

# Mühendislik Malzemeleri

Metaller ve İç Yapıları



Doç. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU

**DERS 4**

# METALLER

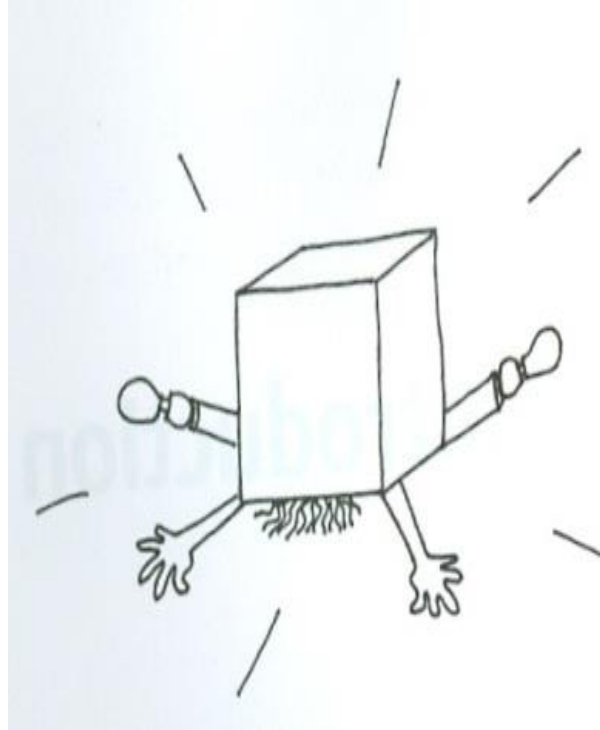
## Metal Nedir?

- Bağ elektronları serbestir: Bu nedenle metaller elektriği iletirler.
- Her bir birim hacımdaki bağ elektronlarının sayısı yüksektir; bu elementi metal yapar

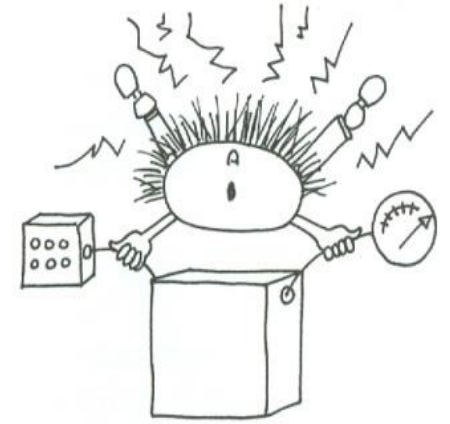
## Metal Nedir?



Soğuk his verir



Yoğundurlar

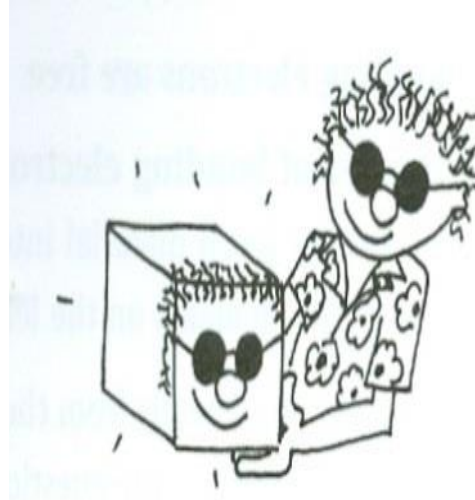


Elektriği iletirler

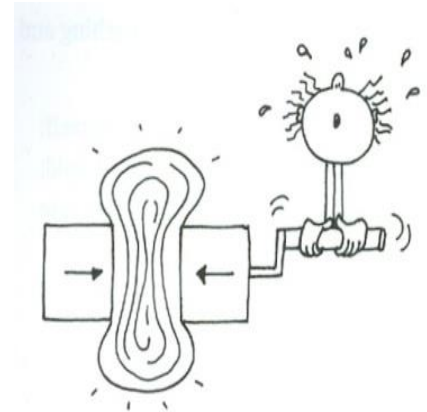
## Metal Nedir?



Çınlarlar



Işığı yansıtırlar



Deforme olurlar

## Metal Nedir?

### **Metaller**

Elektriği iyi iletir

Isıyı iyi iletir

Işığı absorbe ve reflekte eder

Sonority (ses verme) özeliği gösterir

Ağırdırlar

Plastikdirler (şekil değiştirebilir)

### **Yalıtkanlar**

İletmez

İletmez

Yapmaz

Yapmaz

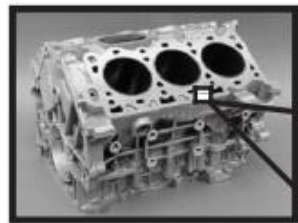
Değildirler

Değildirler

# Mühendislik Malzemeleri

## Metaller

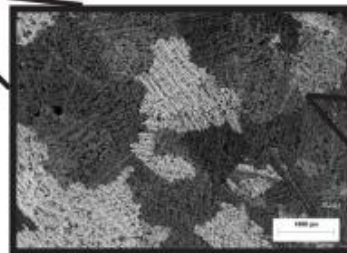
### What is Materials Science and Engineering?



Macro-Scale Structure  
Engine Block  
≅ upto 1 meter

#### Performance Criteria

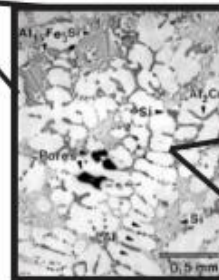
- Power generated
- Efficiency
- Durability
- Cost



Microstructure  
- Grains  
≅ 1 – 10 millimeters

Properties affected

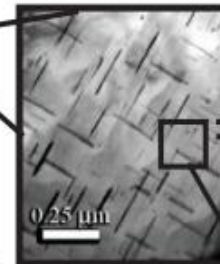
- High cycle fatigue
- Ductility



Microstructure  
- Dendrites & Phases  
≅ 50 – 500 micrometers

Properties affected

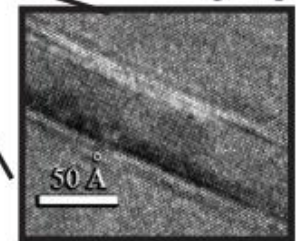
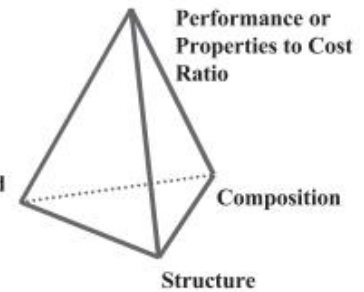
- Yield strength
- Ultimate tensile strength
- High cycle fatigue
- Low cycle fatigue
- Thermal Growth
- Ductility



Nano-structure  
- Precipitates  
≅ 3-100 nanometers

Properties affected

- Yield strength
- Ultimate tensile strength
- Low cycle fatigue
- Ductility



Atomic-scale structure  
≅ 1-100 Angstroms

Properties affected

- Young's modulus
- Thermal Growth

A real-world example of important microstructural features at different length-scales, resulting from the sophisticated synthesis and processing used, and the properties they influence. The atomic, nano, micro, and macro-scale structures of cast aluminum alloys (for engine blocks) in relation to the properties affected and performance are shown. The materials science and engineering (MSE) tetrahedron that represents this approach is shown in the upper right corner.

(Illustrations Courtesy of John Allison and William Donlon, Ford Motor Company)

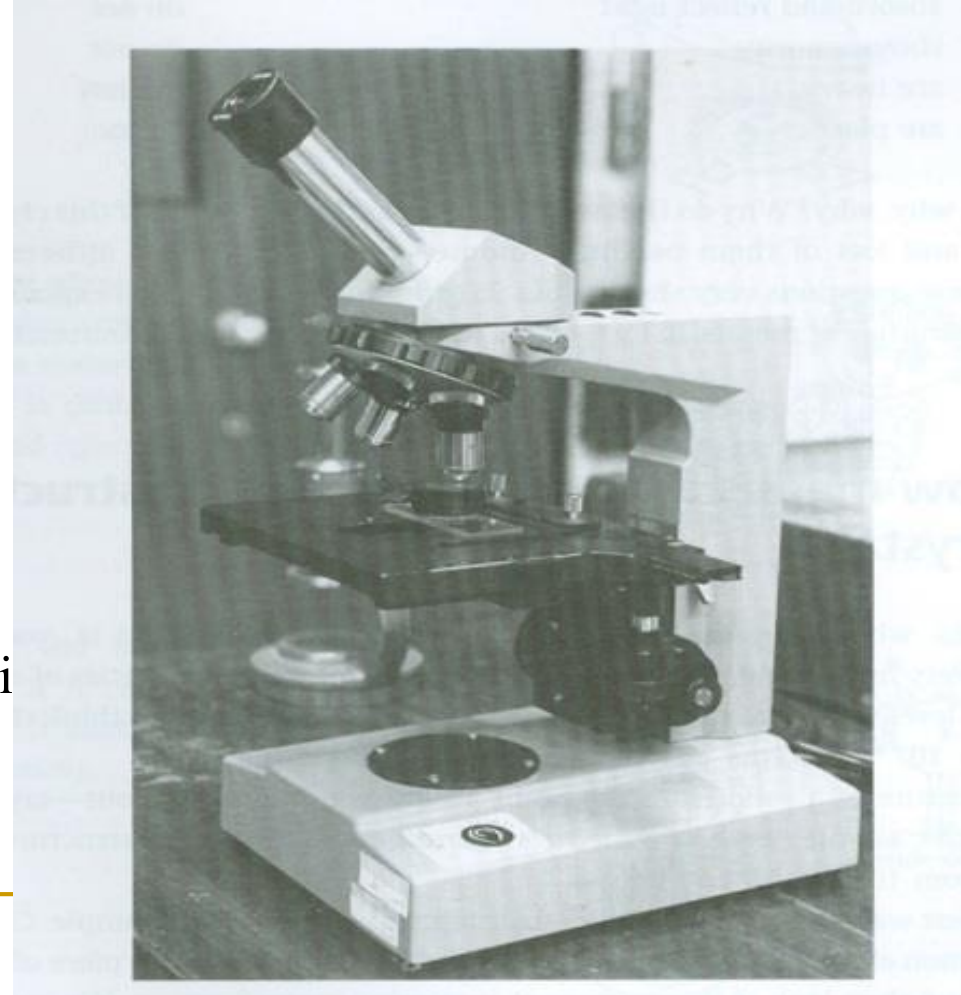
- ❑ Bir bakırı kesip, artan büyütmelerle yapısını inceleyelim

### ADIM 1

- ❑ Bakır kesilip parlatılır
- ❑ Kırmızımtırak bir yansıma görülür

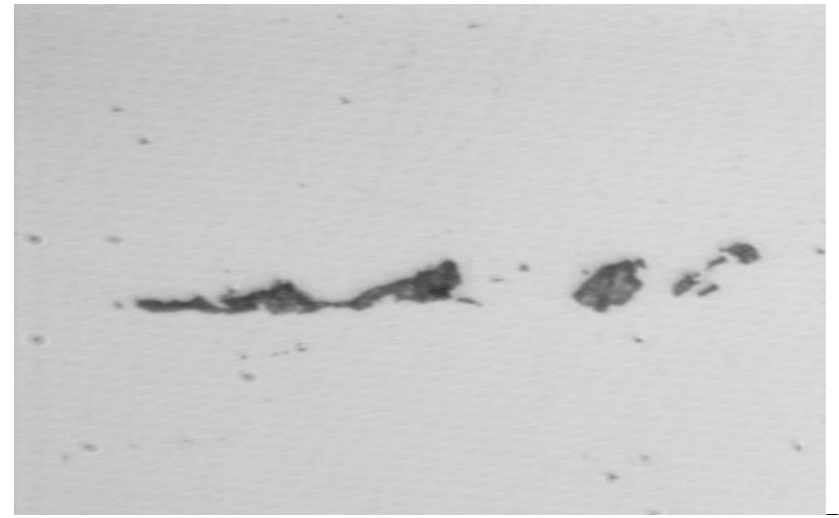
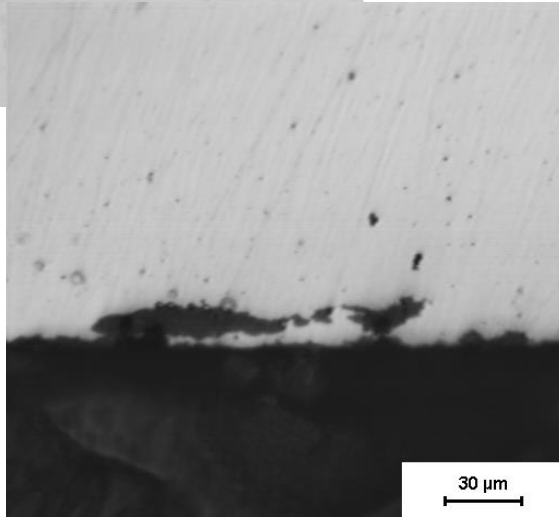
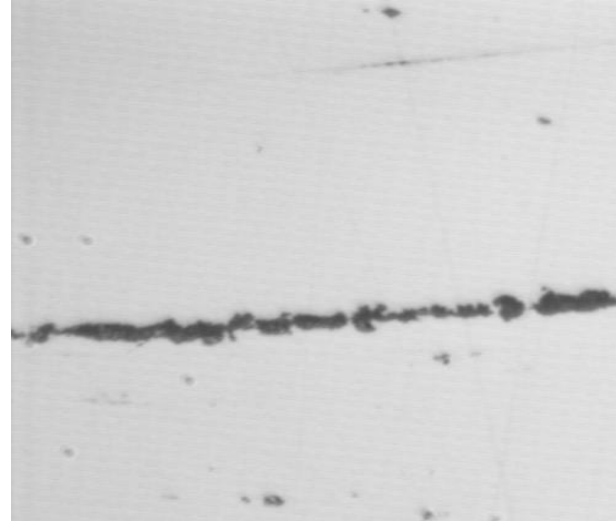
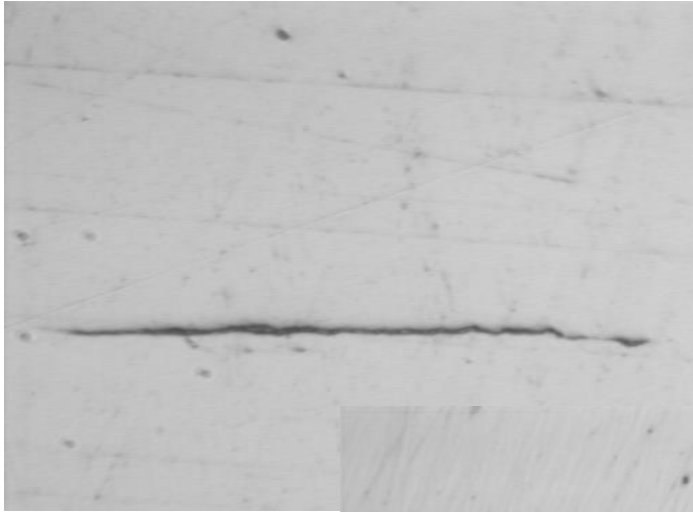
### ADIM 2

- ❑ Mikroskop altına konur
- ❑ Bakır opaktır, yansıtır.
- ❑ Büyütme (Işığın dalga boyu dereceleri)
- ❑  $\frac{1}{2} \mu\text{m}(0.5 \times 10^{-6} \text{ m})$
- ❑ Birşey görülmez

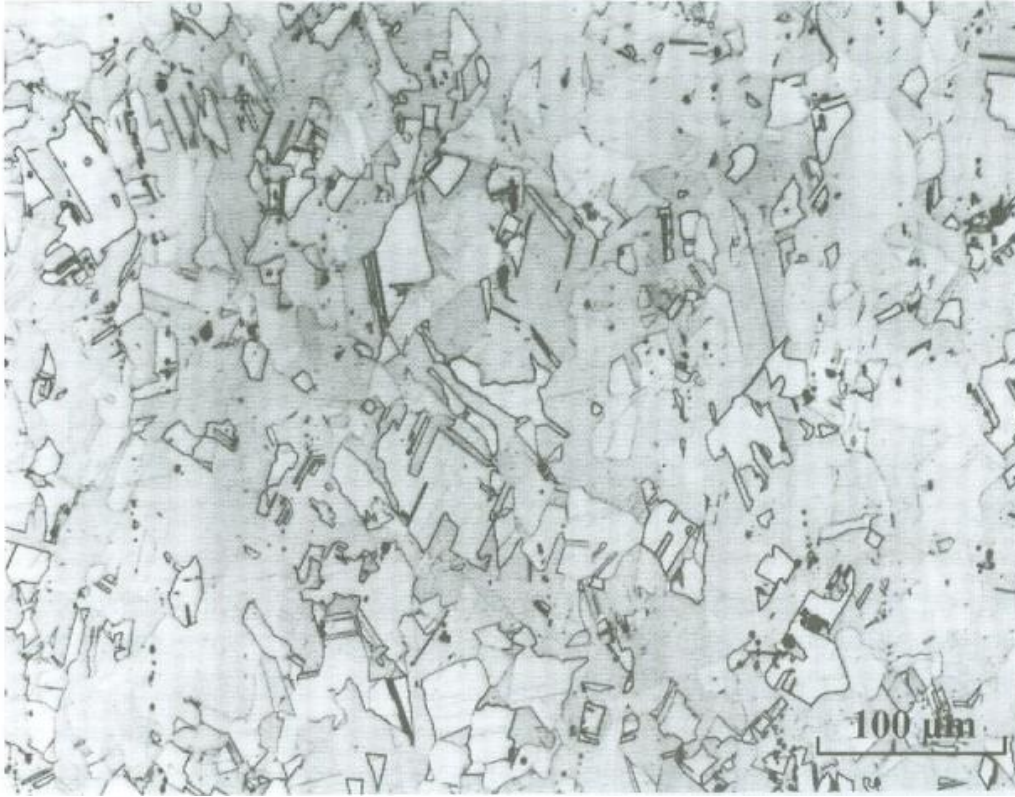




Parlatılmış kesitte ne görebiliriz?

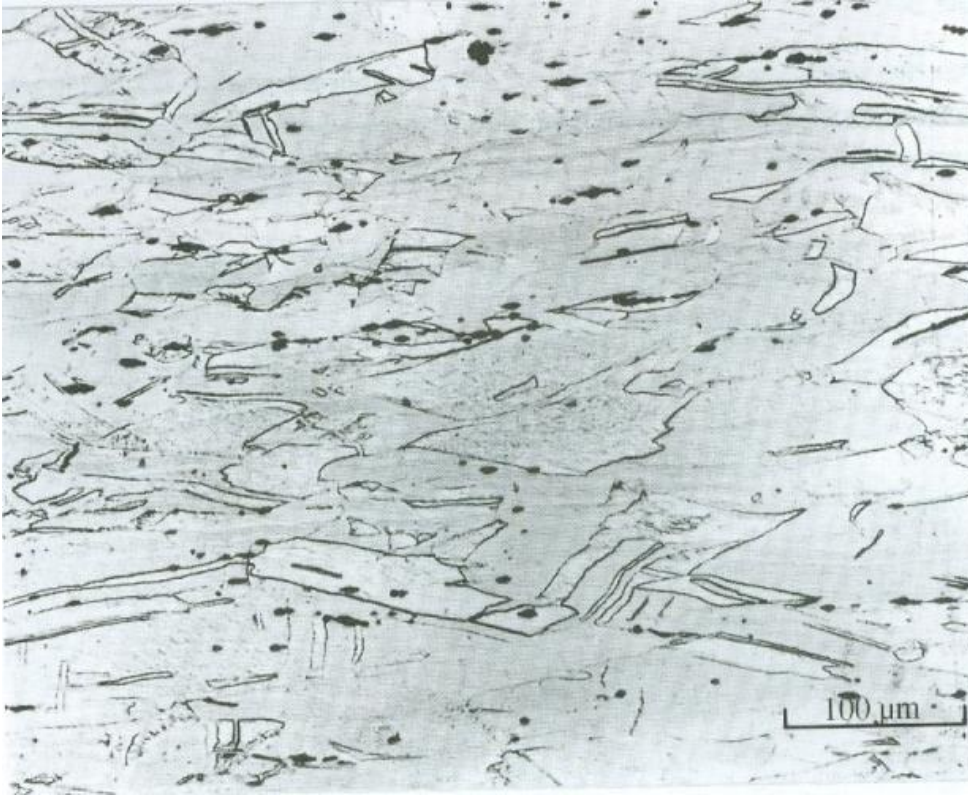


- Dağlanır
- Artık birşeyler görebiliriz, kristaller (0.1 mm)



*optik  
mikroskopta  
bakır*

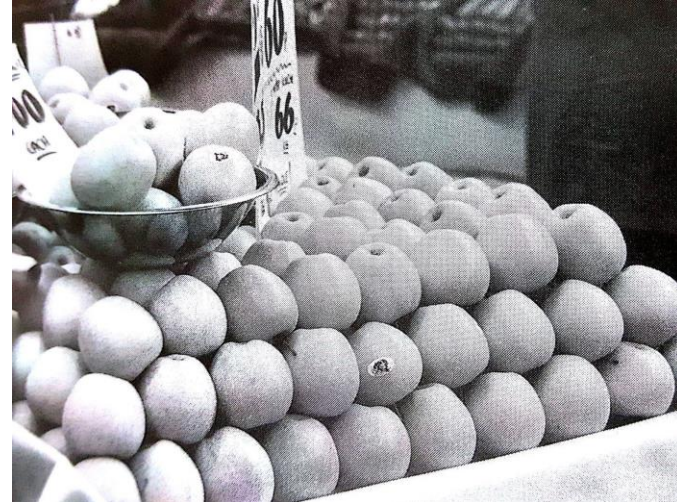
Kristallerin şekli, metalin gördüğü işleme bağlıdır.  
Kristal şekli mühendis tarafından kontrol edilebilir.



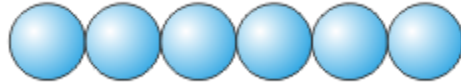
*Haddelenmiş bakır*

Her metal atomu, 1, 2 veya 3 bağ elektronu içerir, tabi ki bu değerler periyodik tablodaki konumlarına göredir. Örneğin bakır. Bakır 1 valans elektronuna sahiptir. Birim hacim başına bağ elektronlarının sayısını maksimumda tutmak için birim hacim başına atom sayısını da maksimum olarak ayarlayabilmemiz lazım. Dolayısıyla şöyle bir sorunun cevabı önemlidir.

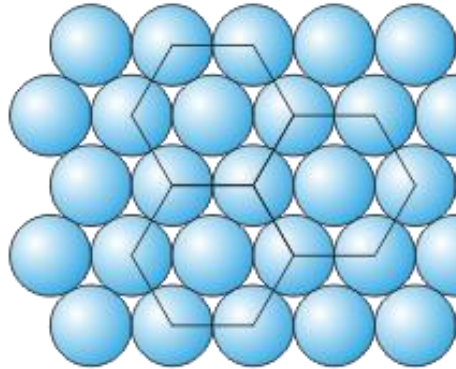
Eşit boyutlardaki küreleri nasıl en küçük bir hacime sığdıracağız.



1 boyut



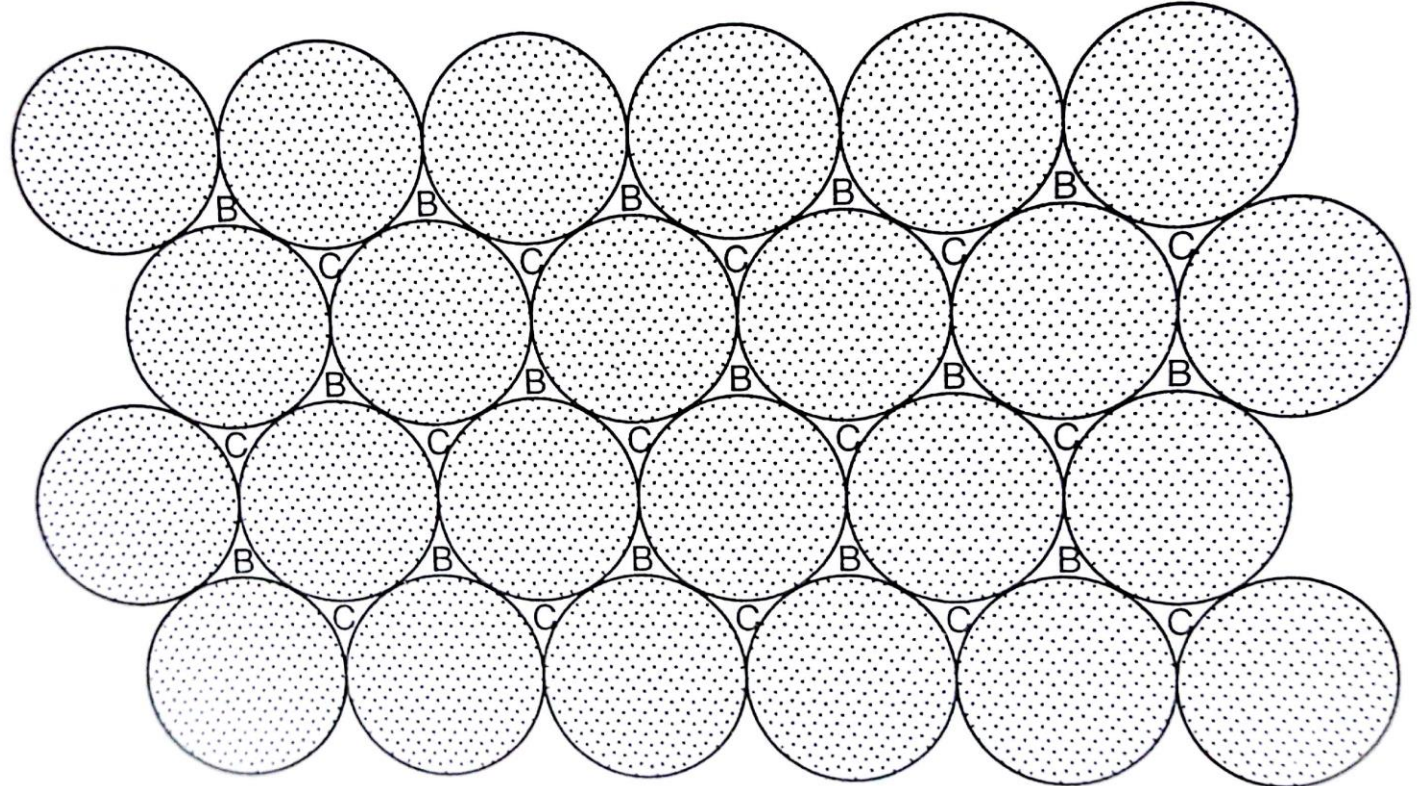
2 boyut



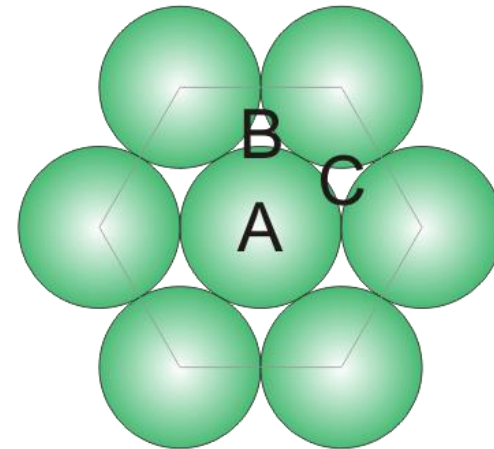
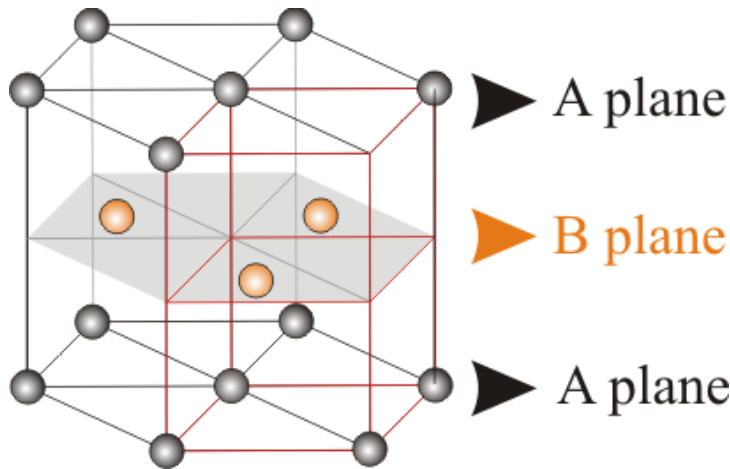
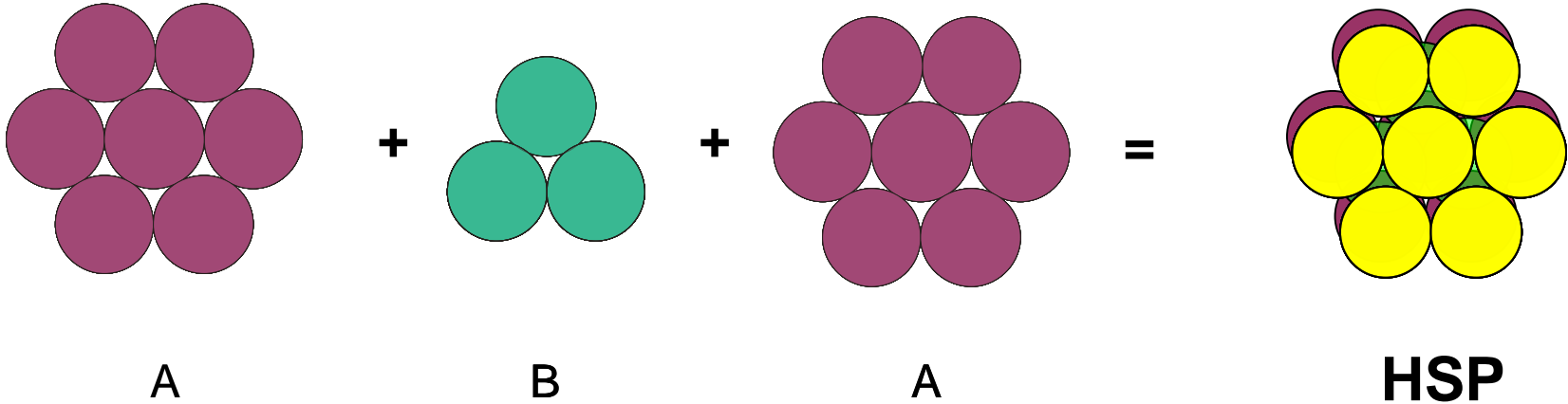
Peki 3 boyut ???



3 boyut



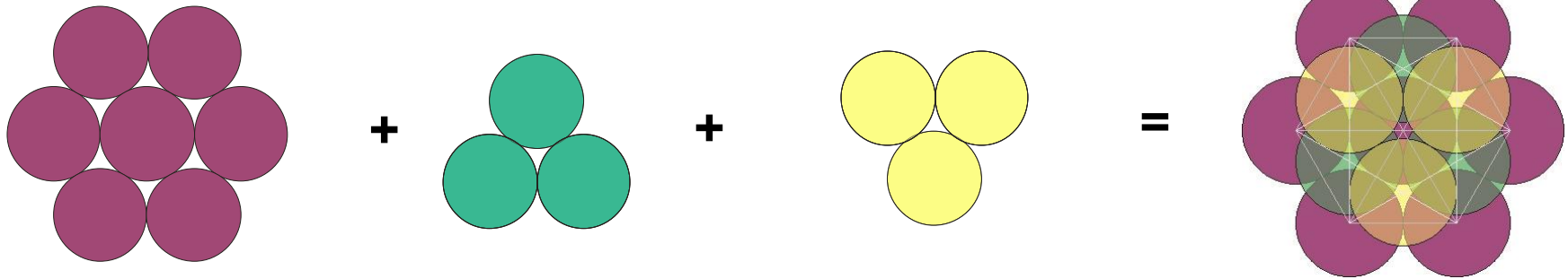
3 boyut



# Mühendislik Malzemeleri

## Metaller

3 boyut

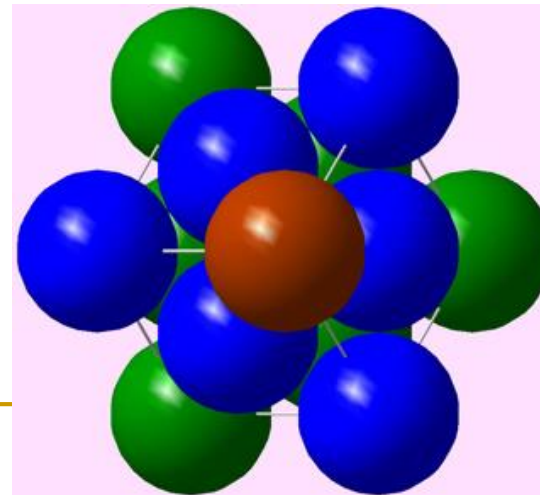
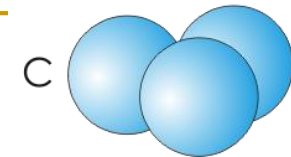
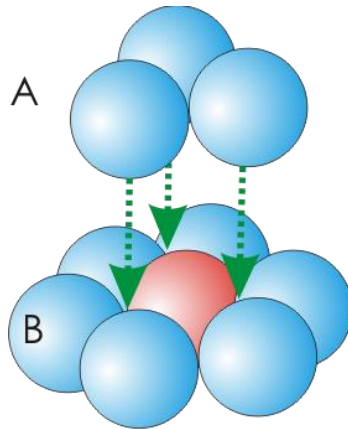


A

B

C

**KYM**

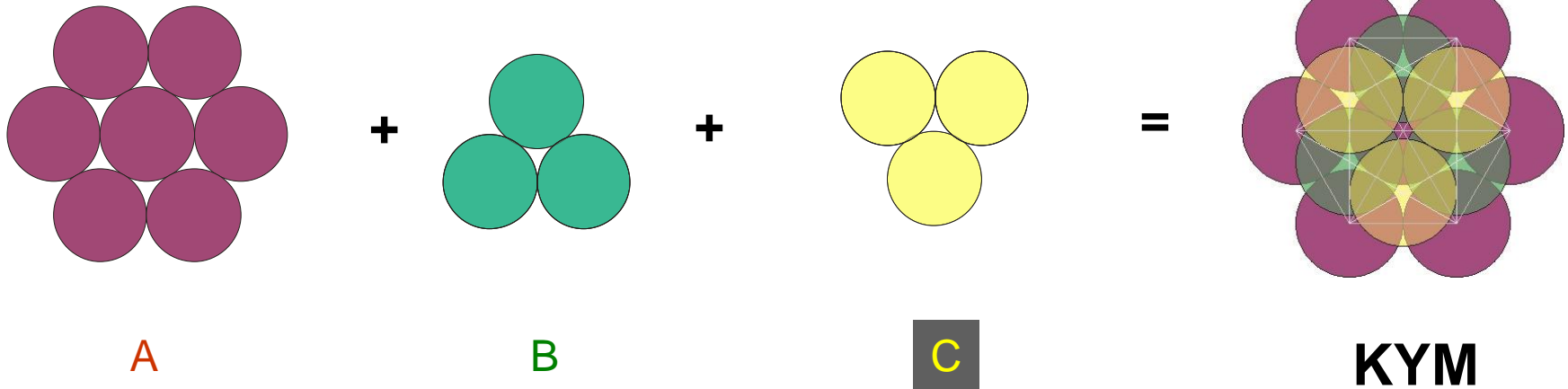




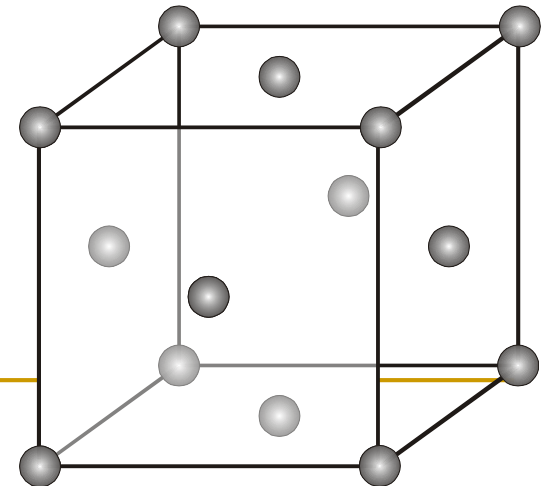
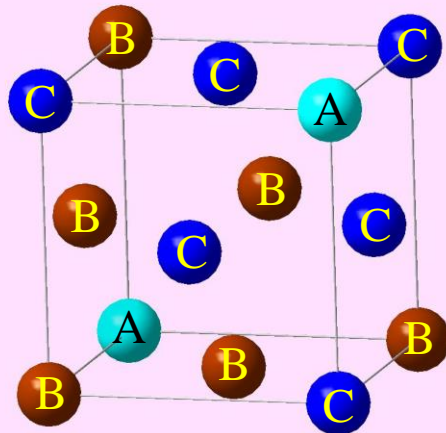
# Mühendislik Malzemeleri

## Metaller

3 boyut



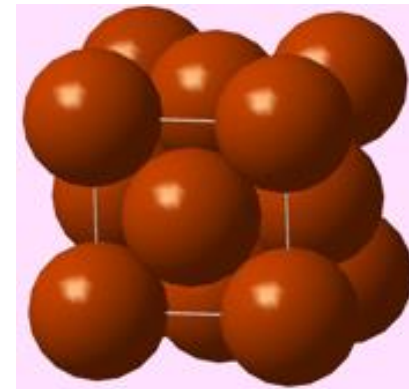
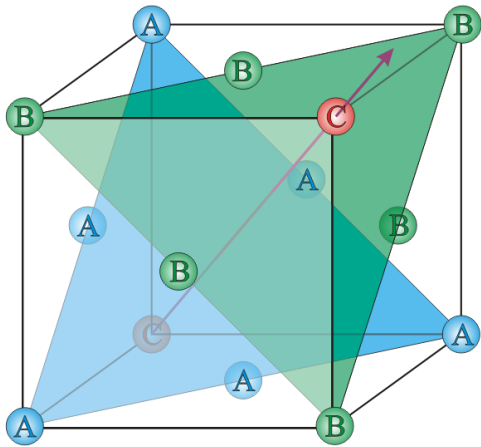
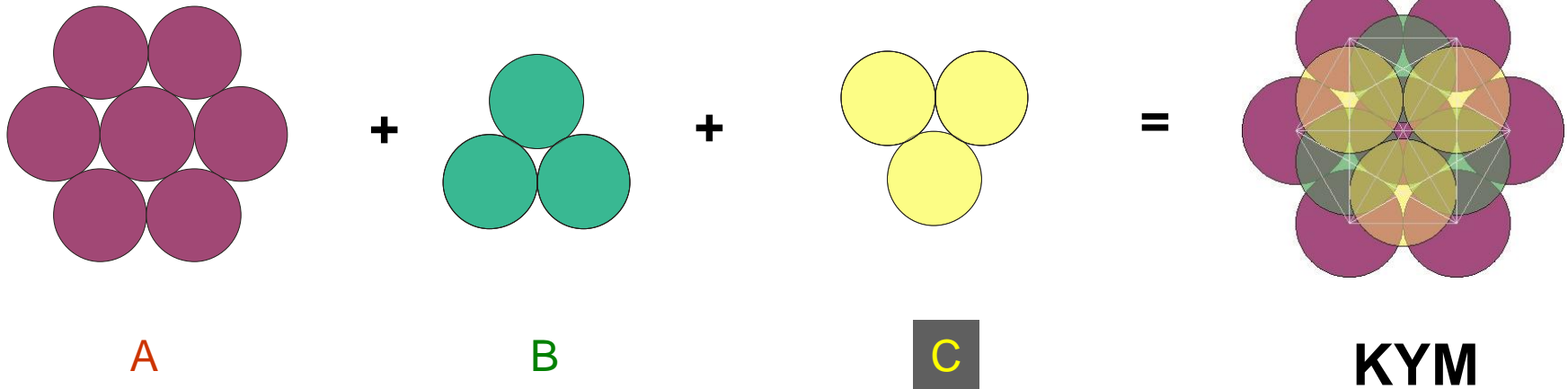
Conventional  
unit cell of the  
FCC crystal



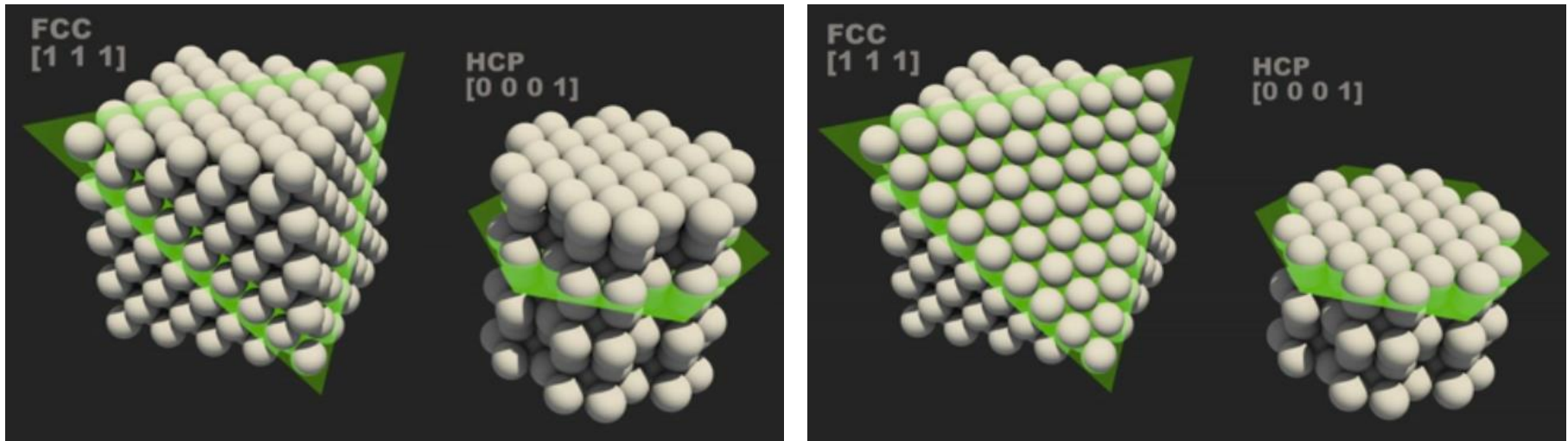
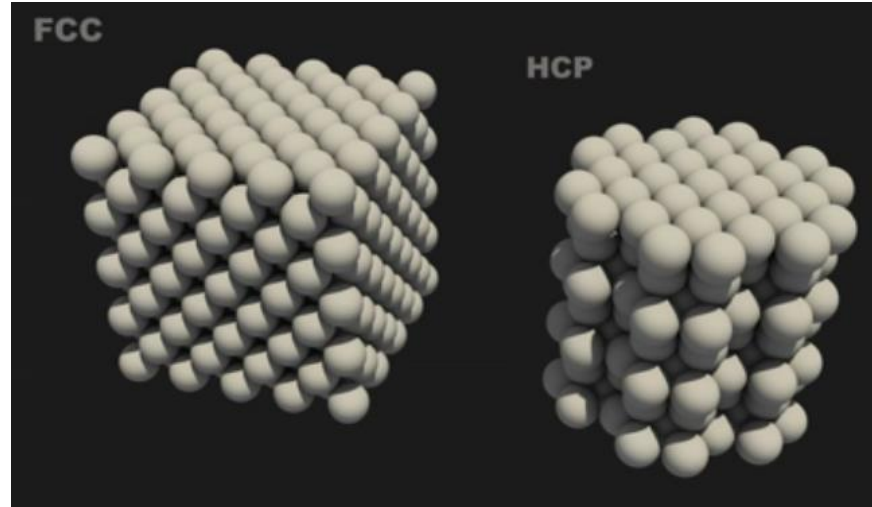
# Mühendislik Malzemeleri

## Metaller

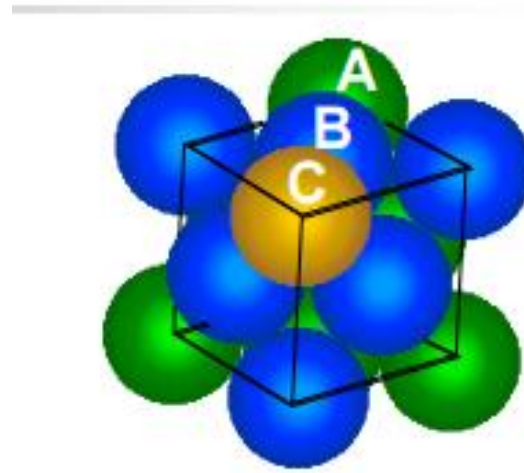
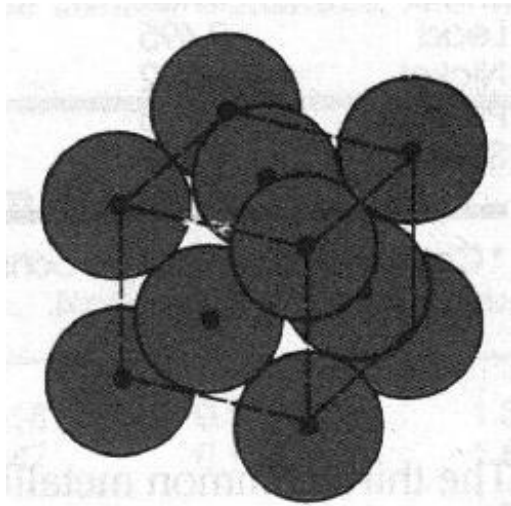
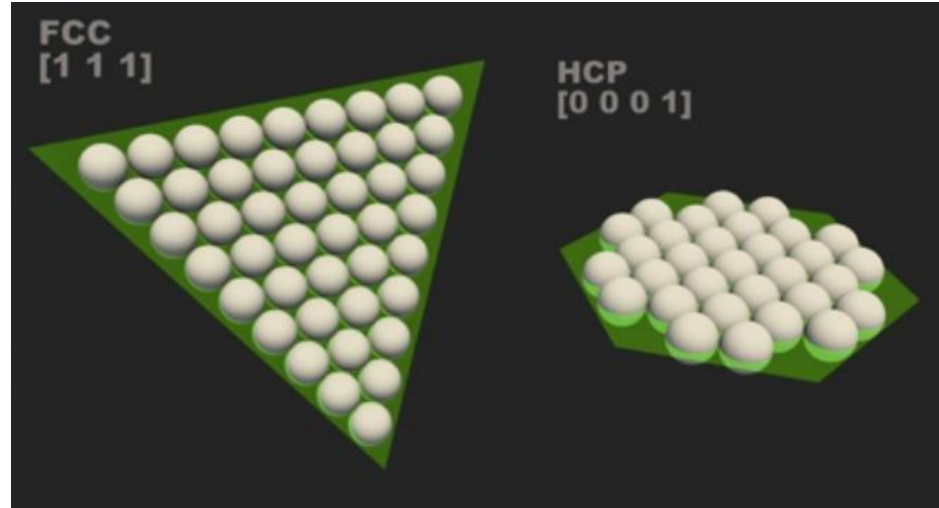
3 boyut



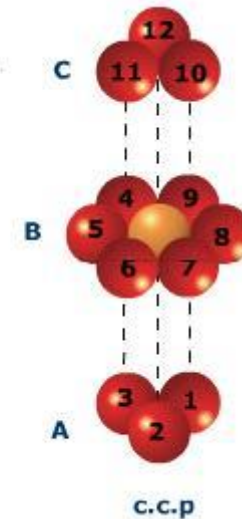
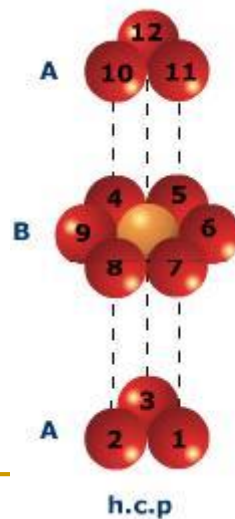
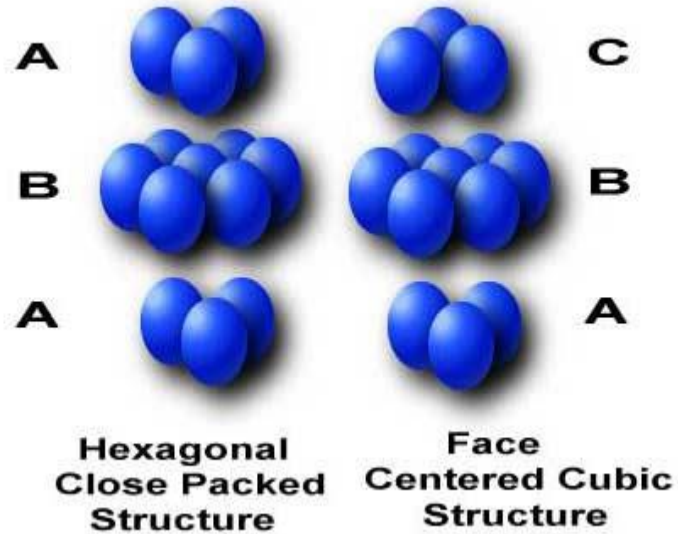
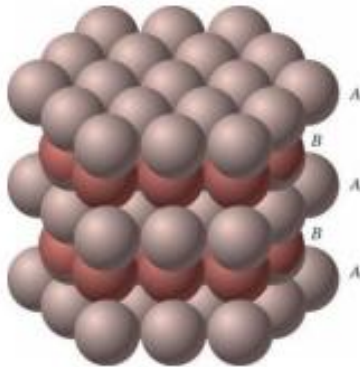
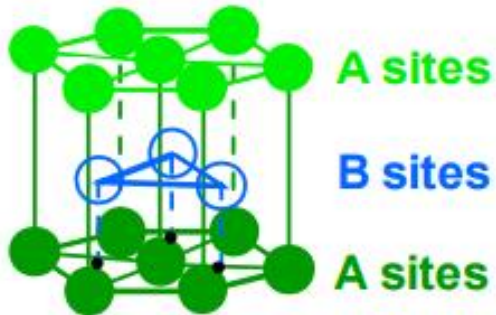
HSP de ABABAB  
YMK da ABCABC  
Peki bu ne anlama gelir?



HSP de ABABAB  
YMK da ABCABC  
Peki bu ne anlama gelir?



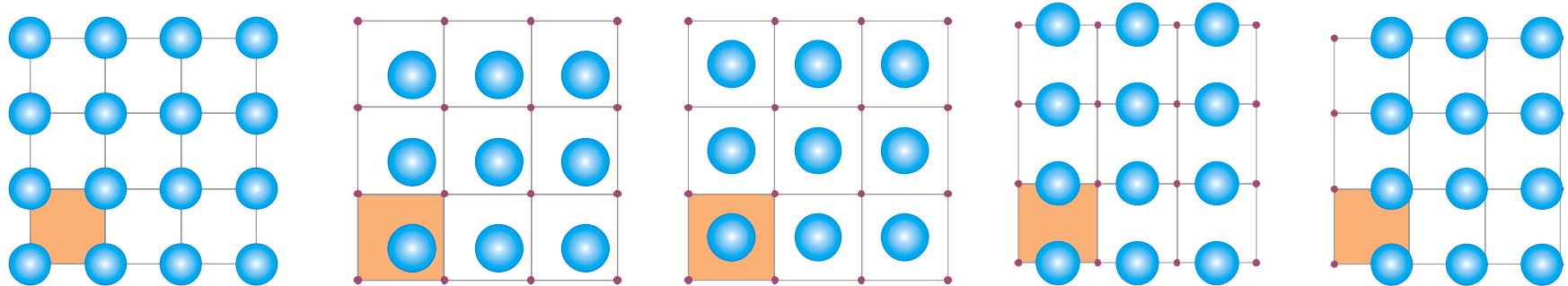
HSP de ABABAB  
YMK da ABCABC  
Peki bu ne anlama gelir?



### 1 boyut birim hücre



### 2 boyut birim hücre

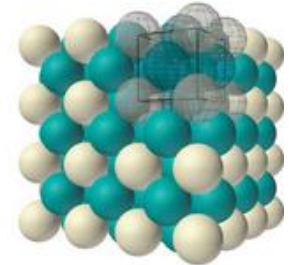
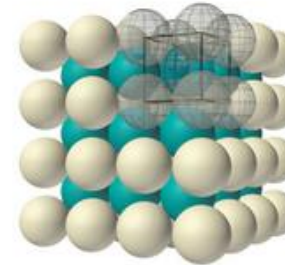
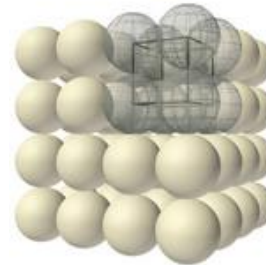
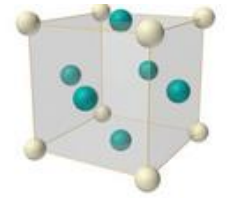
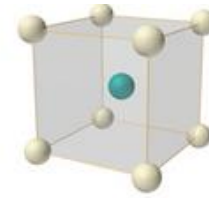
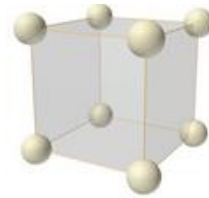




# Mühendislik Malzemeleri

## Metaller

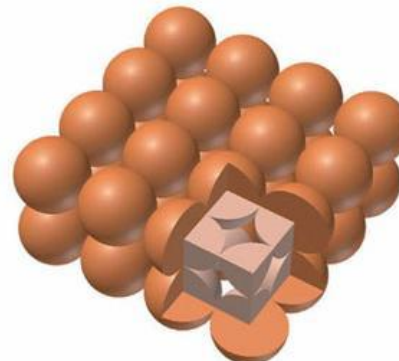
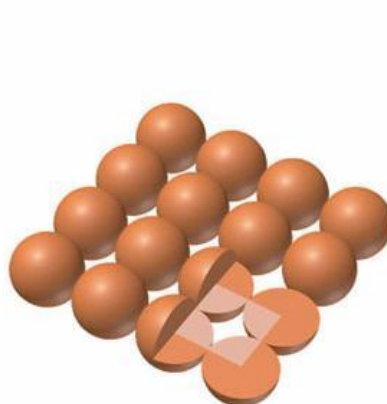
3 boyut birim hücre



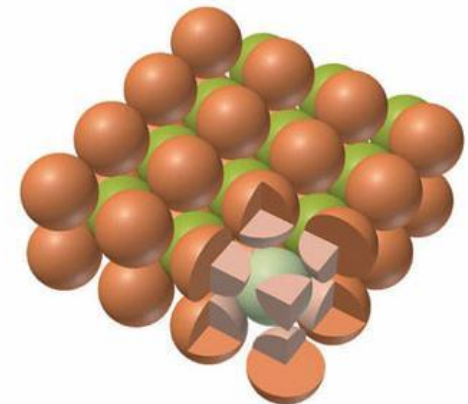
(a) Simple cubic

(b) Body-centered cubic

(c) Face-centered cubic

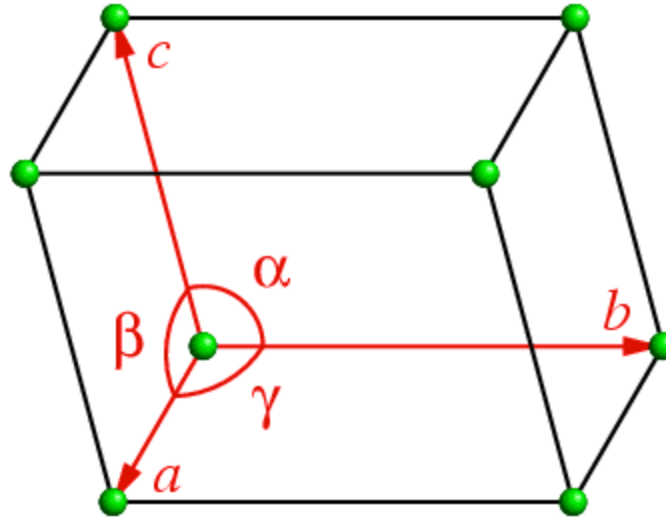


Simple cubic (52%)



Body-centered cubic (68%)

Kristal kafesi, yanyana gelerek kendisini oluşturan ve birim hücre olarak adlandırılan basit geometrik cisimler yardımıyla tanımlanabilir. Birim hücre bir eksen takımında x, y, z eksenleri üzerindeki a, b, c atom uzaklıkları ve bu eksenler arasındaki  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  açıları ile belirlenir. Kafes sabitleri veya kafes parametreleri denen a, b, c uzaklıkları metallerin büyük çoğunluğu için 0.25–0.5 nm arasında değişir. Yani 1 mm'ye 2–4 milyon atom düşer. .

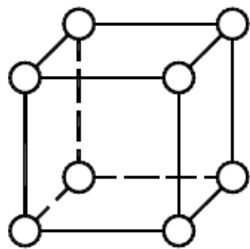




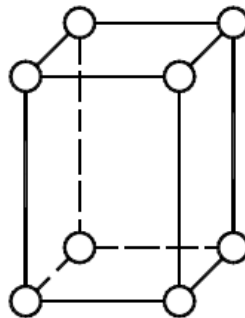
### Kafes sistemleri

Metallerin ve özellikle bu gruba dahil olan demir karbon alaşımlarının önemli bir özelliği kristal yapıya sahip olmalarıdır. Sıvı halde iken bir kristal yapı söz konusu değildir. Atomlar serbest olarak hareket ederler. Metaller katı halde kristal halindedirler. Metali oluşturan atomlar üç boyutlu bir düzende bulunurlar. Eğer yapı kristallerden oluşmuyor ise malzeme amorf olarak adlandırılır. Amorf olarak camlar, sıvılar ve bazı suni malzemeler sayılabilir.

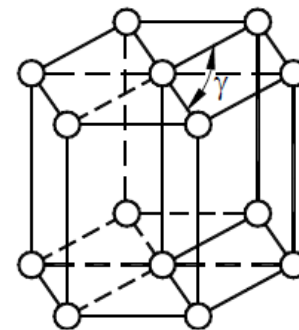
Bütün metaller, önemli sayıda seramikler ve bazı polimerler kristal yapıya sahiptir.



Kubik sistem  
 $a = b = c$



Tetragonal sistem  
 $a = b \neq c$



Heksagonal sistem  
 $a = b \neq c$

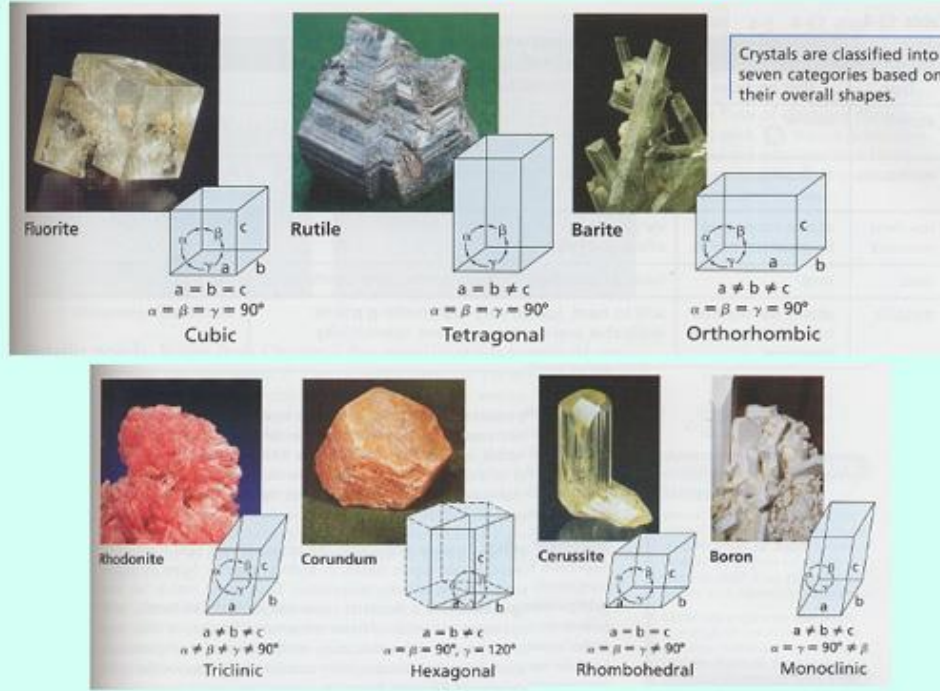
### Kafes sistemleri

Metallerde en çok rastlanan kafes türleri

1. Kübik yüzey merkezli (kym)
2. Kübik hacim merkezli (khm)
3. Sıkı paket hegzagonal (sph)

Atomların birbirlerine olan uzaklıkları kafes parametresi olarak adlandırılır. Metallerde kafes paramteresinin büyüklüğü genelde 0,25 ile 0,5 nm arasındadır.

### Seven Basic Crystal Systems

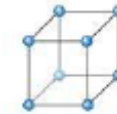


- Doğadaki bütün kristal malzemeler **7 kristal sistem** ve **14 kristal kafesin** birine uyarlar.
- **Metaller** genelde bu sistemlerin **3 tane** sinin birine sahiptirler.

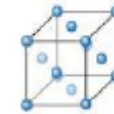
Kristal türü	a, b, c	$\alpha, \beta, \gamma$
Kübik	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
Tetragonal	$a=b \neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
Ortorombik	$a \neq b \neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
Monoklinik	$a \neq b \neq c$	$\alpha=\beta=90^\circ, \gamma \neq 90^\circ$
Triklinik	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
Rombohedral	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$
Hekzagonal	$a_1=a_2=a_3 \neq c$	açılar $90^\circ$ ve $120^\circ$

Atomların bu kafes sistemi içerisinde nasıl yerleştiklerini 14 adet "**Bravis kafes sistemi**" ifade eder.

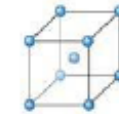
1. Basit Kübik
2. Hacim Merkezli Kübik
3. Yüzey Merkezli Kübik
4. Basit Tetragonal
5. Hacim Merkezli Tetragonal
6. Basit Ortorombik
7. Hacim Merkezli Ortorombik
8. Taban Merkezli Ortorombik
9. Yüzey Merkezli Ortorombik
10. Basit Rombohedral
11. Basit Hegzagonal
12. Basit Monoklinik
13. Taban Merkezli Monoklinik
14. Triklirik



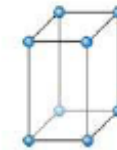
Simple cubic



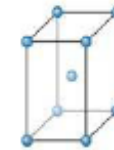
Face-centered cubic



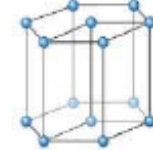
Body-centered cubic



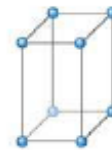
Simple tetragonal



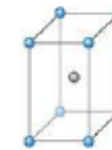
Body-centered tetragonal



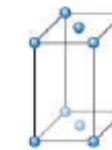
Hexagonal



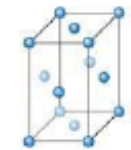
Simple orthorhombic



Body-centered orthorhombic



Base-centered orthorhombic



Face-centered orthorhombic



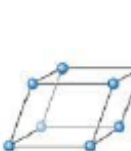
Rhombohedral



Simple monoclinic



Base-centered monoclinic



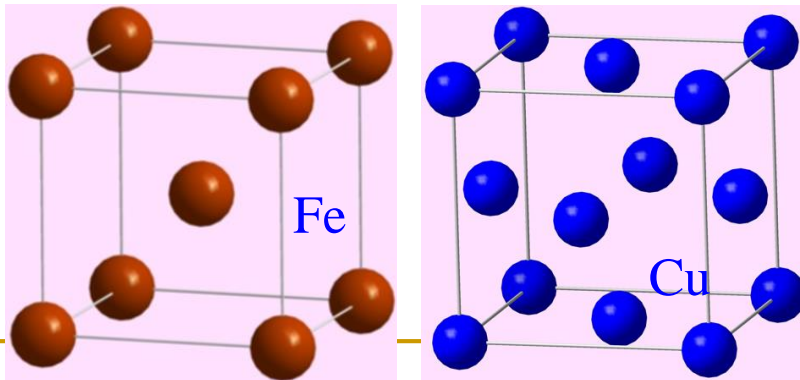
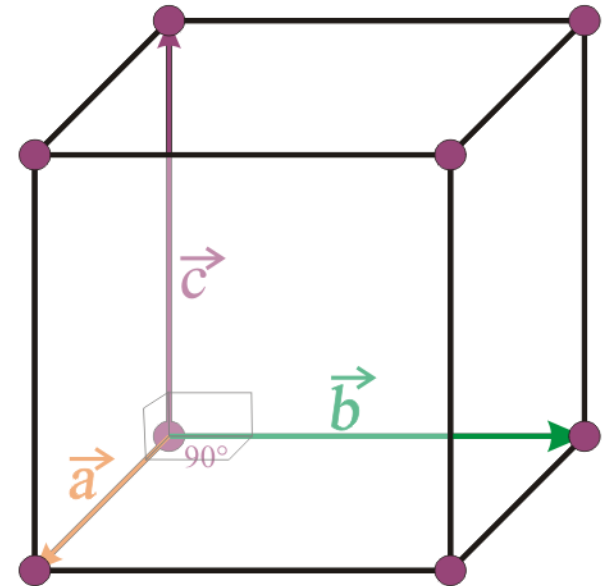
Triclinic

### 1. Kübik kafes

$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

- Basit kübik BK
- Hacim Merkezli Kübik – HMK
- Yüzek Merkezli Kübik – YMK

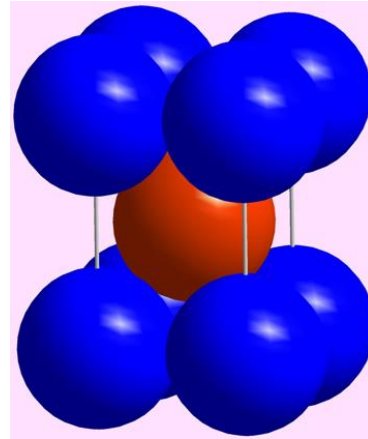


- Elements with Cubic structure  $\rightarrow$
- BK: F, O
- HMK: Cr, Fe, Nb, K, W, V
- YMK: Al, Ar, Pb, Ni, Pd, Pt, Ge

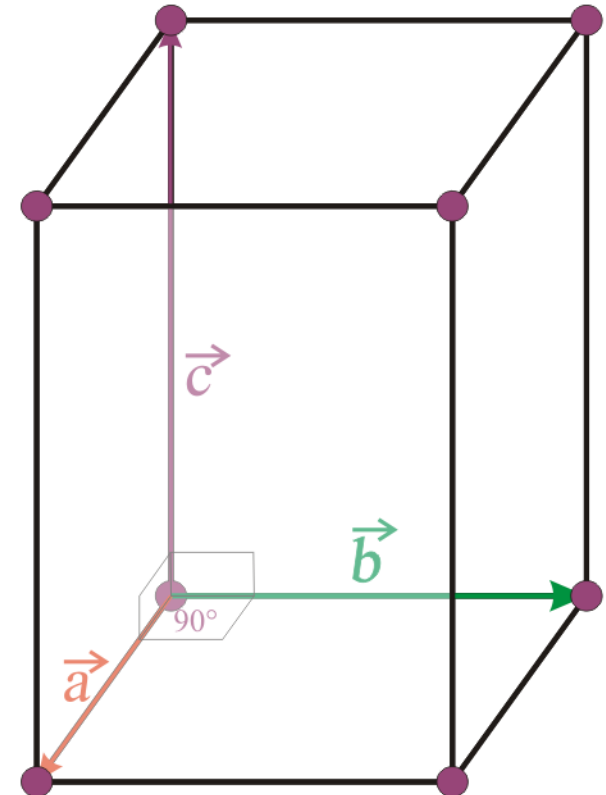
## 2. Tetragonal

$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



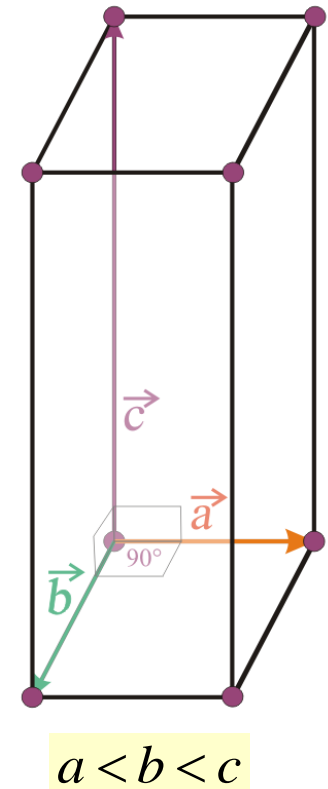
- Basit Tetragonal
- Hacim Merkezli Tetragonal - HMT



### 3. Ortorombik Kristal

$$a \neq b \neq c$$

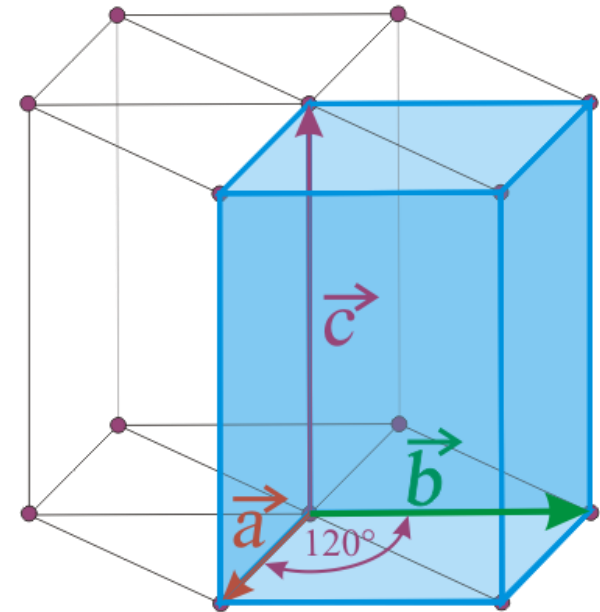
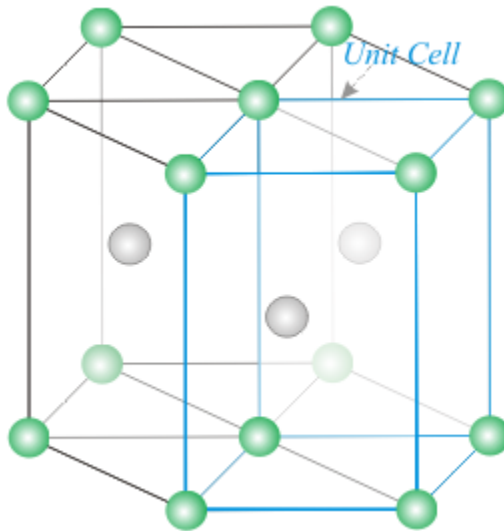
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



### 4. Hegzagonal Kristal

$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$$

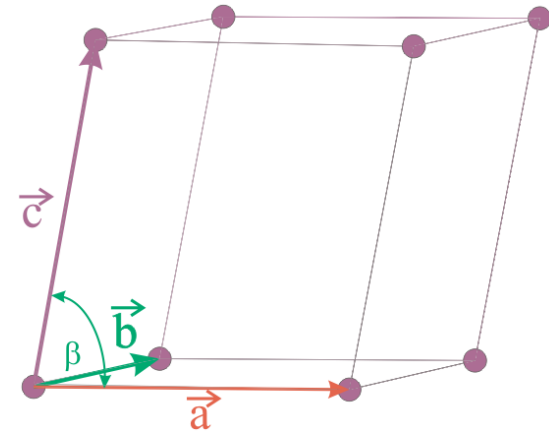
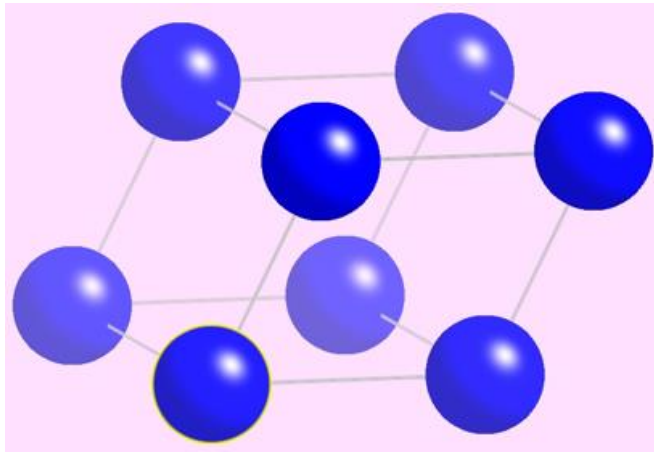




## 5. Rhombohedral Crystals

$$a = b = c$$

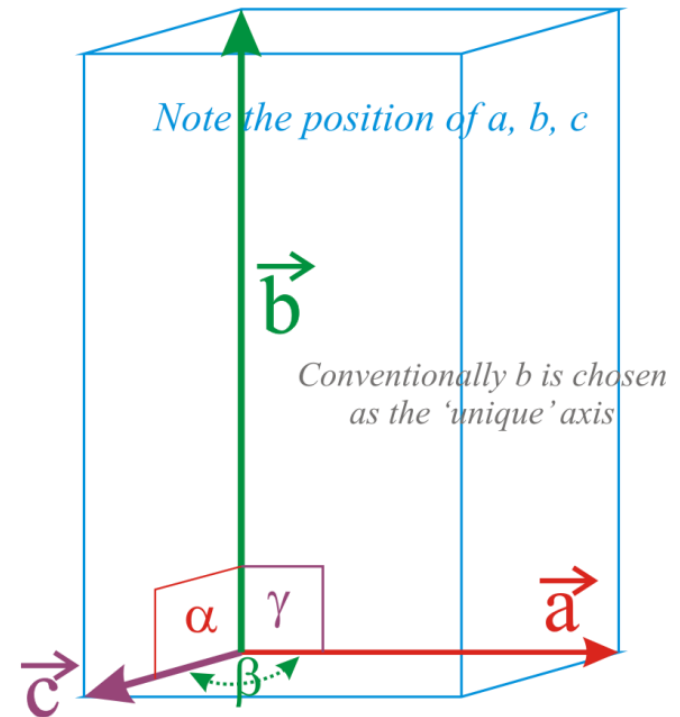
$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



### 6. Monoklinik Kristal

$$a \neq b \neq c$$

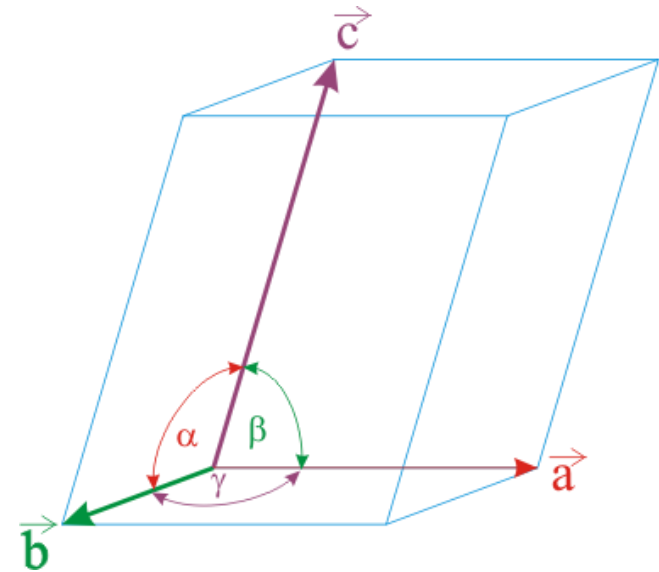
$$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$

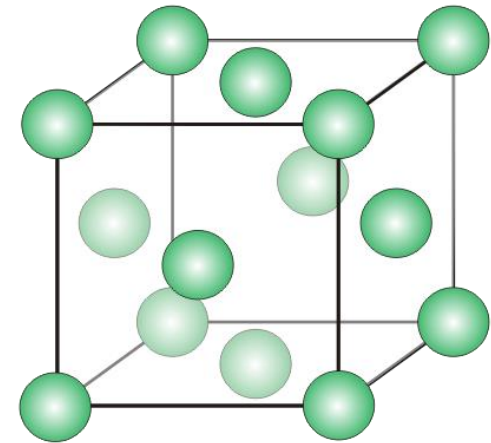
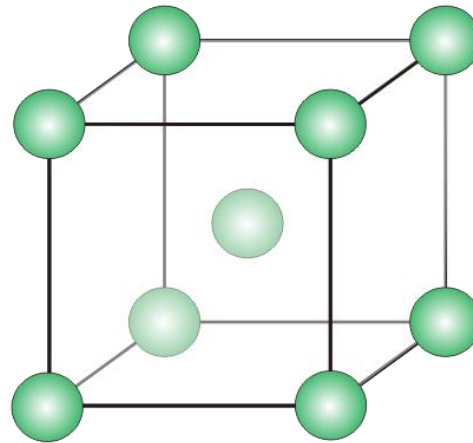
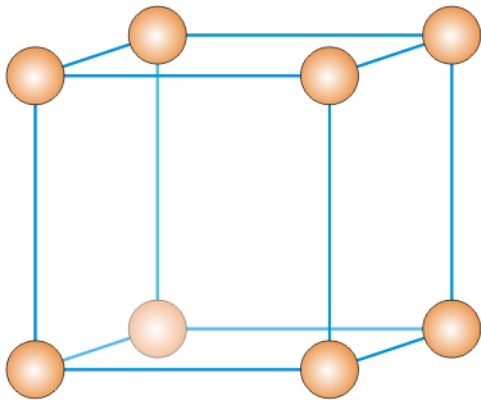
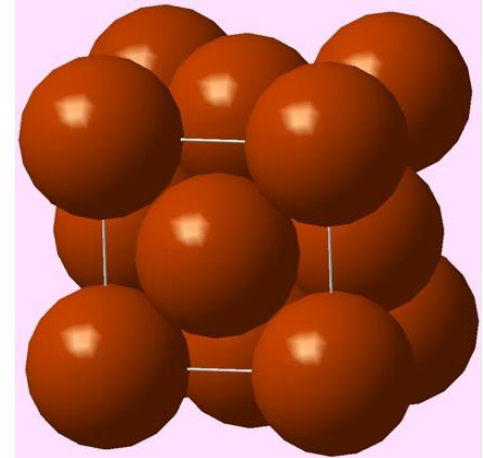
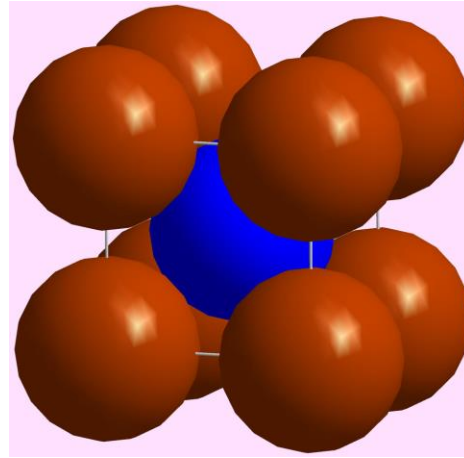
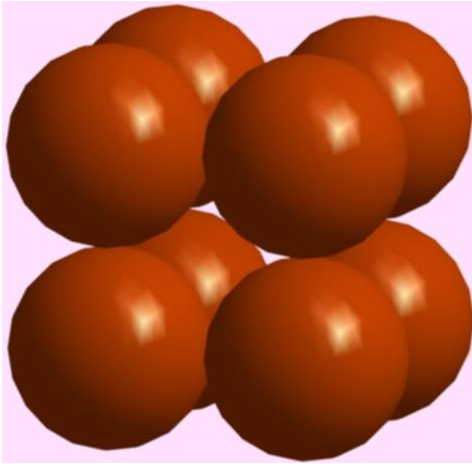


## 7. Triclinic Crystals

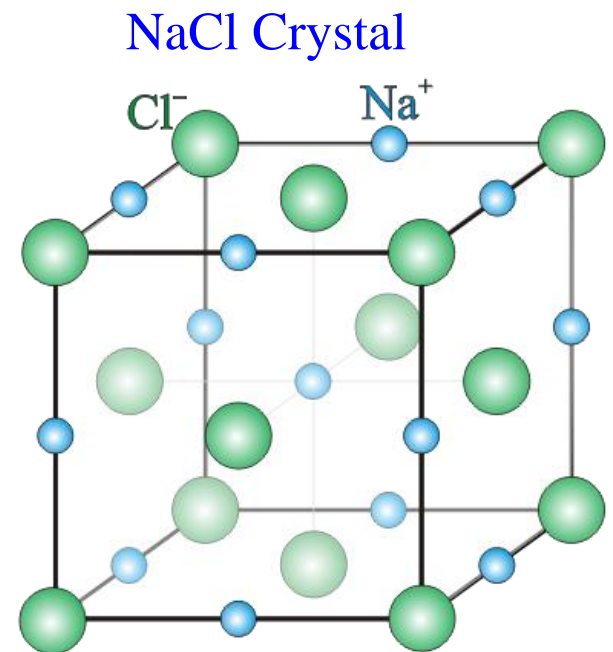
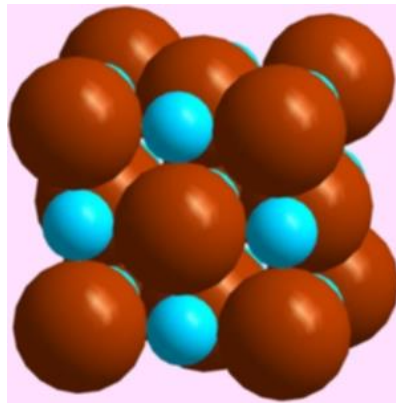
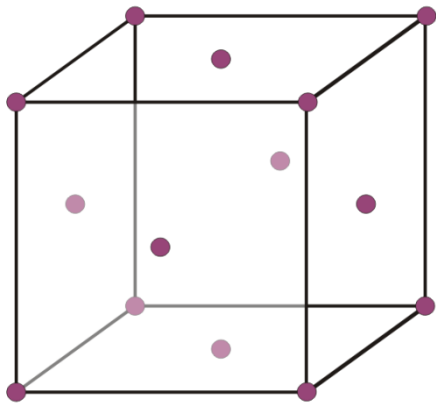
$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \gamma \neq \beta$$

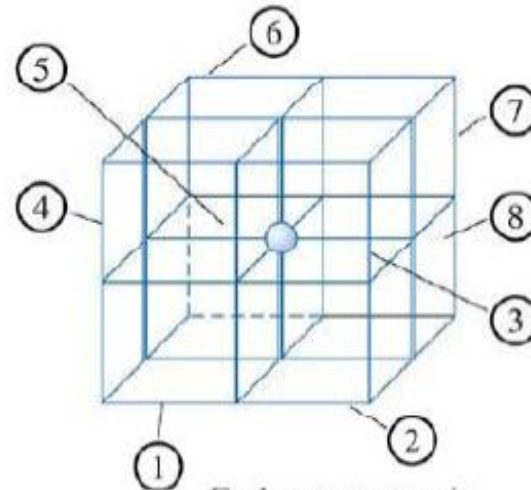
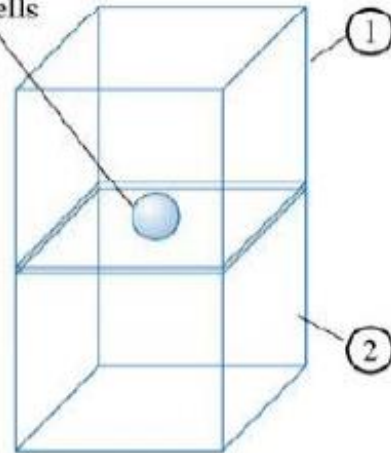




Face Centred Cubic (FCC) Lattice + Two Ion Motif

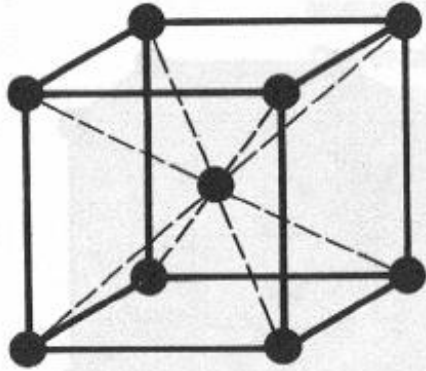


Face center atom  
shared between  
two unit cells

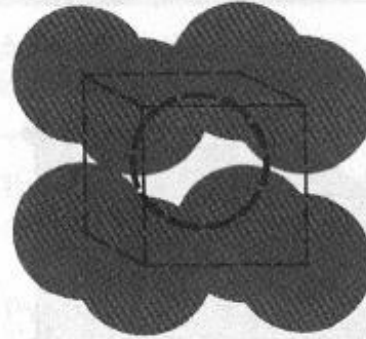


Each corner atom is  
shared by 8 unit cells  
(1-4 in front, 5-8 in back)

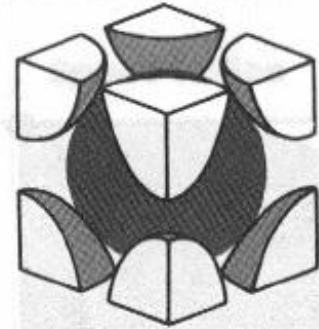
(a)



(a)

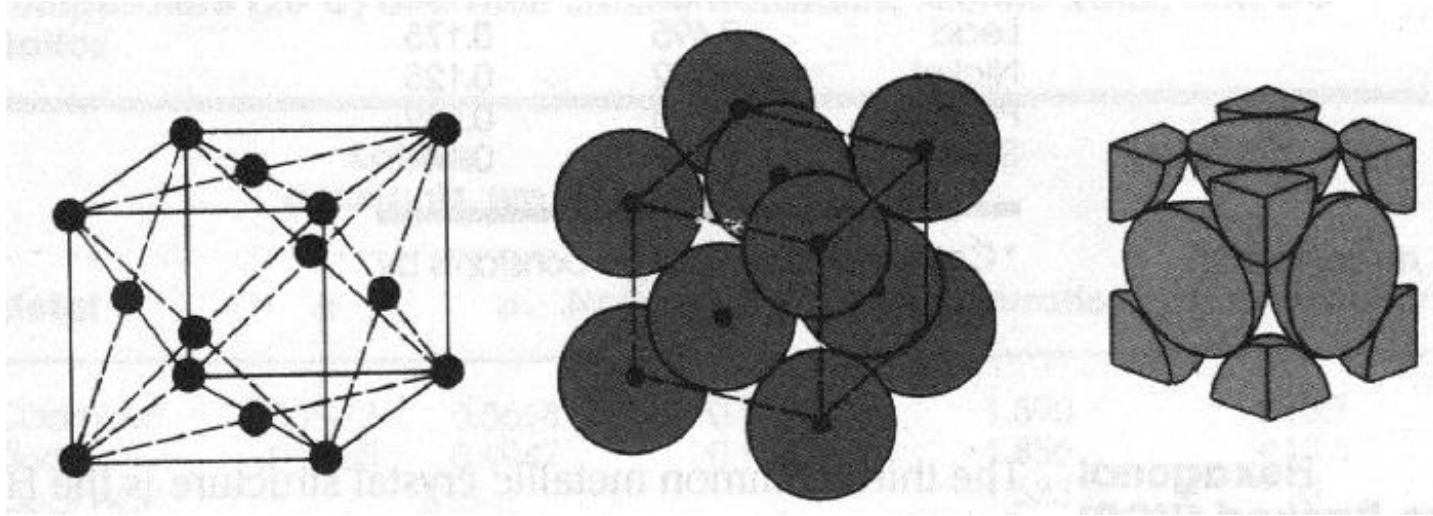


(b)



(c)

Merkezde 1 atom  
Köşelerde 8 adet  $1/8$  hacimli atom  $8 \times 1/8 = 1$   
Birim hücredeki toplam atom sayısı 2 olur.



Merkezde atom yok

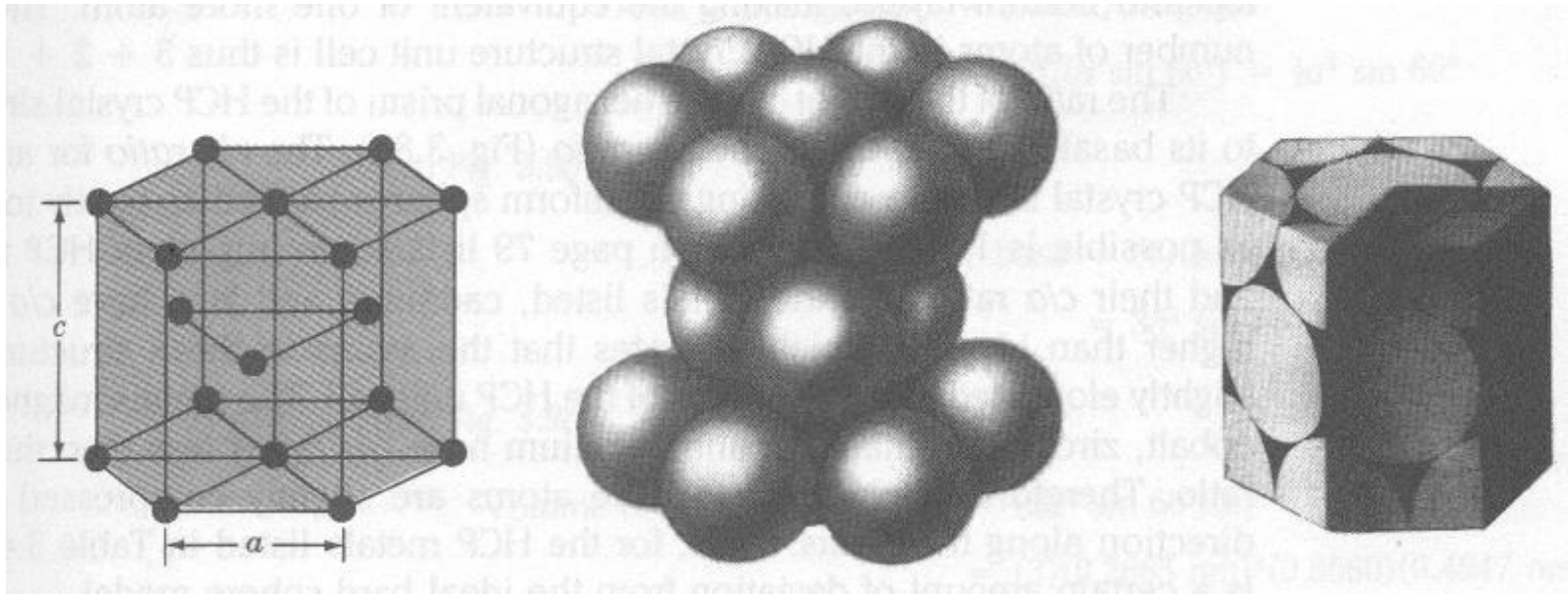
Yüzeylerde diğer yüzeyler ile paylaşılan yani yarım olarak kabul edilecek 6 adet atom var.

Dolayısı ile  $6 \times 1/2 = 3$  atom yüzeyden geliyor.

Her zamanki gibi birim kafesin özelliği olarak da köşelerden  $8 \times 1/8 = 1$  atom gelir.

Birim hücredeki toplam atom sayısı 4 olur.





Köşelerdeki atom sayısı =  $12 \times \frac{1}{6} = 2$

Alt ve üst yüzyede  $2 \times \frac{1}{2} = 1$

Birim hücre ortasında 3 adet atom

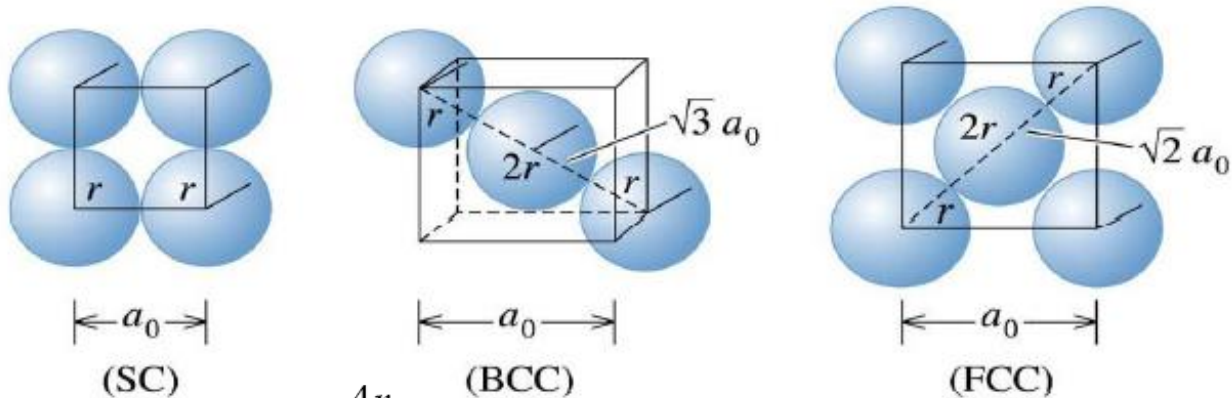
Birim hücredeki toplam atom sayısı 6 olur.

Atomların kristal düzlemindeki diziliş biçimi kafesi oluşturur.

Birim hücrenin boyutlarına kafes sabiti ( $a$ ) veya birim hücre boyutu denir.

Atomların diziliş sıklığını ifade etmek için atomsal dolgu faktörü kullanılır. ADF

$$ADF = \frac{\text{BirimHücredekiAtomlarınHacmi}}{\text{BirimHacim}}$$



$$a_0 = 2r$$

(SC)

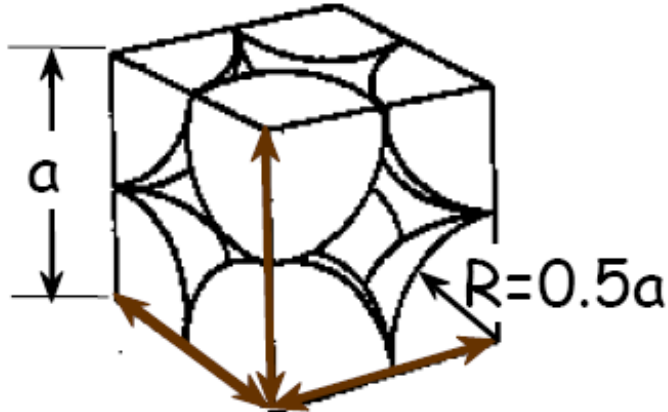
$$a_0 = \frac{4r}{\sqrt{3}}$$

(BCC)

(FCC)

$$a_0 = \frac{4r}{\sqrt{2}}$$

- ADF, BK hücreler için = 0,52 dir.



Sıkı-paket doğrultuları

içerik  $8 \times 1/8 =$  "1 Atom/Birim Hücre"

$$\text{ADF} = \frac{\text{Atomlar Birim hücre} \quad 1 \quad \frac{4}{3} \pi (0.5a)^3 \quad \text{Atom}}{a^3 \quad \text{hacim Birim hücre}}$$

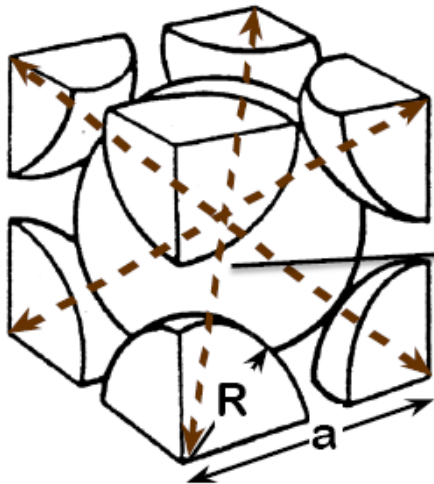
Hacim

Atom

hacim

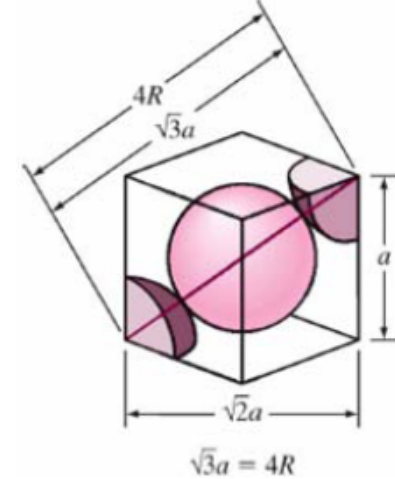
Birim hücre

## Hacim Merkezli Kübik Yapı için Atomik Dolu Faktörü



$$\sqrt{3}a = 4r$$

$$r = \frac{\sqrt{3}a}{4}$$



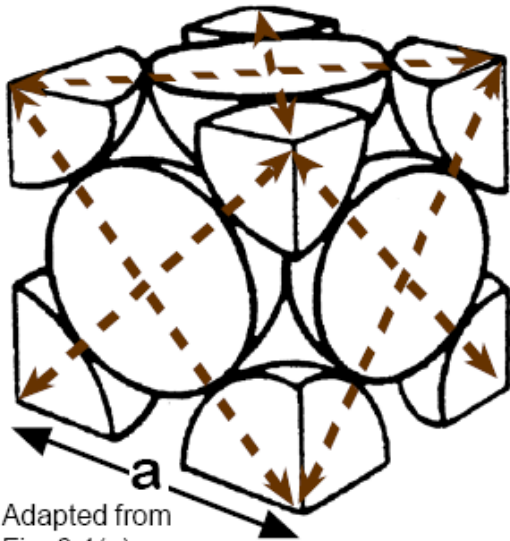
Birim Hücredeki Atom Sayısı =  $1 + 8 \frac{1}{8} = 2$

$$ADF = \frac{2 \frac{4}{3} \pi \left( \frac{\sqrt{3}a}{4} \right)^3}{a^3} = 0.68$$

Birim hücredeki atomların hacmi

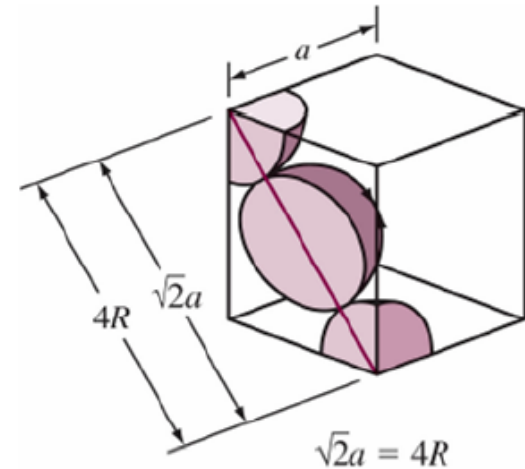
Birim hücrenin hacmi

### Yüzey Merkezli Kübik Yapı için Atomik Dolgu Faktörü



Adapted from  
Fig. 3.1(a),  
Callister 6e.

$$4r = \sqrt{2}a$$



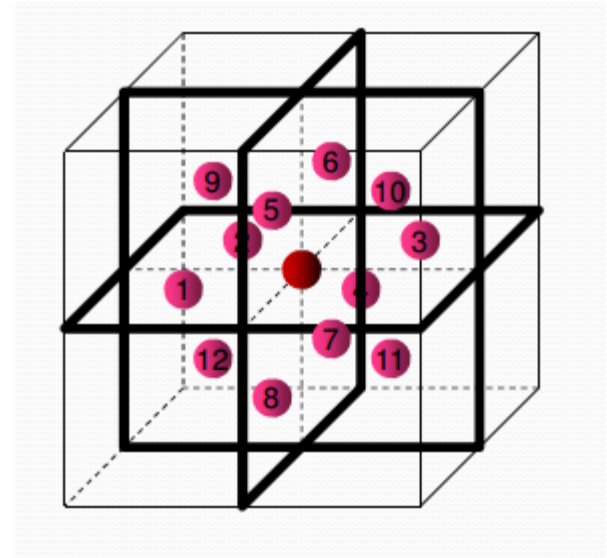
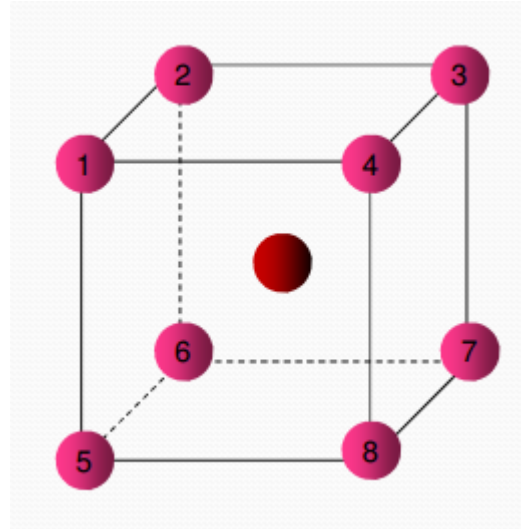
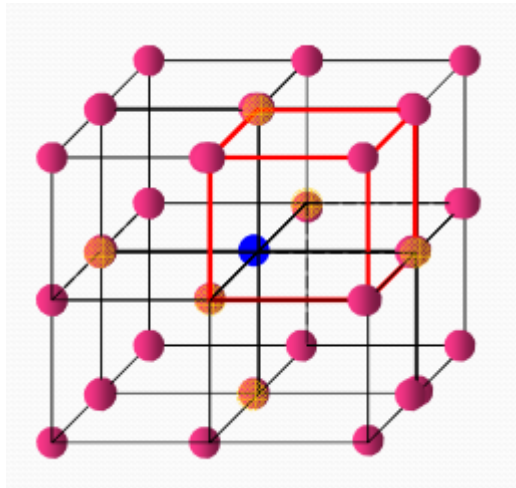
$$\text{Birim Hücredeki Atom Sayısı} = 6 \frac{1}{2} + 8 \frac{1}{8} = 4$$

$$\text{ADF} = \frac{4 \frac{4}{3} \pi \left( \frac{\sqrt{2}a}{4} \right)^3}{a^3} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 0.74$$

Basit kübik kafesin ADF'ü 0.52  
HMK'da 0,68  
YMK'da 0.74  
SPH' de 0.74 olarak bulunur.

Dolayısıyla YMK kafes sistemi de aslında sıkı düzenlidir. SPH ile YMK arasındaki fark, sadece atom dizilişi en sık olan düzlemlerin birbirini izleme sırasından kaynaklanır.

Koordinasyon sayısı, ne yakın komşu atom sayısı



Bir birim hücre içinde değişik doğrultularda atomlar arası uzaklık farklıdır. Bu farklılık bazı özelliklerin yöne bağımlı olduğunu gösterir. Buna kafes içi ANİZOTROPİ denir.

Fakat pratikte bu anizotropluk pek anlam taşımaz. Çünkü metaller çok kristallidir ve her bir kristal düzensiz ve farklı yönlenmiştir. Dolayısıyla malzemenin kütleli özellikleri yöne bağımlı olamaz (Bazı özel uygulamalar hariç)

Bir kaç metalde kristal yapı sıcaklığa bağılı olarak değişir ve belirli sıcaklık aralıklarında belirli kafes tipleri kararlı durumdadır. Bu özellik allotropluk (allotropi) veya polimorfluk (polimorfi) olarak adlandırılır.

Allotropluk için en önemli element demirdir, titanyum ise 882 0C'de sph'den hmk'ya dönüşür.



### Teorik yoğunluğun hesaplanması

$$\rho = \frac{n A}{V_c N_A}$$

# atoms/unit cell →  $n$  Atomic weight (g/mol) →  $A$   
Volume/unit cell (cm<sup>3</sup>/unit cell) →  $V_c$  Avogadro's number (6.023 × 10<sup>23</sup> atoms/mol) →  $N_A$

#### Example:

Determine the density of BCC iron, which has a lattice parameter of 0.2866 nm.

#### Solution:

Atoms/cell = 2,  $a = 0.2866 \text{ nm} = 2.866 \times 10^{-8} \text{ cm}$

Atomic mass = 55.847 g/mol

Volume of unit cell =  $a^3 = (2.866 \times 10^{-8} \text{ cm})^3 = 23.54 \times 10^{-24} \text{ cm}^3/\text{cell}$

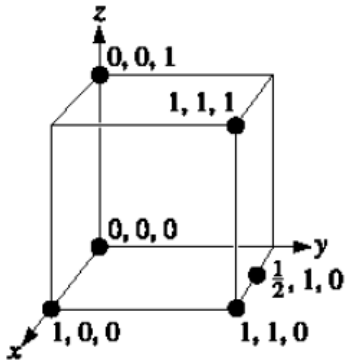
Avogadro's number  $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ atoms/mol}$

$$\rho = \frac{(2)(55.847)}{(23.54 \times 10^{-24})(6.02 \times 10^{23})} = 7.882 \text{ g/cm}^3$$

Atomların oturabileceği düzlemler, hareket edebileceği yönler vardır. Bu düzlemler ve yönler Miller indisleri ile tanımlanır. Bir birim hücrede ne kadar çok düzlem ve hareket yönü varsa plastik şekil verme kabiliyeti o kadar iyidir.

## Kafes Noktaları

Birim hücrelerde atom yerlerini belirlemek için birbirine dik x, y ve z eksenlerinden yararlanılır.



- **Kafes noktaları:** Atomların kafes içerisinde buldukları koordinatlarıdır (noktaların).
- Kafes noktaları; atomların uzayda buldukları koordinatların, birim **hücre boyutlarının katları** veya **kesirleri** şeklinde ifadesidir.
- Kesirli ifadeler bulunabilir.
- x,y,z veya xyz şeklinde ifade edilebilir.

Kristal kafeslerde belirli yönleri tanımlamak gerekir. Bu yönlenmelere bağlı olarak metal ve alaşımların özellikleri değişebilir. Metaller yakın temas halindeki atomlar doğrultusunda şekil değiştiriler.

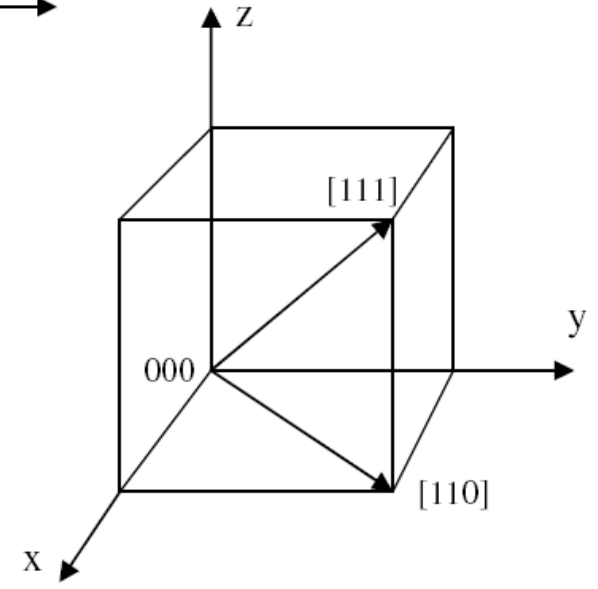
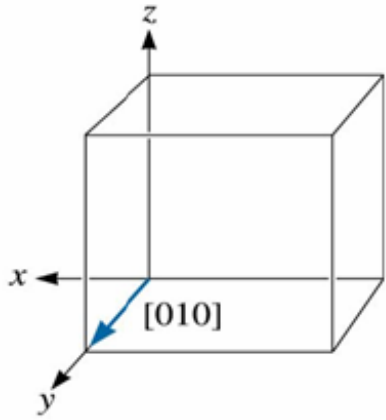
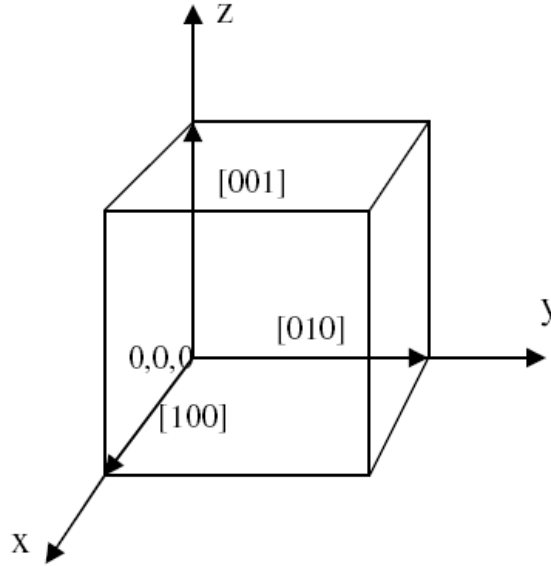
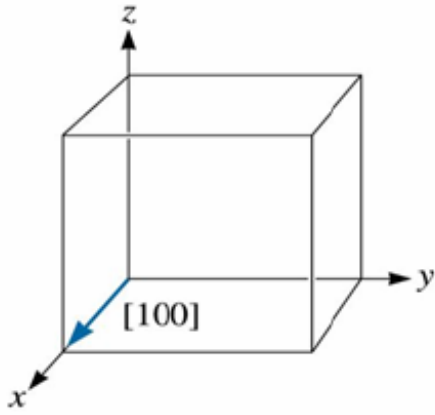
Doğrultu ve düzlemlerin ifade edilmesi için Miller indisleri kullanılır. Kübik bir birim hücrede yönü şekille göstermek için kübün bir köşesinden çıkıp yüzeyin birini geçen bir yön vektörünü çizeriz. Yön vektörünün küp yüzeyinden çıktığı yerlerin koordinatları tam sayılara dönüştürülerek birim hücrenin yön işaretleri elde edilir. Yön işaretleri köşeli parantez ile belirtilir ve virgülle ayrılmaz.

(1,0,0) noktasından çıkan yön vektörü [100] şeklinde gösterilir.

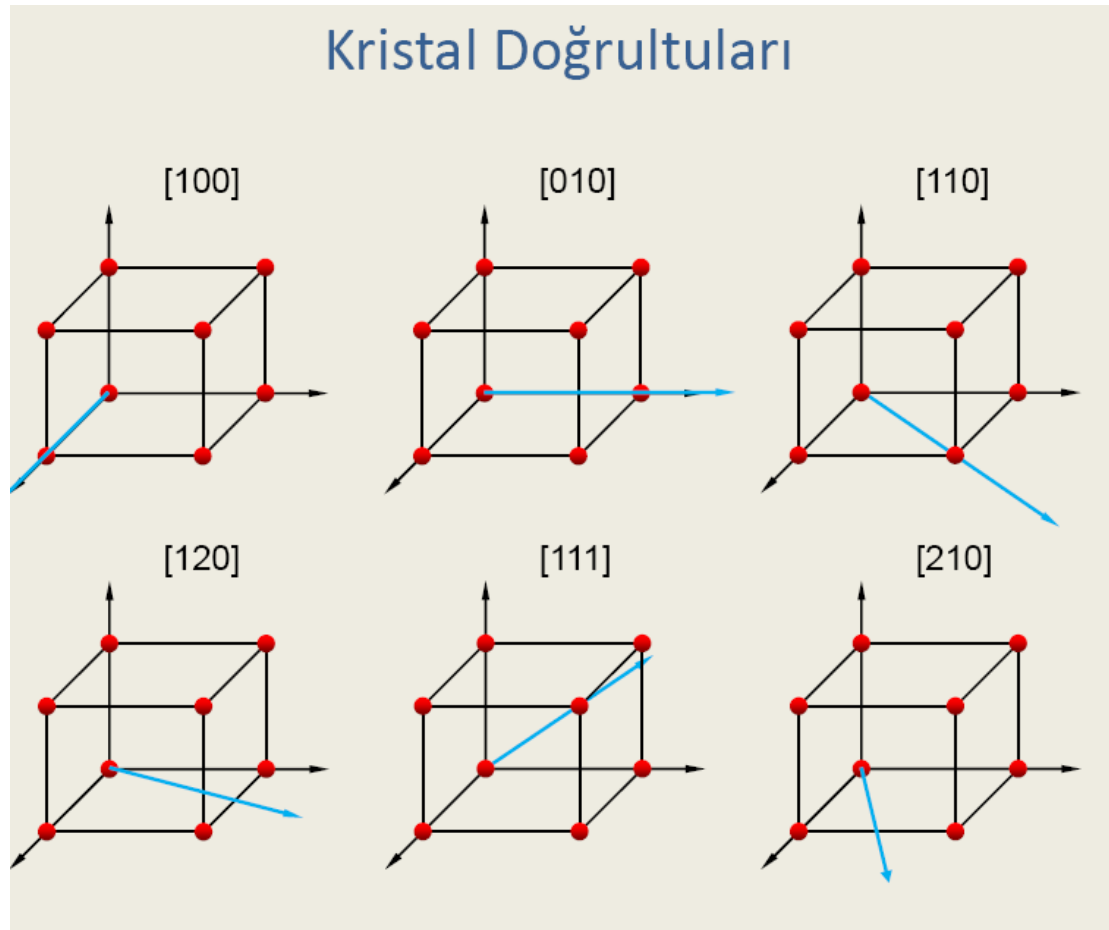
(1, ½, 0) noktasından çıkan yön vektörü  $2(1, \frac{1}{2}, 0) = [210]$  olacaktır.

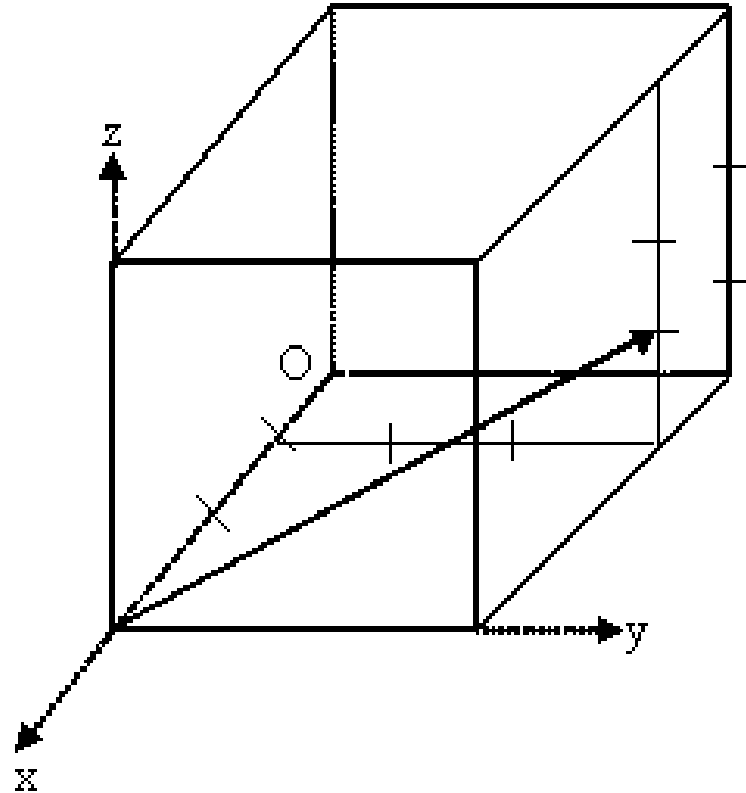
(-1, -2, 2) noktası için vektör  $[\bar{1} \bar{2} 2]$

Miller indisleri kesirli sayı ile ifade edilmez, gerektiğinde 2 ile çarpılarak tam sayıya çevrilir.



Büyük sayılardan oluşan indisler, en büyük indise bölünüp küçültülür





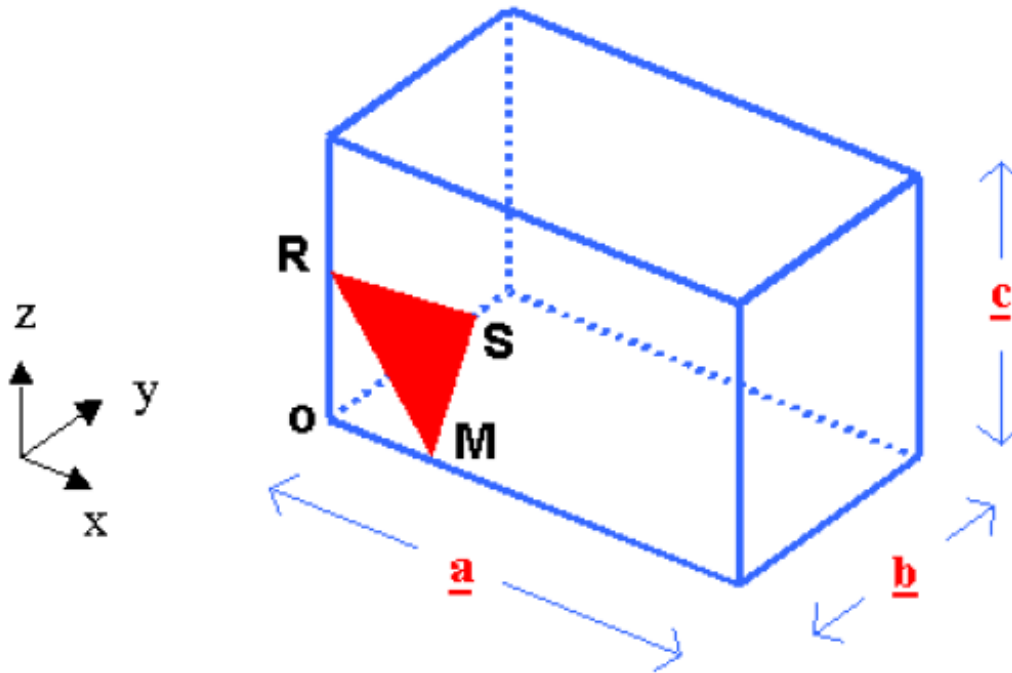
$[\bar{2}31]$  doğrusunun kübik sistemde çizimi.

Kristal kafelerde belirli düzlemleri tanımlamak gerekir. Metaller atomların çok sıkı paketleniği düzlemler boyunca şekil değiştirir.

Bir kristal düzleminin Miller işareti, düzlemin, kübün birim hücresinin paralel olmayan  $x$ ,  $y$  ve  $z$  kristal eksenlerini kestiği kesirli kesişme noktalarının kesirler tamsayıya çevrilerek bulunan karşılıklarıdır.

1.  $(0,0,0)$  daki başlangıç noktasından geçmeyen bir düzlem seçilir
2. Düzlemin, birim kübün  $x,y,z$  eksenlerini kestiği noktalar bulunur, kesişmeler kesirli olabilir
3. Bu kesişme sayılarının karşılıkları bulunur
4. Kesirler tamsayıya çevrilir ve kesişme sayılarıyla aynı oranda en küçük tamsayılar bulunur. Bu tamsayılar düzlemin Miller işaretleridir.

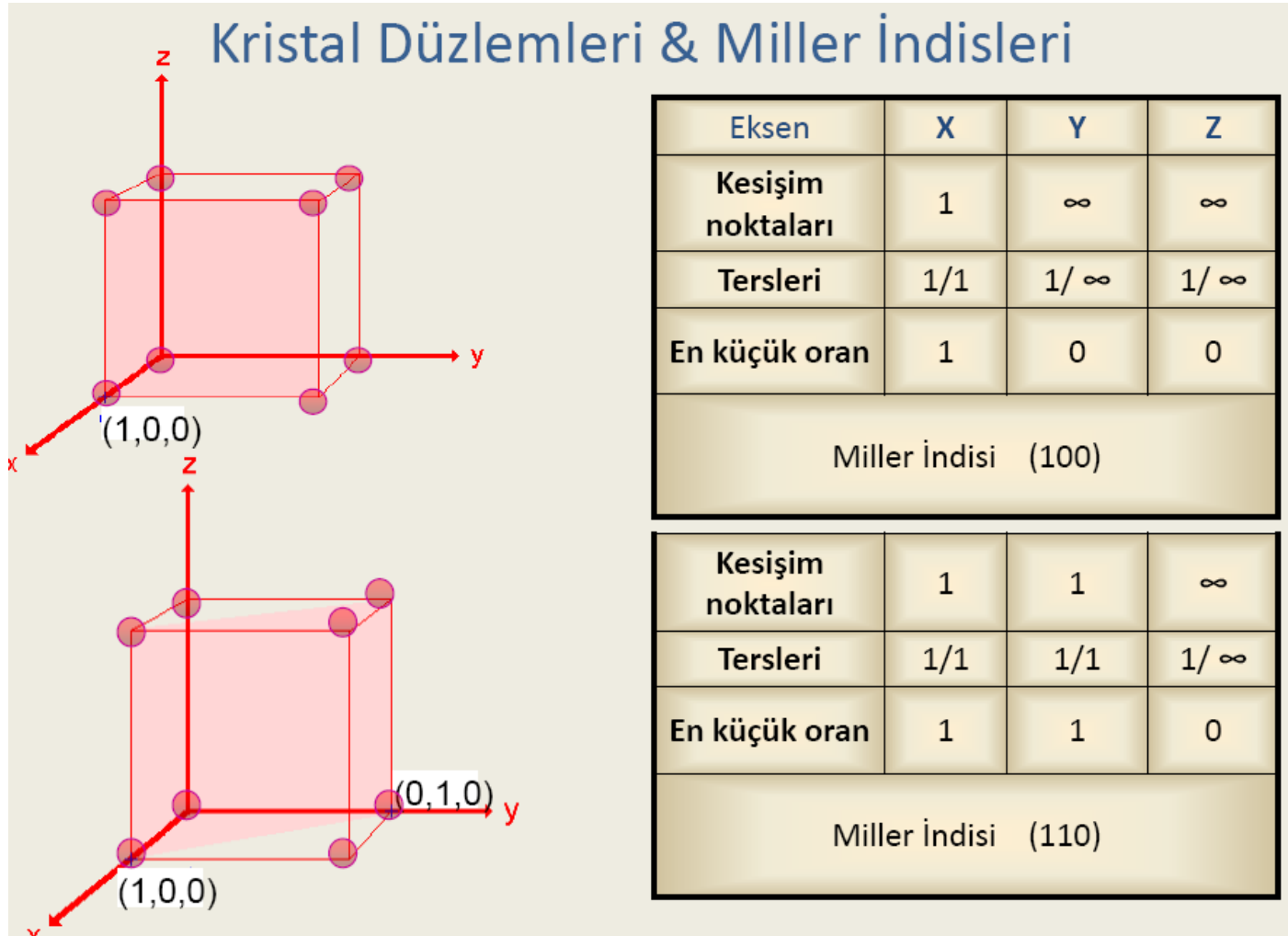




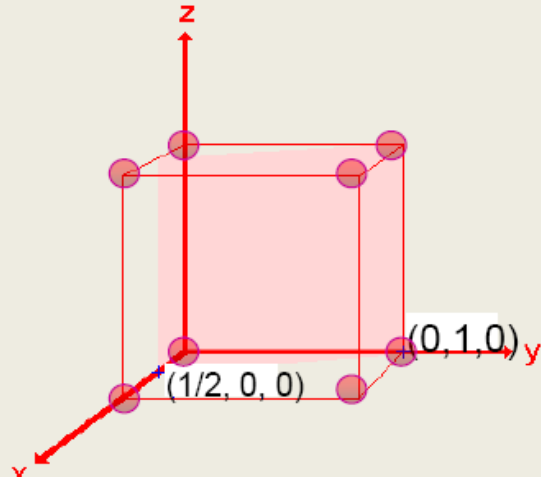
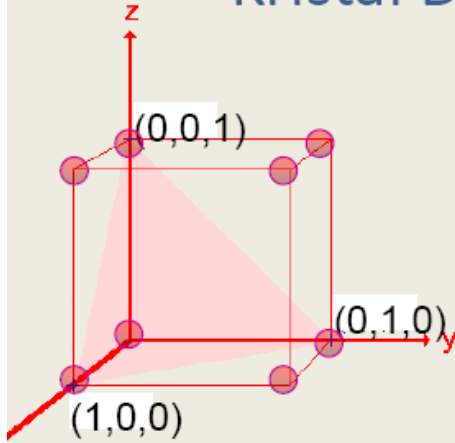
Kesen noktalar  
 $a, b, c: 1/4, 2/3, 1/2$

Tersleri alınır  
 $4, 3/2, 2$

En küçük tam sayıya  
indirgenir: **(8 3 4)**  
[gerekliyorsa]



### Kristal Düzlemleri & Miller İndisleri

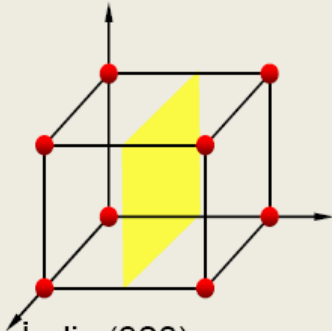


Eksen	X	Y	Z
Kesişim noktaları	1	1	1
Tersleri	1/1	1/1	1/1
En küçük oran	1	1	1
Miller İndisi (111)			

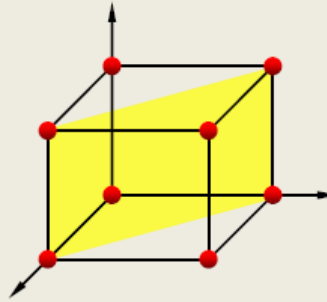
Kesişim noktaları	$\frac{1}{2}$	1	$\infty$
Tersleri	$1/(\frac{1}{2})$	1/1	$1/\infty$
En küçük oran	2	1	0
Miller İndisi (210)			

### Kristal Düzlemleri & Miller İndisleri

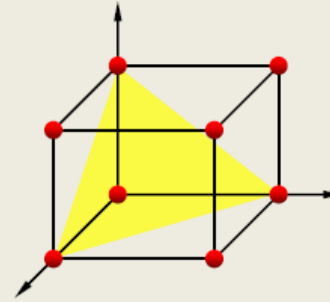
İndis:(020)  
Kesişim:( $\infty$ , 1/2,  $\infty$ )



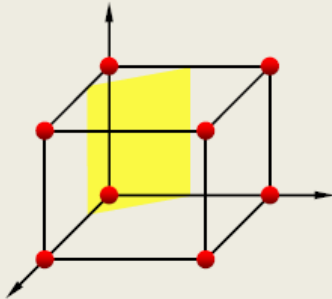
İndis:(110)  
Kesişim:(1, 1,  $\infty$ )



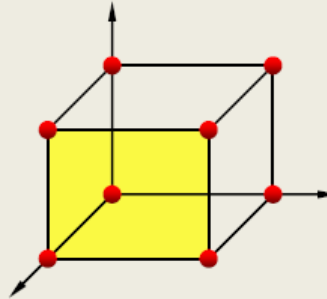
İndis:(111)  
Kesişim:(1, 1, 1)



İndis:(320)  
Kesişim: (1/3, 1/2,  $\infty$ )



İndis:(100)  
Kesişim : (1,  $\infty$ ,  $\infty$ )



İndis:(010)  
Kesişim : ( $\infty$ , 1,  $\infty$ )

