 110.4 \text{ saat}$$