Solid-state Physics

(S.Y. B.Sc.)

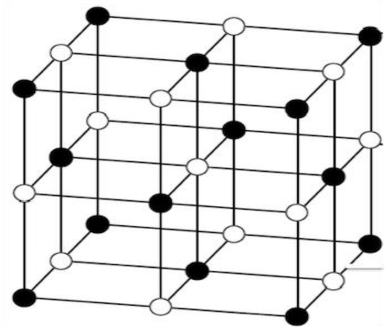
Jatin Patel Sir

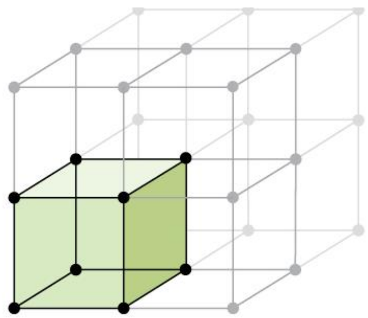
Solid-state Physics

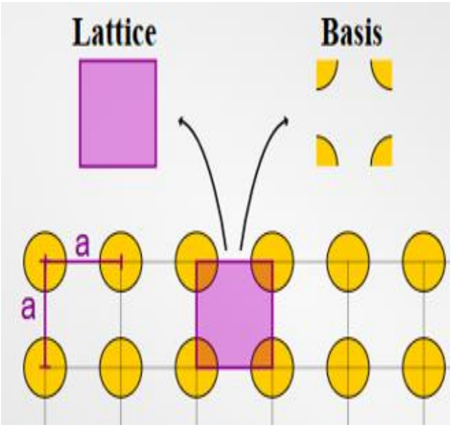
- Condensed-matter physics એ પદાર્થોનો તેમની ઘન સ્થિતિમાં અભ્યાસ છે. આમાં સ્ફટિકીય ઘન પદાર્થો crystalline solids કે જેમાં પરમાણુઓ પુનરાવર્તિત ત્રિ-પરિમાણીય lattice પર સ્થિત હોય છે જેમકે હીરો. અને આકારહીન પદાર્થો amorphous materials જેમાં અણુ સ્થિતિ વધુ અનિયમિત હોય છે, જેમ કે કાચમાં.

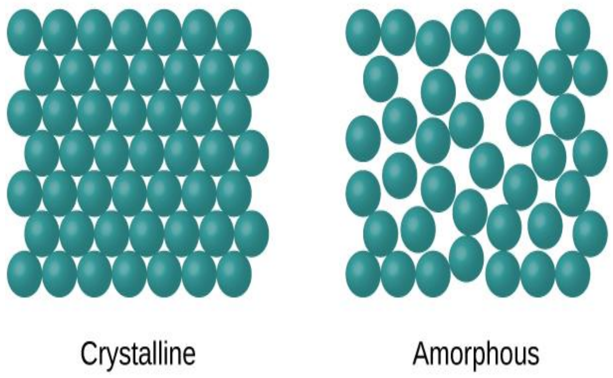
- એક single crystalline solidમાં, નિયમિત ક્રમ સમગ્ર સ્ફટિક પર વિસ્તરે છે. જોકે, polycrystalline solidમાં, નિયમિત ક્રમ ફક્ત સ્ફટિકના નાના પ્રદેશ પર જ અસ્તિત્વ ધરાવે છે, જે થોડા સો એંગસ્ટ્રોમથી લઈને થોડા સેન્ટિમીટર સુધીનો હોય છે.

- lattice એ અવકાશમાં સમાન બિંદુઓની નિયમિત ત્રિ-પરિમાણીય ગોઠવણી છે જે દર્શાવે છે કે સ્ફટિકના અણુઓ, આયનો અને પરમાણુઓ કેવી રીતે રચાયેલ છે.
- Unit cell એ Crystal lattice નો સૌથી નાનો ઘટક છે, જે વિવિધ દિશામાં પુનરાવર્તિત થાય ત્યારે સમગ્ર Crystal lattice બનાવે છે.


Crystal lattice

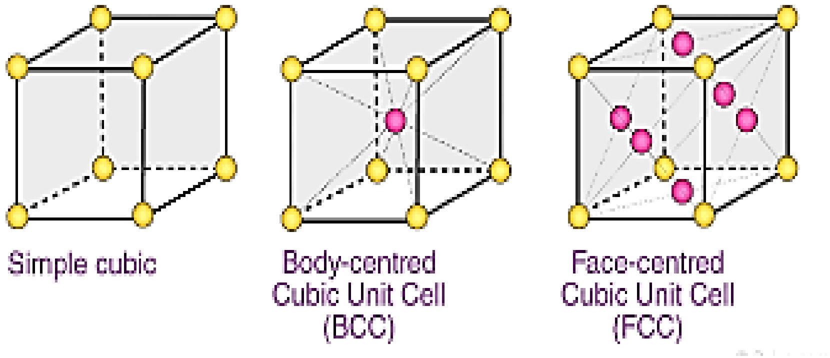

Unit cell

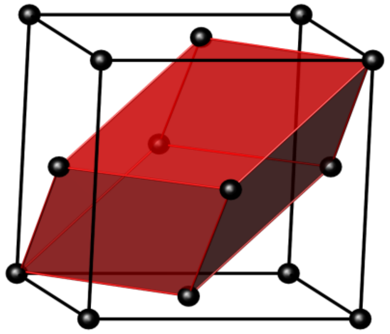




• Unit cell, અથવા સ્ફટિકનો બિલ્ડીંગ બ્લોક, સ્ફટિક જાળીમાં સૌથી નાનો પુનરાવર્તિત એકમ છે અને Primitive cell એક single lattice pointને અનુરૂપ Unit cell છે, તે સૌથી નાનો શક્ય Unit cell છે.

• તે ત્રણ પ્રકારના હોય છે. Simple cubic (S.C.), body-centered cubic (B.C.C.), or face-centered cubic (F.C.C.)





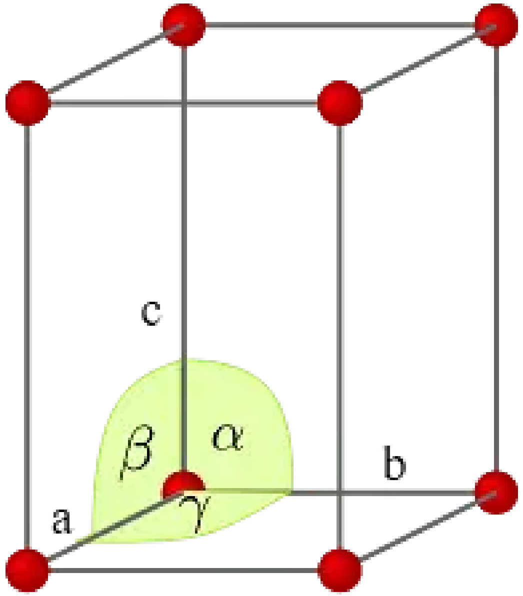
Primitive cell

- Basis એ દરેક Lattice point સાથે સંકળાયેલા પરમાણુઓ છે.

- Lattice + Basis = Crystal

- Bravais Lattice એ Unit cellની અંદર પરમાણુઓની ગોઠવણીની એક System છે જે બ્રેવાઈસ દ્વારા અવલોકીત કરવામાં આવ્યું છે છે. કુલ 7 Crystal System છે જેમાં વિવિધ સંભવિત સંયોજનો છે જે 14 શક્ય બ્રેવાઈસ લેટીસ તરફ દોરી જાય છે.

Crystal System	*Axial Lengths and angles*	*Unit cell*	*Number of Lattices*
Cubic	$a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$	A cube	3
Tetragonal	$a = b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$	A square based right prism	2
Orthorhombic	$a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$	A rectangular based right prism	4
Rhombohedra	$a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^o$	A Rhombohedron	1
Hexagonal	$a = b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$	A rhombus based right angles	1
Monoclinic	$a \neq b \neq c$, $\alpha = \gamma = 90^o \neq \beta$	A parallelepiped based right prism	2
Triclinic	$a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^o$	A parallelepiped	1



primitive

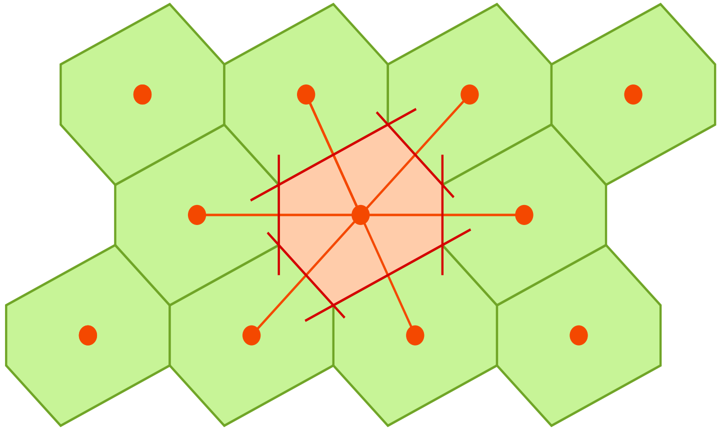
- Miller Indices એ સ્ફટિક સમતલો (Crystal planes) નું ગાણિતિક સ્વરૂપ છે. મિલર અંકો, ત્રણ સંખ્યાઓનો સમૂહ છે જે પરમાણુઓના સમતલ અથવા સમાંતર સમતલોના સમૂહ સ્ફટિકમાં કઈ રીતે ગોઠવાયેલા છે તે સૂચવે છે.

- ઉદાહરણ તરીકે, બે અક્ષોને સમાંતર પરંતુ Unit cell એક ધાર જેટલી લંબાઈ પર ત્રીજા અક્ષને કાપતો સમતલ, કાપેલા અક્ષના આધારે (100), (010) અથવા (001)ના મિલર અંકો ધરાવે છે; અને Unit cellની ધાર જેટલી લંબાઈ પર ત્રણેય અક્ષોને કાપતો સમતલ, (111)ના મિલર અંકો ધરાવે છે. તે (h k l) દ્વારા સૂચવવામાં આવે છે.

- જો h+k+l = Even number (બેકી) , તો આ સ્ફટિક BCC છે. જો h, k, & l are all even or odd, (Zeroને બેકી લેવો.) તો આ સ્ફટિક FCC.

SC માં દરેક સમતલ પરથી Diffrection મળશે.

- **Wigner-Seitz cell Lattice બિંદુને અન્ય તમામ Lattice બિંદુઓ સાથે જોડીને અને આ જોડતી રેખાઓ પર લંબરૂપ સમતલોને દોરીને અને તેમના મધ્યબિંદુઓમાંથી પસાર થઈને મેળવવામાં આવે છે.**



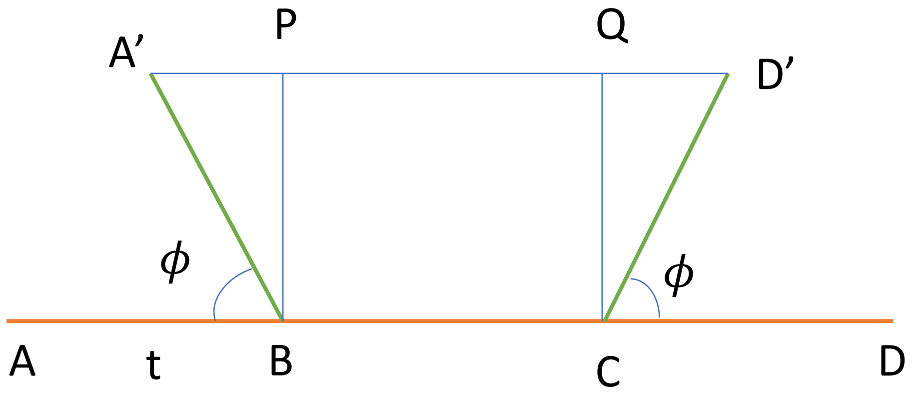
- **SYMMETRY OPERATIONS (સમપ્રમાણતા ક્રિયાઓ) :**

✓ સ્ફટિકની આંતરિક સ્ફટિક રચના નક્કી કરવા માટે સમપ્રમાણતાનો ઉપયોગ થાય છે.

✓ જો પ્રક્રિયા (પરિભ્રમણ) પછી સ્ફટિકનો આકાર મૂળ સ્ફટિક જેવો દેખાય છે, તો તે સમપ્રમાણતા ક્રિયાઓ છે.

✓ જો પ્રક્રિયા કોઈ પછી સ્ફટિકનો આકાર $T = n_1 a + n_2 b + n_3 c$ પ્રમાણે મૂળ સ્ફટિક જેવો દેખાય, તો તે Translational સમપ્રમાણતા ક્રિયાઓ છે. જ્યાં n_1, n_2, n_3 = પૂર્ણાંક અંક અને a,b,c = પ્રિમિટીવ મૂળભૂત સદિશ

✓ જો $\theta = \frac{2\pi}{n}$ પરિભ્રમણ પછી સ્ફટિકનો આકાર મૂળ સ્ફટિક જેવો દેખાય છે, તો તે Rotational સમપ્રમાણતા ક્રિયાઓ છે. અને પરિભ્રમણ અક્ષને ફોલ્ડ કહેવામાં આવે છે જે n દ્વારા દર્શાવવાંમાં આવે છે.



• 5 Fold not possible

$\boxed{A'D' = mt,\ m = \text{integer}}$

A'D' = A'P + PQ + QD' = mt

A'P + t + QD' = mt

Angle PBA' = 90^0 - ϕ

$\sin(90^0 - \phi) = \frac{A'P}{A'B}$

$\cos\phi = \frac{A'P}{t}$

A'P = $t\cos\phi$, lly, QD' = $t\cos\phi$

$t\cos\phi + t + t\cos\phi = mt$

$m = 2\cos\phi + 1$

$\cos\phi = \frac{m-1}{2}$

m = 0, $\cos\phi = \frac{-1}{2}$, $\phi = 120^0$, $n = \frac{360^0}{\phi} = 3$

m = 1, $\cos\phi = 0$, $\phi = 90^0$, $n = \frac{360^0}{\phi} = 4$

m = -1, $\cos\phi = -1$, $\phi = 180^0$, $n = \frac{360^0}{\phi} = 2$

m = 2, $\cos\phi = \frac{1}{2}$, $\phi = 60^0$, $n = \frac{360^0}{\phi} = 6$

m = -2, $\cos\phi = \frac{-3}{2}$, Not in cosine function

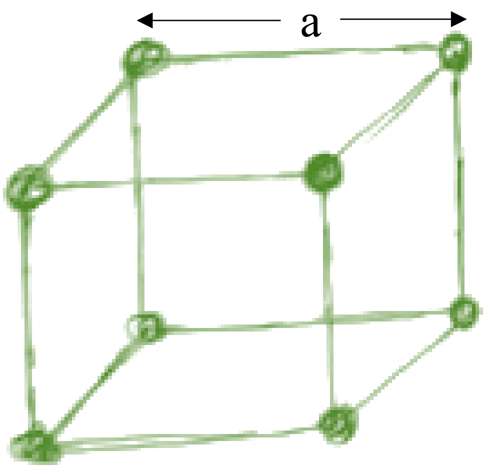
m = 3, $\cos\phi = 1$, $\phi = 360^0$, $n = \frac{360^0}{\phi} = 1$

m = 4, $\cos\phi = \frac{3}{2}$, Not in cosine function

n = 1 fold then it is Identity axis.
n = 2 fold then it is diad axis.
n = 3 fold then it is triad axis.
n = 4 fold then it is tetrad axis.
n = 6 fold then it is hexad axis.

$\cos\phi$નો વિસ્તાર – [−1,1]

✓ SIMPLE CUBIC -



- Vertex (શિરોબિંદુઓ પર)– 08, Face (સપાટી પર)– 00, અંદરની બાજુએ - 00
- Unit cell દીઠ અણુઓની સંખ્યા,

$$N = \frac{N_V}{8} + \frac{N_F}{2} + N_I$$

$$N = \frac{8}{8} + 0 + 0$$

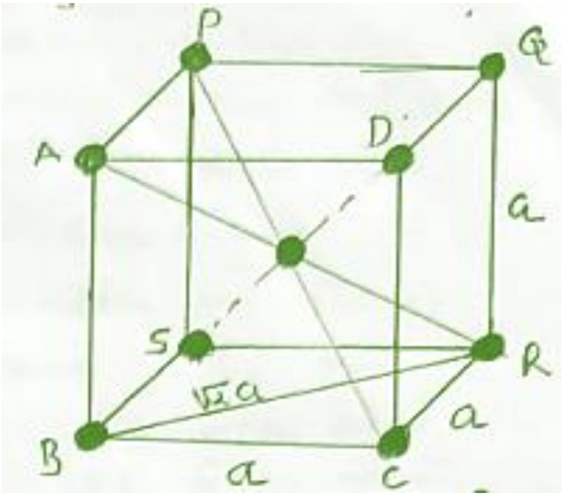
N = 1

✓બે ક્રમિક લેટિસ બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર - $a = 2r$;   જ્યાં, r = અણુંની ત્રિજ્યા, તો $r = \frac{a}{2}$

✓ પેકિંગ ફ્રેક્શન = $\frac{\text{અણુંનું કદ}}{\text{યુનિટસેલનું કદ}} = \frac{1 \, X \, \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3} = 0.52$

S.C. યુનિટ સેલમાં 52 % અણુઓ અને 48 % ખાલી જગ્યા હોય છે.

✓ BODY CENTERED CUBIC -

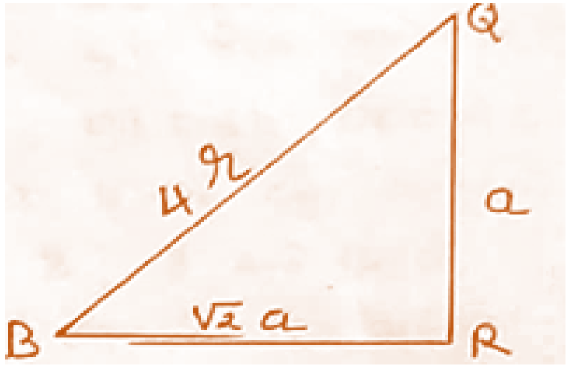


- Vertex (શિરોબિંદુઓ પર)– 08, Face (સપાટી પર)– 00, અંદરની બાજુએ - 01
- Unit cell દીઠ આણુઓની સંખ્યા, $N = \frac{N_V}{8} + \frac{N_F}{2} + N_I$

$$N = \frac{8}{8} + 0 + 1$$

$$N = 2$$

✓ સપાટી પરનો વિકર્ણ - $\sqrt{2}a$, યુનિટ સેલની અંદરનો વિકર્ણ– 4r, બે ક્રમિક લેટિસ બિંદુઓ વચ્ચેનું અંતર - a



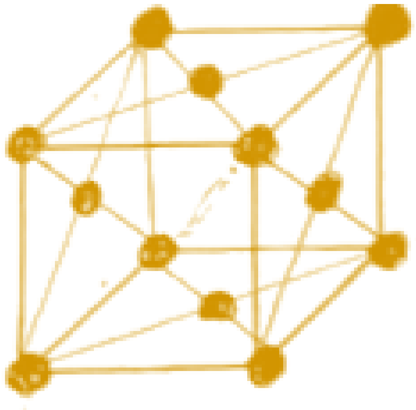
$$4r^2 = a^2 + \left(\sqrt{2}a\right)^2$$

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

✓ પેકિંગ ફ્રેક્શન = $\frac{\text{આણુંનું કદ}}{\text{યુનિટસેલનું કદ}} = \frac{2 X \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3} = 0.68$

B.C.C. યુનિટ સેલમાં 68 % આણુઓ અને 32 % ખાલી જગ્યા હોય છે.

✓ FACE CENTERED CUBIC -



- Vertex (શિરોબિંદુઓ પર)– 08, Face (સપાટી પર)– 06, અંદરની બાજુએ - 01
- Unit cell દીઠ આણુઓની સંખ્યા,

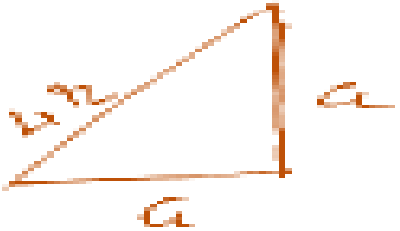
$$N = \frac{N_V}{8} + \frac{N_F}{2} + N_I$$

$$N = \frac{8}{8} + \frac{6}{2} + 0$$

N = 3

$$4r^2 = a^2 + a^2$$

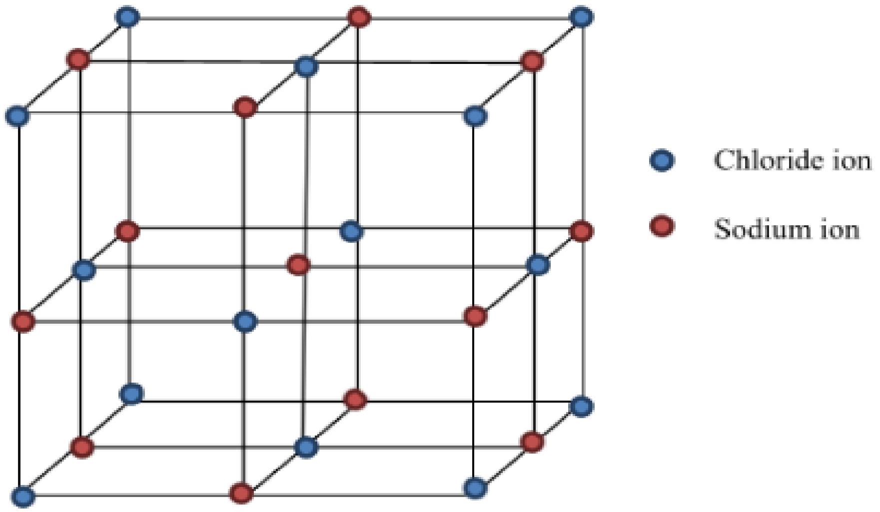
$$r = \frac{\sqrt{2}}{4} a$$



✓ પેકિંગ ફ્રેકશન = $\frac{\text{આણુંનું કદ}}{\text{યુનિટસેલનું કદ}} = \frac{3 \, X \, \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3} = 0.74$

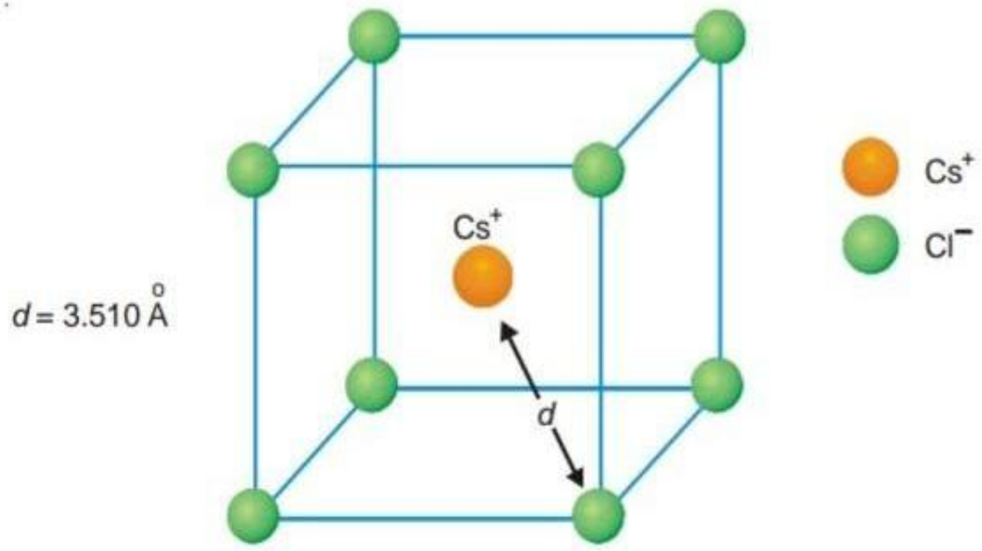
F.C.C. યુનિટ સેલમાં 74 % આણુઓ અને 26 % ખાલી જગ્યા હોય છે.

- NaCl Structure -



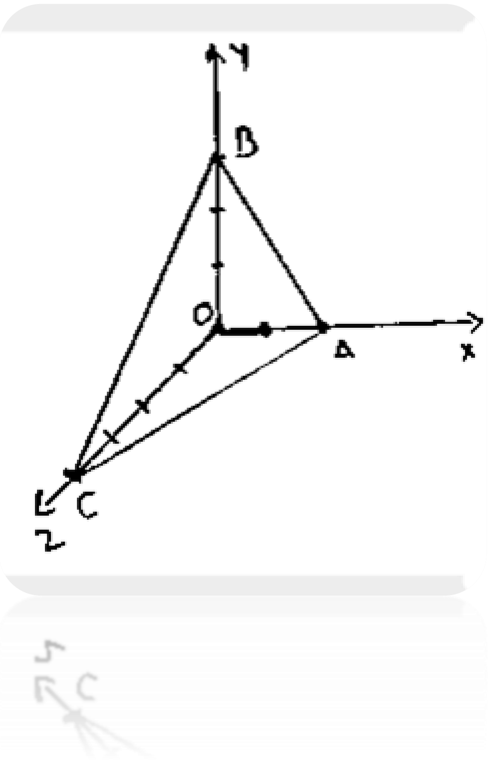
- Type – F.C.C.

- CsCl Structure -



- Type – B.C.C.

Miller Indices -



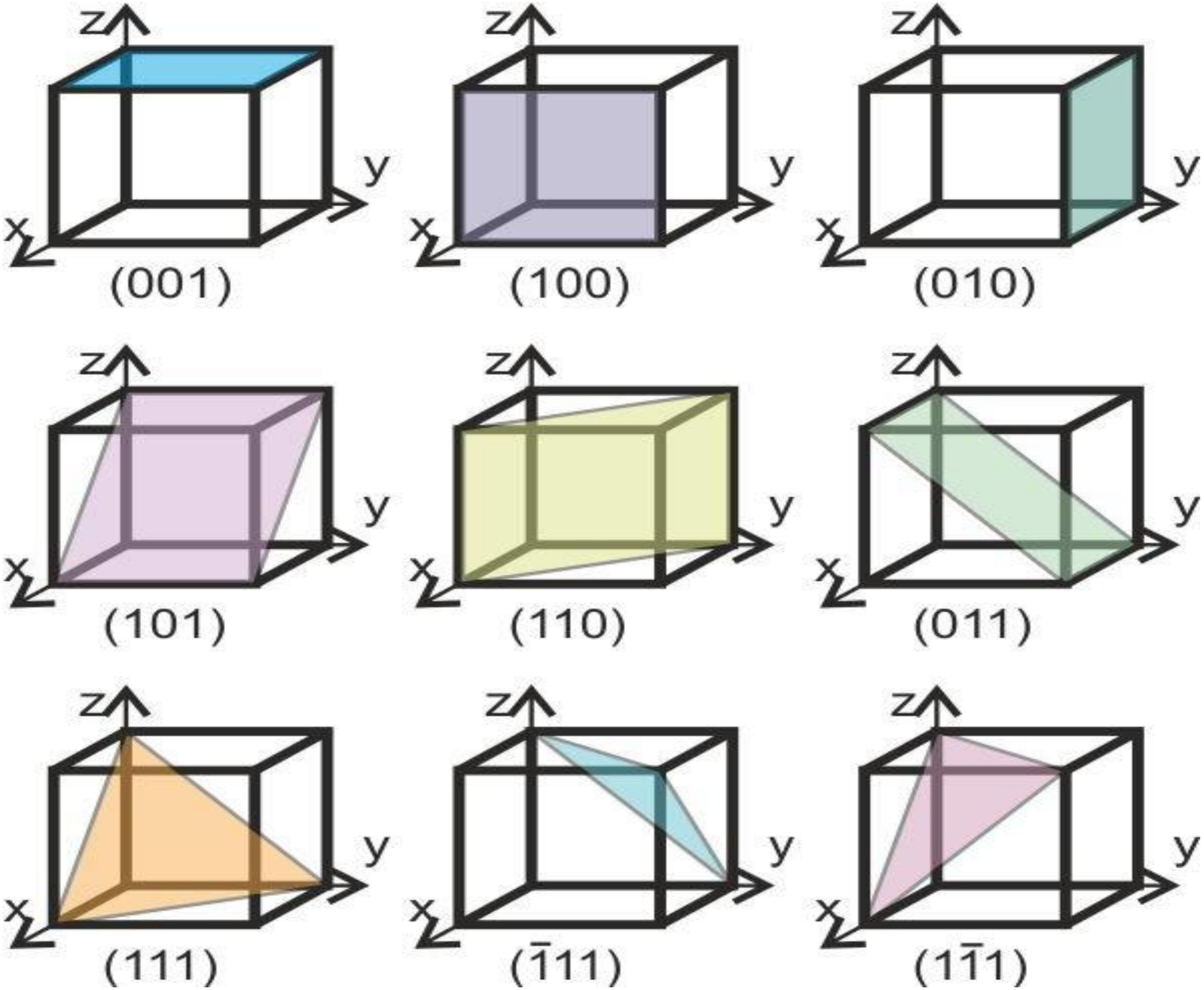
- ધારો કે, પ્લેન ABC X અક્ષને 2a ના અંતરે કાપે છે, Y **અક્ષને** 3b ના અંતરે કાપે છે અને Z અક્ષને 4c ના અંતરે કાપે છે. 2,3અને 4 ની લ.સા.અ. 12 છે..

હવે, $\{ \frac{1}{2} X\ 12, \frac{1}{3} X\ 12, \frac{1}{4} X\ 12 \} = (6\ 4\ 3) = (h\ k\ l)$

જો Plane અક્ષને સમાંતર હોય તો તે અનંત અંતરે અક્ષને કાપે છે તેવી અનુમાન લેતા $\frac{1}{\infty} = 0$.

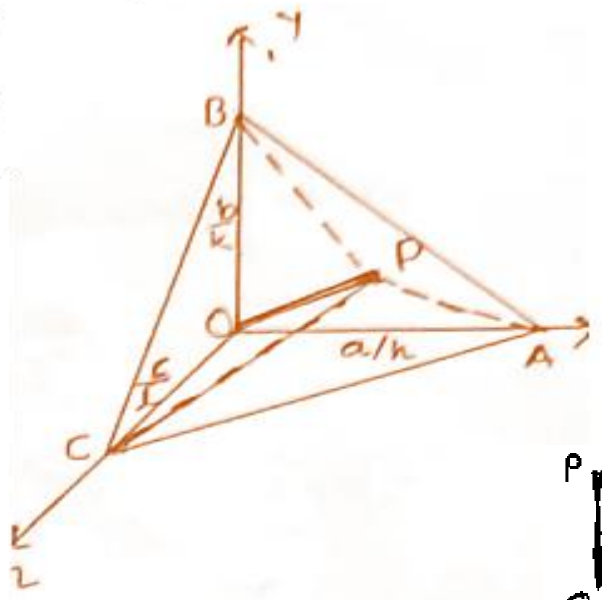
જો ઋણ અક્ષ હોય તો તેને બાર ચિન્હ વડે દર્શાવાય છે.

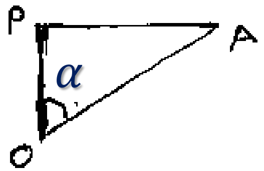
<h k l> = Equivalent Miller indices (સમતુલ્ય સમતલ દર્શાવવાં), [h k l] = Direction of crystal (સ્ફટિક દિશા દર્શાવવાં).



z
y
x
(001)
(100)
(010)
(101)
(110)
(011)
(111)
($\bar{1}$11)
(1$\bar{1}$1)

✓ INTERPLANAR SPACING FOR ORTHORHOMBIC -





$OA = \frac{a}{h}$, $OB = \frac{b}{k}$, $OC = \frac{c}{l}$

$\boxed{OP = d}$

Δ OPA માં $\text{Cos}\alpha = \frac{OP}{OA}$

$$\boxed{\text{Cos}\alpha = \frac{d}{\frac{a}{h}} = \frac{dh}{a}}$$

Δ OPB માં $\text{Cos}\beta = \frac{dk}{b}$ અને Δ OPC માં $\text{Cos}\gamma = \frac{dl}{c}$

$$\text{Cos}^2\alpha + \text{Cos}^2\beta + \text{Cos}^2\gamma = 1$$

$$\frac{d^2h^2}{a^2} + \frac{d^2k^2}{b^2} + \frac{d^2l^2}{c^2} = 1$$

$$d^2 = \frac{1}{\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2}{b^2}+\frac{l}{c^2}} \qquad d = \frac{1}{\sqrt{\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2}{b^2}+\frac{l^2}{c^2}}}$$

Orthorhombic $a = b \neq c$

$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

$$\boxed{d = \frac{1}{\sqrt{\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2}{a^2}+\frac{l^2}{c^2}}}}$$

S.C. $a = b = c$

$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

$$\boxed{d = \frac{a}{\sqrt{a^2+k^2+l^2}}}$$