એકમ

1

ઘન અવસ્થા (The Solid State)

હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- ઘન અવસ્થાની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ વર્ણવી શકશો.
- અસ્ફટિકમય અને સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો વચ્ચે ભેદ પાડી શકશો.
- સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોનું તેમના બંધન બળોના સ્વભાવ(પ્રકૃતિ)ના આધારે વર્ગીકરણ કરી શકશો.
- સ્ફટિક લેટિસ અને એકમ કોષને વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- કણોનું સંવૃત સંકુલન સમજાવી શકશો.
- જુદા જુદા પ્રકારના છિદ્રો અને સંવૃત સંકુલન રચના વર્ણવી શકશો.
- જુદા જુદા પ્રકારના સમઘનીય એકમ કોષોની સંકુલન ક્ષમતા ગણી શકશો.
- પદાર્થની ઘનતા અને તેના એકમ કોષના ગુણધર્મો વચ્ચે સહસંબંધ સમજાવી શકશો.
- ઘન પદાર્થોમાં અપૂર્ણતા વર્ણવી શકશો અને તેની ગુણધર્મો પર અસર વર્ણવી શકશો.
- ઘન પદાર્થોના વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય ગુણધર્મો અને તેમની રચના વચ્ચે સહસંબંધ સમજાવી શકશો.

"ઉચ્ચ તાપમાન અતિવાહકો, જૈવ સુસંગત પ્લાસ્ટિક, સિલિકોન ચિપ્સ વગેરે જેવા ઘન પદાર્થોની અતિશય વિપુલતાનું ભવિષ્ય વિજ્ઞાનના ભાવિ વિકાસમાં વિસ્તૃતતાથી અગત્યનો ફાળો સદા સમાયેલ છે."

આપણા અગાઉના અભ્યાસ પરથી આપણે જાણીએ છીએ કે પ્રવાહીઓ અને વાયુઓ તેમની વહન પામવાની ક્ષમતાને કારણે દ્રવ (fluid) કહેવાય છે. આ બંને અવસ્થાઓની વહનશીલતા પાછળની હકીક્ત એ છે કે તેમાં અણુઓ આમ તેમ હરવા - ફરવા માટે મુક્ત હોય છે. તેનાથી વિપરીત, ઘન પદાર્થોના ઘટક કણોનાં સ્થાન નિશ્ચિત હોય છે અને તેમના સરેરાશ સ્થાન (mean position)ની આસપાસ દોલન કરી શકે છે. આ બાબત ઘન પદાર્થોની જડતા (દૃઢતા) સમજાવે છે. આ ગુણધર્મો ઘટક કણોનાં સ્વભાવ તથા તેમની વચ્ચે પ્રવર્તતા બંધન બળો પર આધારિત હોય છે. બંધારણ (રચના) અને ગુણધર્મો વચ્ચેનો સહસંબંધ ઇચ્છિત ગુણધર્મોવાળાં નવા ઘન પદાર્થોની શોધ કરવામાં મદદરૂપ બને છે. દાખલા તરીકે કાર્બન નેનોટ્યુબ (carbon nanotubes) આવાં નવા પદાર્થો છે. જે સ્ટીલ કરતાં મજબૂત (tough), એલ્યુમિનિયમ કરતાં હલકાં અને કૉપર કરતાં વધુ વાહકતાનો ગુણ ધરાવતા દ્રવ્યો પૂરા પાડવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. આવા પદાર્થો વિજ્ઞાન અને સમાજના ભાવિ વિકાસમાં વિસ્તૃત ભૂમિકા ભજવી શકે છે. ભવિષ્યમાં અગત્યનો ભાગ ભજવી શકે તેવા કેટલાંક અન્ય પદાર્થોમાં ઉચ્ચ તાપમાન અતિવાહકો, ચુંબકીય પદાર્થો, પૅકિંગ માટેના જૈવ વિઘટનીય (biodegradable) પોલિમર, સર્જીકલ ઈમ્પ્લાન્ટ (surgical implant) માટેના જૈવ સુસંગત (biocompliant) ઘન પદાર્થો વગેરે છે. આમ, હાલના પરિપ્રેક્ષ્ય (scenario) માં આ અવસ્થાનો અભ્યાસ વધારે અગત્યનો બની રહે છે.

આ એકમમાં, આપણે બંધારણ (રચના)ના કેટલાંક પ્રકારોમાં પરિણમતી કણોની વિવિધ શક્ય ગોઠવણીઓ તથા બંધારણીય એકમોની વિવિધ ગોઠવણીઓ શા માટે ઘન પદાર્થોને વિવિધ ગુણધર્મો બક્ષે છે તેનો અભ્યાસ કરીશું. બંધારણીય અપૂર્ણતાઓ (structural imperfections) અથવા અતિ અલ્પ પ્રમાણમાં અશુદ્ધિઓની હાજરી વડે કેવી રીતે આ ગુણધર્મોમાં ફેરફાર થાય છે તેનો પણ અભ્યાસ કરીશું.

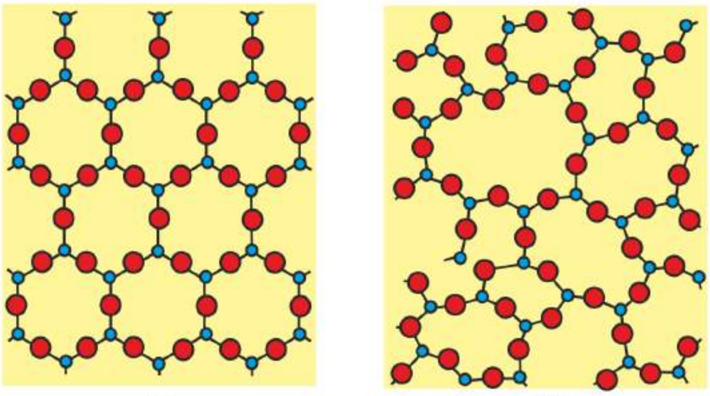
1.1 ઘન અવસ્થાની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ (General Characteristics of Solid State)

તમે ધોરણ XIમાં અભ્યાસ કર્યો છે કે દ્રવ્ય ત્રણ અવસ્થાઓ ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ સ્વરૂપે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. આપેલ દબાણ અને તાપમાનની પરિસ્થિતિમાં આપેલ પદાર્થની આમાંથી કઈ અવસ્થા સૌથી વધુ સ્થાયી હશે તેનો આધાર બે પરસ્પર વિરોધી પરિબળોની ચોખ્ખી (net) અસર પર રહેલો છે. આ આંતરઆણ્વીય બળો જે અણુઓને (અથવા પરમાણુઓ અથવા આયનો) એકબીજાની નજીક રાખે છે. જ્યારે ઉષ્મીય ઊર્જા તેમને ઝડપથી ફરતા કરીને એકબીજાથી અલગ રાખવાનું વલણ ધરાવે છે. પૂરતા નીચા તાપમાને ઉષ્મીય ઊર્જા ઓછી હોય છે અને આંતરઆણ્વીય બળો તેમને એકબીજાની એટલા નજીક લાવે છે કે જેથી તે એકબીજાને વળગેલા રહે અને નિશ્ચિત સ્થાન મેળવે છે. આ હજુ પણ તેમની મધ્ય (સરેરાશ) સ્થિતિની આસપાસ દોલન કરે છે અને પદાર્થ ઘન અવસ્થામાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે. ઘન અવસ્થાના લાક્ષણિક ગુણધર્મો નીચે પ્રમાણે છે :

(i) તેમને નિશ્ચિત દળ, કદ અને આકાર હોય છે.
(ii) આંતરઆણ્વીય અંતર ટૂંકા હોય છે.
(iii) આંતરઆણ્વીય બળ પ્રબળ હોય છે.
(iv) તેમના ઘટક કણો(પરમાણુ, અણુ અથવા આયન)ને નિશ્ચિત સ્થાન હોય છે અને તેમની મધ્ય (સરેરાશ) સ્થિતિની આસપાસ દોલન કરે છે.
(v) તે અસંકોચનીય (incompressible) અને દૃઢ હોય છે.

1.2 અસ્ફટિકમય અને સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો (Amorphous and Crystalline Solids)

ઘન પદાર્થોને તેમના ઘટક કણોની ગોઠવણમાં હાજર ક્રમના સ્વભાવને આધારે તેમને સ્ફટિકમય અથવા અસ્ફટિકમય તરીકે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. સ્ફટિમય ઘન પદાર્થ સામાન્ય રીતે મોટી સંખ્યામાં નાના નાના સ્ફટિકો, જેમાંના દરેક લાક્ષણિક ભૌમિતિક આકાર ધરાવે છે તેનો બનેલો હોય છે. સ્ફટિકમાં ઘટક કણો(પરમાણુ, અણુ અથવા આયન)ની ગોઠવણ ખૂબ જ ક્રમબદ્ધ હોય છે અને ત્રિપરિમાણમાં પુનરાવર્તન પામતી હોય છે. જો આપણે સ્ફટિકના એક ભાગમાં રહેલી ભાત (pattern)નો અભ્યાસ કરીએતો સ્ફટિકના અન્ય ભાગમાં કણોના સ્થાનની ચોક્કસ આગાહી કરી શકીએ પછી ભલે તે અવલોકનના સ્થાનથી ગમે તેટલા દૂર હોય. આમ સ્ફટિકને તેને ક્રમનો લાંબો વિસ્તાર (સીમા) હોય છે જેનો અર્થ થાય છે કે કણોની ગોઠવણની એક નિયમિત ભાત (pattern) હોય છે. જે સમગ્ર સ્ફટિકમાં આવર્તીય રીતે પુનરાવર્તિત થાય છે. સોડિયમ ક્લોરાઇડ અને ક્વાર્ટ્ઝ સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થના લાક્ષણિક (typical) ઉદાહરણો છે. કાચ, રબર અને અનેક પ્લાસ્ટિક પદાર્થોના પ્રવાહીઓને જ્યારે ઠંડા પાડી ઘન સ્વરૂપમાં ફેરવવામાં આવે ત્યારે તેઓ સ્ફટિકો બનાવતા નથી. આ પદાર્થોને અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો કહે છે. અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ ગ્રીક શબ્દ amorphos એટલે સ્વરૂપ નહિ પરથી આવેલ છે. આવા ઘન પદાર્થમાં ઘટક કણો(પરમાણુ, અણુ અથવા આયન)નો ટૂંકા વિસ્તાર(સીમા)નો ક્રમ હોય છે. આવી ગોઠવણમાં નિયમિત અને આવર્તીય પુનરાવર્તિત ભાત માત્ર ટૂંકા અંતર સુધી જોવા મળે છે. નિયમિત ભાતો વિખેરિત હોય છે અને વચ્ચે વચ્ચે અનિયમિત ગોઠવણ હોય છે. ક્વાર્ટ્ઝ (સ્ફટિકમય) અને ક્વાર્ટ્ઝ કાચ(અસ્ફટિકમય)ની રચના આકૃતિ 1.1 (a) અને (b)માં અનુક્રમે દર્શાવેલી છે. બંને રચનાઓ મહદ્અંશે સરખી છે છતાં અસ્ફટિકમય ક્વાર્ટ્ઝ કાચમાં લાંબા વિસ્તાર (સીમા)નો ક્રમ હોતો નથી. અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થની રચના પ્રવાહીને સમાન હોય છે. ઘટકકણોની ગોઠવણીમાં તફાવતોને કારણે બંને પ્રકારના ઘન પદાર્થો તેમના ગુણધર્મોમાં જુદા પડે છે.

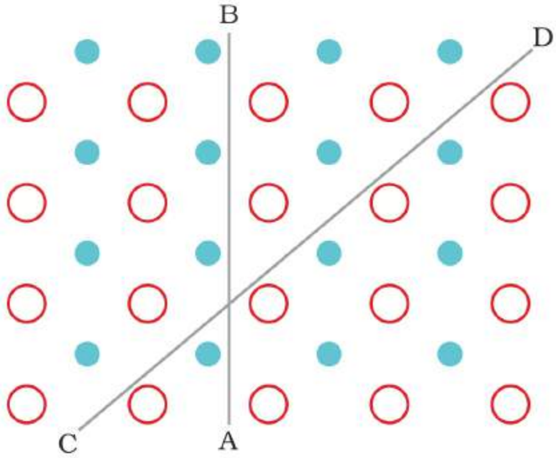


(a) (b)

આકૃતિ 1.1 : (a) ક્વાર્ટ્ઝ અને (b) ક્વાર્ટ્ઝ કાચની દ્વિ-પરિમાણીય રચના

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોને ચોક્કસ (sharp) ગલનબિંદુ હોય છે. એક લાક્ષણિક તાપમાને તે એકાએક પીગળે છે અને પ્રવાહી બને છે જ્યારે બીજી બાજુ અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો તાપમાનના કેટલાક ગાળા દરમિયાન નરમ પડે છે અને પીગળે છે તથા તાપમાનના ગાળામાં વહેવા માંડે છે. તેમને ઢાળી શકાય છે અને જુદા આકારમાં રચી (blown) શકાય છે. અસ્ફટકિમય ઘન પદાર્થોની બંધારણીય લાક્ષણિકતાઓ પ્રવાહીઓ જેવી જ હોય છે અને તેમને અતિ ઘટ્ટ (સ્નિગ્ધ) પ્રવાહીઓ જેવા ગણી શકાય તેમને ગરમ કરતાં તેઓ અમુક તાપમાને સ્ફટિકમય બને છે. પુરાતન સંસ્કૃતિમાંથી મળેલી કેટલીક કાચની વસ્તુઓ દેખાવમાં દૂધિયા જેવી જણાય છે તેનું કારણ કંઇક અંશે સ્ફટિકીકરણ છે. પ્રવાહીની જેમ, અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થને વહેવાનું વલણ હોય છે જો કે ખૂબ ધીમેથી વહે છે. આથી તેમને ઘણી વાર *આભાસી ઘન પદાર્થો* અથવા *અતિશીત પ્રવાહી પદાર્થો* કહેવામાં આવે છે.

અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો સ્વભાવે સમદૈશિક (isotropic) હોય છે, અર્થાત્ તેમના ગુણધર્મો જેવા કે યાંત્રિક મજબૂતાઈ, વક્રીભવનાંક અને વિદ્યુતવાહકતા વગેરે બધીજ દિશાઓમાં સરખા હોય છે. આમ થવાનું કારણ એ છે કે તેમનામાં લાંબા વિસ્તાર (સીમા)નો ક્રમ (long range order) હોતો નથી અને બધીજ દિશાઓમાં કણોની ગોઠવણી ચોક્કસ હોતી નથી. પરિણામે બધીજ દિશાઓમાં એકંદર ગોઠવણ સમતુલ્ય બને છે. તેથી કોઈપણ દિશામાં કોઈપણ ભૌતિક ગુણધર્મનું મૂલ્ય એક સરખુ રહે છે.



આકૃતિ 1.2 : કણોની જુદી જુદી દિશામાં જુદી જુદી ગોઠવણને કારણે સ્ફટિકમાં વિષમદૈશિકતા

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો સ્વભાવે વિષમદૈશિક (anisotropic) હોય છે એટલે કે એક જ સ્ફટિકમાં જુદી જુદી દિશામાં માપેલા તેમના ભૌતિક ગુણધર્મો જેવાં કે વિદ્યુતીય અવરોધ અથવા વક્રીભવનાંકના મૂલ્યો અલગ અલગ હોય છે. આ જુદી જુદી દિશાઓમાં કણોની જુદી-જુદી ગોઠવણને લીધે ઉદ્ભવે છે. આ બાબત આકૃતિ 1.2માં દર્શાવેલ છે. આ આકૃતિ બે પ્રકારના પરમાણુઓની સાદી દ્વિપરિમાણીય ભાતની ગોઠવણી દર્શાવે છે. આકાર પ્રતિબળ (shearing stress)ના અવરોધ જેવા યાંત્રિક ગુણધર્મો આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ બે દિશાઓમાં તદ્દન જુદા હોઈ શકે. CD દિશામાં વિકૃતિ બે જુદા-જુદા પ્રકારના પરમાણુઓ ધરાવતી હરોળને દૂર કરે છે. જ્યારે AB દિશામાં એક પ્રકારના પરમાણુઓ ધરાવતી હરોળ દૂર થાય છે. સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો વચ્ચેનો તફાવતોનો સારાંશ કોષ્ટક 1.1માં છે.

કોષ્ટક 1.1 : સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘનપદાર્થો વચ્ચે તફાવત

ગુણધર્મ	સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો	અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો
(1) આકાર	ચોક્કસ લાક્ષણિક ભૌમિતિક આકાર	અનિયમિત આકાર
(2) ગલનબિંદુ	ચોક્કસ અને લાક્ષણિક તાપમાને પીગળે છે.	તાપમાનના ગાળા (સીમા) દરમિયાન ધીમે ધીમે નરમ થાય છે.
(3) ચિરાડ (clevage) ગુણધર્મ	જ્યારે તીક્ષ્ણ ધારવાળા સાધન વડે કાપવામાં આવે છે ત્યારે તે બે ભાગમાં વિભાજિત થાય છે અને નવી ઉત્પન્ન થયેલી સપાટી સાદી અને સુંવાળી (smooth) હોય છે.	જ્યારે તીક્ષ્ણ ધારવાળા સાધન વડે કાપવામાં આવે છે ત્યારે તે બે અનિયમિત સપાટીવાળા ભાગમાં વિભાજિત થાય છે.
(4) ગલન ઉષ્મા	તેમને નિશ્ચિત અને લાક્ષણિક ગલન ઉષ્મા હોય છે.	તેમને નિશ્ચિત ગલન ઉષ્મા હોતી નથી.

(5) વિષમદૈશિકતા	સ્વભાવે વિષમદૈશિક હોય છે.	સ્વભાવે સમદૈશિક હોય છે.
(6) સ્વભાવ (પ્રકૃતિ)	સાચા ઘન પદાર્થો	આભાસી ઘન પદાર્થો અથવા અતિશીત પ્રવાહી પદાર્થો
(7) ઘટક કણોની ગોઠવણીમાં ક્રમ	લાંબા વિસ્તાર(સીમા)નો ક્રમ	ફક્ત ટૂંકા વિસ્તાર(સીમા)નો ક્રમ

સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય પદાર્થો ઉપરાંત કેટલાંક એવા ઘન પદાર્થો છે કે જે દેખીતી રીતે અસ્ફટિકમય લાગે પરંતુ તેઓ અતિસૂક્ષ્મ સ્ફટિકમય રચનાઓ ધરાવતા હોય છે. આવા પદાર્થોને બહુસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો કહે છે. ઘણીવાર ધાતુઓ બહુસ્ફટિકમય સ્થિતિમાં જોવા મળે છે. ધાતુના નમૂનામાં વ્યક્તિગત સ્ફટિકો (individual crystals) અસ્તવ્યસ્ત ગોઠવાયેલા હોવાથી તે આખો સ્ફટિક વિષમદૈશિક હોવા છતા સમદૈશિક લાગે છે.

અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો ઉપયોગી પદાર્થો છે. કાચ, રબર અને પ્લાસ્ટિક આપણા રોજિંદા જીવનમાં ઘણા બધા અનુપ્રયોગો (ઉપયોગો) ધરાવે છે. અસ્ફટિકમય સિલિકોન એક એવો ઉત્તમ ફોટોવોલ્ટેઇક પદાર્થ છે જે સૌર-ઊર્જાને વિદ્યુત-ઊર્જામાં પરિવર્તિત કરવા માટે પ્રાપ્ય છે.

લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

1.1 ઘન પદાર્થો શા માટે દઢ હોય છે ?

1.2 ઘન પદાર્થોને શા માટે નિશ્ચિત આકાર હોય છે ?

1.3 નીચેનાનું સ્ફટિકમય અથવા અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોમાં વર્ગીકરણ કરો : પૉલિયુરેથેન, નેપ્થેલીન, બેન્ઝોઇક ઍસિડ, ટેફ્લોન, પોટૅશિયમ નાઇટ્રેટ, સેલોફેન, પૉલિવિનાઇલ ક્લોરાઇડ, ફાઇબર ગ્લાસ, તાંબું.

1.4 ઘન પદાર્થનો વક્રીભવનાંક બધી જ દિશાઓમાં એકસરખું મૂલ્ય ધરાવે છે. આ ઘન પદાર્થના સ્વભાવ વિશે ટીકા કરો. શું તે ચિરાડ ગુણધર્મ દર્શાવશે ?

1.3 સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થનું વર્ગીકરણ (Classification of Crystalline Solids)

આપણે વિભાગ 1.2માં અસ્ફટિકમય પદાર્થો વિશે શીખ્યા અને એ પણ જાણ્યું કે તેમને માત્ર નાના વિસ્તાર(સીમા)નો ક્રમ હોય છે છતાં, ઘણા મોટા ભાગના ઘન પદાર્થો સ્વભાવે સ્ફટિકમય હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, આયર્ન, કૉપર અને સિલ્વર જેવા ધાતુ તત્ત્વો, સલ્ફર, ફૉસ્ફરસ અને આયોડિન જેવા અધાતુ તત્ત્વો તથા સોડિયમ ક્લોરાઇડ, ઝિંક સલ્ફાઇડ અને નેપ્થેલીન જેવા સંયોજનો સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો રચે છે.

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોને વિવિધ રીતે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. વર્ગીકરણ કરવાની પદ્ધતિ હેતુ પર આધારિત હોય છે. અહીં, આપણે સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોનું વર્ગીકરણ આંતરઆણ્વીય બળોના સ્વભાવ અથવા ઘટકકણોને એકબીજા સાથે જકડી રાખતાં બંધને આધારે કરીશું. આ (i) વાન્ ડર વાલ્સ બળો (ii) આયનીય બંધ (iii) સહસંયોજકબંધ અને (iv) ધાત્વીય બંધના આધારે સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોનું વર્ગીકરણ આણ્વીય, આયનીય, ધાત્વીય અને સહસંયોજક ઘન પદાર્થો જેવા ચાર પ્રકારોમાં કરી શકાય છે. હવે આપણે આ ચાર પ્રકારો વિષે શીખીશું.

1.3.1 આણ્વીય ઘનપદાર્થો (Molecular Solids)

અણુઓ આણ્વીય ઘન પદાર્થોના ઘટક કણો છે, જેમને નીચેના પ્રકારોમાં ફરી ઉપવિભાજિત કરી શકાય.

(i) *અધ્રુવીય આણ્વીય ઘન પદાર્થો :* તે કાં તો પરમાણુઓ ધરાવે છે ઉદાહરણ તરીકે આર્ગોન અને હિલિયમ અથવા અધ્રુવીય સહસંયોજક બંધને કારણે બનેલા અધ્રુવીય

અણુઓ ધરાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે H_2, Cl_2 અને I_2. આ ઘન પદાર્થોમાં પરમાણુઓ અથવા અણુઓ નિર્બળ વિસર્જન (dispersion) અથવા લંડન બળો વડે જકડાયેલા હોય છે જેના વિશે તમે ધોરણ XIમાં અભ્યાસ કર્યો છે. આ ઘન પદાર્થો પોચા અને વિદ્યુતના અવાહક હોય છે. તેમને નીચા ગલનબિંદુ હોય છે અને સામાન્ય રીતે ઓરડાના તાપમાને અને દબાણે પ્રવાહી અથવા વાયુ અવસ્થામાં હોય છે.

(ii) *ધ્રુવીય આણ્વીય ઘન પદાર્થો :* HCl, SO_2 વગેરે જેવા પદાર્થોના અણુઓ ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધથી રચાય છે. આવા ઘનપદાર્થોમાં અણુઓ સાપેક્ષ રીતે વધુ પ્રબળ ધ્રુવીય-ધ્રુવીય પારસ્પરિક ક્રિયાઓ વડે એકબીજા સાથે જકડાયેલા રહે છે. આ ઘન પદાર્થો પોચા અને વિદ્યુતના અવાહક હોય છે. તેમના ગલનબિંદુ અધ્રુવીય આણ્વીય ઘન પદાર્થો કરતાં વધારે ઊંચા હોય છે. તેમ છતાં પણ ઓરડાના તાપમાને અને દબાણે તેઓ વાયુ અથવા પ્રવાહી હોય છે. ઘન SO_2 અને ઘન NH_3 આવા ઘન પદાર્થોના કેટલાક ઉદાહરણો છે.

(iii) *હાઈડ્રોજન બંધિત આણ્વીય ઘન પદાર્થો :* આવા ઘન પદાર્થોના અણુઓ H અને F, O અથવા N પરમાણુ સાથે ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધ ધરાવે છે. પ્રબળ હાઈડ્રોજન બંધ આવા અણુઓ જેવા કે H_2Oને(બરફ)પ્રબળ રીતે જકડી રાખે છે. તેઓ વિદ્યુતના અવાહક હોય છે. સામાન્ય રીતે ઓરડાના તાપમાને અને દબાણે તેઓ બાષ્પીય પ્રવાહી અથવા પોચા ઘન પદાર્થો હોય છે.

1.3.2 આયનીય ઘન પદાર્થો (Ionic Solids)

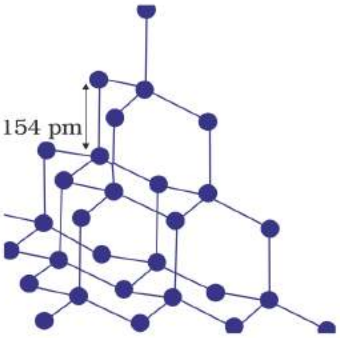
આયનીય ઘન પદાર્થોના ઘટક કણો આયનો હોય છે. આવા ઘન પદાર્થો પ્રબળ કુલંબિક (સ્થિરવિદ્યુતીય) બળોથી બંધિત ધનાયનો અને ઋણાયનોની ત્રિ-પરિમાણીય દિશામાંની ગોઠવણથી રચાય છે. આ ઘનપદાર્થો સ્વભાવે સખત અને બરડ હોય છે. તેમને ઊંચા ઉત્કલનબિંદુ અને ગલનબિંદુ હોય છે. તેમના આયનો હેરફેર કરવા માટે મુક્ત હોતા નથી, તેથી તેઓ ઘન અવસ્થામાં વિદ્યુતના અવાહક હોય છે. તેમ છતાં પણ પિગલિત અવસ્થામાં અથવા પાણીમાં ઓગાળતાં આયનો આજુબાજુ ફરવા માટે મુક્ત થાય છે અને તે વિદ્યુતનું વહન કરે છે.

1.3.3 ધાત્વીય ઘનપદાર્થો (Metallic Solids)

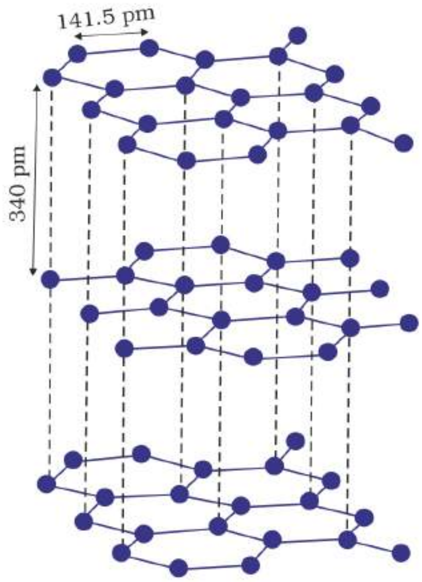
ધાતુઓ ધન આયનોના ક્રમબદ્ધ સમૂહ હોય છે અને તેઓ મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન સમુદ્ર(sea)થી સાથે સાથે જકડાયેલા હોય છે. આ ઇલેક્ટ્રૉન ગતિશીલ (mobile) હોય છે અને સમગ્ર સ્ફટિકમાં સરખી રીતે વિસ્તરાયેલ હોય છે. ધાતુનો દરેક પરમાણુ એક અથવા બે ઇલેક્ટ્રૉન ગતિશીલ ઇલેક્ટ્રૉનના આ સમુદ્રમાં ફાળો આપે છે. આ મુક્ત અને ગતિશીલ ઇલેક્ટ્રૉન ધાતુની ઊંચી વિદ્યુતીય અને ઉષ્મીય વાહકતા માટે જવાબદાર છે. જ્યારે વિદ્યુતીયક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે આ ઇલેક્ટ્રૉન ધન આયનોની જાળીદાર રચનામાંથી વહે છે. તે જ પ્રમાણે જ્યારે ઉષ્મા ધાતુના એક ભાગને પૂરી પાડવામાં આવે છે, ત્યારે ઉષ્મીય ઊર્જા એકસરખી રીતે મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન વડે વિસ્તરાય છે. ધાતુઓની બીજી અગત્યની લાક્ષણિકતા તેમના ચળકાટ (lustre) અને કેટલાક કિસ્સામાં રંગ છે. આ પણ તેમનામાં રહેલા મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉનની હાજરીને કારણે જ હોય છે. ધાતુઓ ખૂબ જ ટીપનીય (malleable) અને તન્ય (ductile) હોય છે.

1.3.4 સહસંયોજક અથવા જાળીદાર ઘન પદાર્થો (Covalent or Network Solids)

અધાતુઓના સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોનો વિશાળ પ્રકાર સ્ફટિકમાં સમગ્રપણે નજીક નજીકના પરમાણુઓ વચ્ચે સહસંયોજક બંધની રચનાથી પરિણમે છે. તેઓને બૃહદ્ (**giant**) અણુ પણ કહેવામાં આવે છે. સહસંયોજક બંધ પ્રબળ હોય છે અને સ્વભાવે દિશામય (directional) હોય છે. આથી પરમાણુઓ તેમના સ્થાનમાં ખૂબ પ્રબળતાથી જકડાયેલા રહે છે. આવા ઘન પદાર્થો ઘણા સખત અને બરડ હોય છે. તેમને ખૂબ જ ઊંચા ગલનબિંદુ હોય છે અને ગલન પામતાં પહેલા વિઘટન પણ પામી શકે છે. તેઓ વીજરોધક છે અને વિદ્યુત પ્રવાહનું વહન કરતા નથી. હીરો (diamond) (આકૃતિ 1.3) અને સિલિકૉન કાર્બાઇડ આવા ઘન પદાર્થોના વિશિષ્ટ ઉદાહરણો છે. તેમ છતાં ગ્રેફાઇટ



આકૃતિ 1.3 : હીરાની(ડાયમન્ડ) જાળીદાર રચના



આકૃતિ 1.4 : ગ્રેફાઇટની રચના

(આકૃતિ 1.4) પણ આ પ્રકારના સ્ફટિકવર્ગમાં સમાવિષ્ટ છે પણ તે પોચું છે અને વિદ્યુતનું વાહક છે. તેના અપવાદરૂપ ગુણધર્મો તેમની વિશિષ્ટ રચનાને (આકૃતિ 1.4) કારણે હોય છે. કાર્બન પરમાણુઓ જુદા જુદા સ્તરમાં ગોઠવાયેલા હોય છે અને દરેક પરમાણુ બીજા ત્રણ પડોશી પરમાણુ સાથે તે જ સ્તરમાં સહસંયોજક રીતે બંધિત હોય છે. દરેક પરમાણુનો ચોથો સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રૉન જુદા જુદા સ્તરોની વચ્ચે હાજર છે અને આજુબાજુ ફરી શકવા માટે મુક્ત હોય છે. આ મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન ગ્રેફાઇટને વિદ્યુતનો સુવાહક બનાવે છે. જુદા જુદા સ્તર એકબીજાની ઉપર સરકી (slide) શકે છે. આ બાબત ગ્રેફાઇટને પોચું ઘન અને સારું ઊંજણ (lubricant) બનાવે છે.

ચાર પ્રકારના ઘન પદાર્થોના જુદા જુદા ગુણધર્મોની યાદી કોષ્ટક 1.2માં બનાવેલ છે.

કોષ્ટક 1.2 : જુદા જુદા પ્રકારના ઘન પદાર્થો

ઘનપદાર્થોનો પ્રકાર	ઘટક કણો	બંધન/ આકર્ષણ બળો	ઉદાહરણ	ભૌતિક સ્વભાવ	વિદ્યુતીય વાહકતા	ગલનબિંદુ
(1) આણ્વીય ઘન પદાર્થો						
(i) અધ્રુવીય	અણુઓ	વિસર્જન અથવા લંડન બળો	Ar, CCl_4, H_2, I_2, CO_2	મૃદુ	અવાહક	ઘણાં નીચાં
(ii) ધ્રુવીય		દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા	HCl, SO_2	મૃદુ	અવાહક	નીચાં
(iii) હાઇડ્રોજન બંધિત		હાઇડ્રોજન બંધન	H_2O (બરફ)	સખત	અવાહક	નીચાં
(2) આયનીય ઘન પદાર્થો	આયનો	કુલંબિક અથવા સ્થિર વિદ્યુતીય	NaCl, MgO, ZnS, CaF_2	સખત પણ બરડ	ઘન અવસ્થામાં અવાહક પરંતુ પિગલિત અવસ્થામાં અને જલીય દ્રાવણમાં વાહક	ઊંચા
(3) ધાત્વીય ઘન પદાર્થો	બિનસ્થાનિક ઇલેક્ટ્રૉનના સમુદ્રમાં ધન આયનો	ધાત્વીય બંધન	Fe, Cu, Ag, Mg	સખત પરંતુ ટીપનીય અને તન્ય	ઘન અવસ્થામાં તેમજ પિગલિત અવસ્થામાં વાહક	પ્રમાણમાં ઊંચા

(4) સહસંયોજક અથવા જાળીદાર ઘન પદાર્થો	પરમાણુઓ	સહસંયોજક બંધન	SiO_2 (ક્વાર્ટ્ઝ) SiC, C (હીરો), AlN, C (ગ્રેફાઇટ)	સખત મૃદુ	અવાહક વાહક (અપવાદ)	ઘણા ઊંચા

લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

1.5 નીચેના ઘન પદાર્થોને તેમનામાં કાર્યશીલ આંતરઆણ્વીય બળોના સ્વભાવ પર આધારિત જુદા જુદા પ્રકારોમાં વર્ગીકૃત કરો :
પોટૅશિયમ સલ્ફેટ, ટિન, બેન્ઝિન, યૂરિયા, એમોનિયા, પાણી, ઝિંક સલ્ફાઇડ, ગ્રેફાઇટ, રૂબિડિયમ, આર્ગોન, સિલિકોન કાર્બાઇડ.

1.6 ઘન પદાર્થ A ઘન અવસ્થા તથા પિગલિત અવસ્થામાં ઘણો સખત વિદ્યુતીય અવાહક છે અને ખૂબ જ ઊંચા તાપમાને પીગળે છે. તે કયા પ્રકારનો ઘન પદાર્થ હશે ?

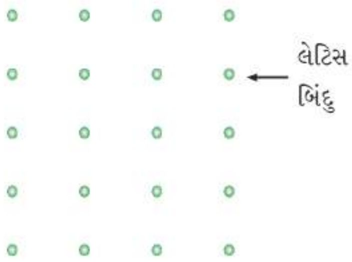
1.7 આયનીય ઘન પદાર્થો પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે પરંતુ ઘન અવસ્થામાં નહિ. સમજાવો.

1.8 કયા પ્રકારના ઘન પદાર્થો વિદ્યુતીય વાહક, ટીપનીય અને તન્ય છે ?

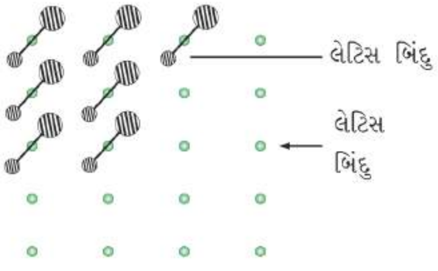
1.4 સ્ફટિક લેટિસ અને એકમકોષો (Crystal Lattices and Unit Cells)

તમે જોયું હશે કે જ્યારે ભોંયતળિયા (floor) પર ટાઈલ્સ (લાદી) લગાવવામાં આવે ત્યારે એક પુનરાવર્તિત ભાત (repeated pattern) રચાય છે. ભોંયતળિયા પર ટાઈલ્સ લગાડયા પછી જો બધી જ ટાઈલ્સ પર આપણે કોઈક જગ્યાએ નિશાની કરીએ (જેમકે ટાઈલની મધ્યમાં) અને ટાઈલ્સને અવગણીને માત્ર નિશાની કરેલા સ્થાનોનેજ જોઈએ તો, આપણને બિંદુઓનો એક સમૂહ (set) મળે છે. આ બિંદુઓનો સમૂહ એક ઢાંચો (scaffolding) છે જેની પર ટાઈલ્સ લગાડીને એક ભાત વિકસીત કરવામાં આવી છે. આ ઢાંચો અવકાશ લેટિસ (space lattice) છે જેની પર બંધારણીય એકમોને (એટલે કે આ કિસ્સામાં ટાઈલ્સ) તેમના બિંદુઓના સેટ ઉપર મુકીને દ્વિપરિમાણીય ભાત વિકસીત કરવામાં આવી છે. આ બંધારણીય એકમને પાયો A અથવા મોટિફ A કહે છે. જ્યારે અવકાશ લેટિસમાં બિંદુઓ પર આવા મોટિફ મૂકવામાં આવે ત્યારે એક ભાત ઉત્પન્ન થાય છે. સ્ફટિકની રચનામાં મોટિફ તરીકે અણુ, પરમાણુ કે આયન હોય છે. અવકાશ લેટિસને સ્ફટકિ લેટિસ પણ કહે છે અને તે આવા મોટિફના સ્થાનો દર્શાવતા બિંદુઓની ભાત છે. બીજા શબ્દોમાં અવકાશ લેટિસ સ્ફટિકની રચના માટેનો એક કાલ્પનિક (abstract) ઢાંચો છે. જ્યારે આપણે અવકાશ લેટિસના બિંદુઓ પર મોટિફને એક સમાન રીતે મુકીએ ત્યારે

(a) સ્ફટિકની રચના કરવા માટે મોટિફ



(b) અવકાશ લેટિસ અથવા સ્ફટિક લેટિસ (દ્વિપરિમાણીય)



(c) કાલ્પનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક

આકૃતિ 1.5 : (a) મોટિફ (b) અવકાશ લેટિસ દ્વિપરિમાણીય (c) કાલ્પનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક રચના

આપણને સ્ફટિકની રચના મળે છે. આકૃતિ 1.5માં એક મોટિફ, દ્વિપરિમાણીય લેટિસ તથા દ્વિપરિમાણીય લેટિસમાં મોટિફ મૂકવાથી મળતી એક કાલ્પનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક રચના દર્શાવી છે.

લેટિસ બિંદુઓની અવકાશીય ગોઠવણીથી વિવિધ પ્રકારના લેટિસ ઉદ્‌ભવે છે. આકૃતિ 1.6 બે જુદા-જુદા લેટિસમાં બિંદુઓની ગોઠવણી દર્શાવે છે.

આકૃતિ 1.6 : બે જુદા જુદા લેટિસમાં બિંદુઓની ગોઠવણી

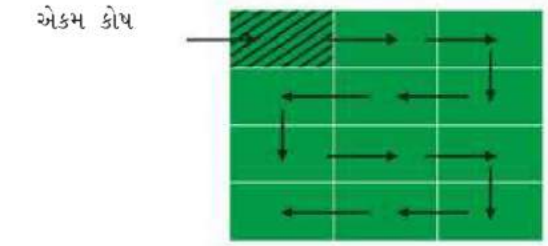
સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોના કિસ્સામાં અવકાશ લેટિસ બિંદુઓની ત્રિપરિમાણીય ગોઠવણી છે. બંધારણીય મોટિફને લેટિસ બિંદુઓ સાથે સાંકળતા સ્ફટિકની રચના પ્રાપ્ત થાય છે. સ્ફટિકમાં પુનરાવર્તિત પાયા અથવા મોટિફની રચના તથા અવકાશીય દિક્‌વિન્યાસ સમાન હોય છે. સપાટી સિવાય સમગ્ર સ્ફટિકમાં પ્રત્યેક મોટિફનું પર્યાવરણ એક સમાન હોય છે.

સ્ફટિક લેટિસની લાક્ષણિકતાઓ નીચે મુજબ છે :

(a) લેટિસના પ્રત્યેક બિંદુને લેટિસ બિંદુ અથવા લેટિસ સ્થાન કહે છે.

(b) સ્ફટિક લેટિસનું પ્રત્યેક બિંદુ એક ઘટક કણ દર્શાવે છે, જે પરમાણુ, અણુ (પરમાણુઓનો સમૂહ) કે આયન હોઈ શકે છે.

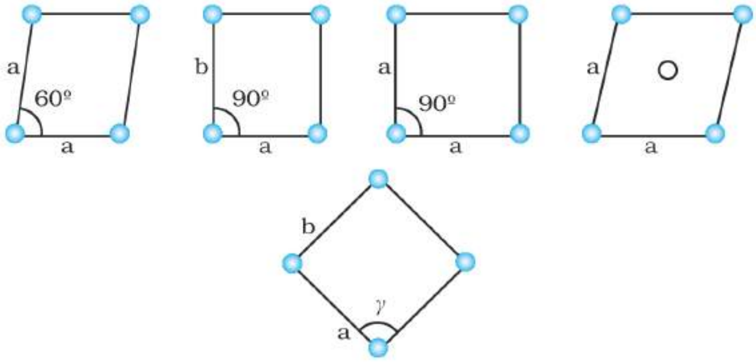
(c) લેટિસનો ભૌમિતિક આકાર (geometry) વ્યક્ત કરવા લેટિસ બિંદુઓને સીધી લીટીઓથી જોડવામાં આવે છે.



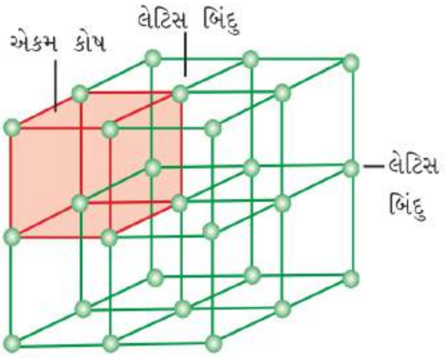
આકૃતિ 1.7 : તીરની દિશામાં ચોરસના સ્થાનાંતરથી કાલ્પનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક રચના બનાવવી

સ્ફટિકને સંપૂર્ણ પણે વ્યાખ્યાયિત કરવા આપણને સ્ફટિકના અવકાશ લેટિસના માત્ર નાનકડાં ભાગની જ જરૂર પડે છે. આ નાનકડાં ભાગને એકમ કોષ કહે છે. એકમ કોષની પસંદગી અનેક રીતે થઈ શકે છે. સામાન્ય રીતે એવો કોષ પસંદ કરવામાં આવે છે જેની લંબ બાજુઓ ટૂંકામાં ટૂંકી હોય અને ત્રિપારિમાણમાં એકમ કોષના સ્થાનાંતરીય વિસ્થાપન (translational displacement)થી સમગ્ર સ્ફટિકની રચના કરી શકાય. આકૃતિ 1.7માં એક દ્વિપરિમાણીય લેટિસના એકમ કોષની હેરફેરથી સમગ્ર સ્ફટિકની રચના થતી દર્શાવી છે. વળી, એકમ કોષોના આકારો પણ એવા હોય છે કે જેથી તેઓ તેમની વચ્ચે જગ્યા છોડ્યાં સિવાય આખો લેટિસ ભરી દે છે.

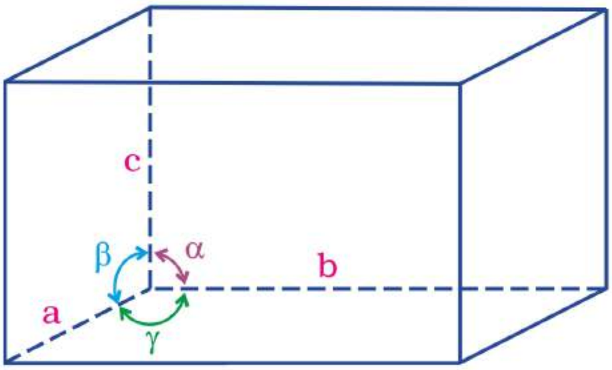
દ્વિપરિમાણમાં બાજુની લંબાઈ 'a' અને 'b' તથા આ બાજુઓ વચ્ચેનો ખૂણો γ ધરાવતા સમાંતરબાજુ ચતુષ્કોણને એકમ કોષ તરીકે પસંદ કરવામાં આવે છે. દ્વિપરિમાણોમાં શક્ય એકમ કોષો આકૃતિ 1.8માં દર્શાવેલા છે.



આકૃતિ 1.8 : દ્વિપરિમાણમાં શક્ય એકમ કોષો



આકૃતિ 1.9 : સ્ફટિક લેટિસના ત્રિપરિમાણીય સમઘનીય અવકાશનો એક ભાગ તથા તેનો એકમકોષ



આકૃતિ 1.10 : એકમ કોષના પ્રાચલોનું દૃષ્ટાંત

આકૃતિ 1.9માં ત્રિપરિમાણીય સ્ફટિક લેટિસનો એક ભાગ તથા તેનો એકમ કોષ દર્શાવ્યા છે.

ત્રિપરિમાણીય સ્ફટિક રચનામાં એકમ કોષની લાક્ષણિકતાઓ :

(i) તેના પરિમાણો તેની ત્રણ ધારો a, b અને c છે. આ ધારો પરસ્પર લંબ હોઇ પણ શકે અથવા ના પણ હોઈ શકે.

(ii) ધારો વચ્ચેના ખૂણા α (b અને c વચ્ચે), β (a અને c વચ્ચે) અને γ (a અને b વચ્ચે) આમ છ પ્રાચલો a, b, c, α, β અને γ એકમ કોષની લાક્ષણિકતાઓ છે.

એક વિશિષ્ટ એકમકોષના આ પ્રાચલો આકૃતિ 1.10માં દર્શાવેલ છે.

1.4.1 આદિમ અને કેન્દ્રિત એકમ કોષો

એકમ કોષોને વિસ્તૃત રીતે બે પ્રકારોમાં વિભાજિત કરી શકાય. આદિમ (primtive) અને કેન્દ્રિત (centred) એકમ કોષો.

(a) આદિમ એકમ કોષો :

જ્યારે ઘટક કણો માત્ર એકમ કોષના ખૂણાના સ્થાનો પર હાજર હોય તો તેને આદિમ એકમ કોષ કહે છે.

(b) કેન્દ્રિત એકમકોષો :

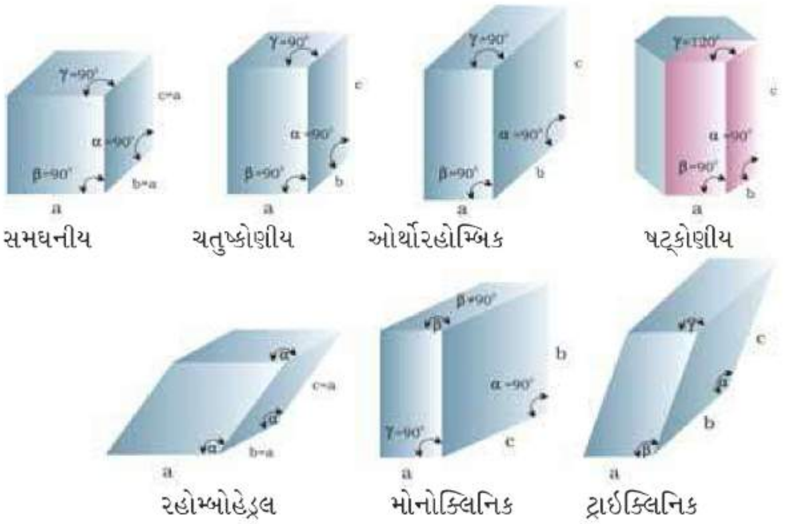
જ્યારે એકમ કોષ એક કે વધુ ઘટક કણો ખૂણાઓ ઉપરાંતના અન્ય સ્થાનો પર પણ ધરાવતો હોય તો તેને કેન્દ્રિત એકમ કોષ કહે છે. કેન્દ્રિત એકમ કોષ ત્રણ પ્રકારના હોય છે.

(i) અંતઃકેન્દ્રિત એકમ કોષો : આવો એકમ કોષ ખૂણાઓ પર રહેલા કણો ઉપરાંત અંતઃકેન્દ્રમાં એક ઘટક કણ (પરમાણુ, અણુ અથવા આયન) ધરાવતો હોય છે.

(ii) ફલક કેન્દ્રિત એકમ કોષો : આવો એકમ કોષ તેના ખૂણાઓ પર રહેલા ઘટક કણો ઉપરાંત તેના દરેક ફલકના કેન્દ્રમાં એક ઘટક કણ ધરાવે છે.

(iii) અંત (છેડો) કેન્દ્રિત એકમ : આવા એકમકોષમાં ઘટક કણો ખૂણાઓ પર ઉપરાંત એક ઘટક કણ એકબીજાથી વિરુદ્ધ એવા બે ફલકોના કેન્દ્ર પર હાજર હોય છે.

સ્ફટિકોના બહોળા વૈવિધ્યનું નિરીક્ષણ કરતાં એવુ તારણ કાઢી શકાય કે તે બધાનો સાત નિયમિત આકારોમાંથી કોઈ એકમાં સમાવેશ થાય છે. આ મૂળભૂત નિયમિત આકારોને સાત સ્ફટિક પ્રણાલીઓ કહેવામાં આવે છે. આપેલો સ્ફટિક કઈ પ્રણાલીમાં સમાવિષ્ટ થાય છે તે ફલકો વચ્ચેના ખૂણા માપીને તથા તેના આકારની મુખ્ય બાબતોને વ્યાખ્યાયિત કરવા કેટલી અક્ષોની જરૂર પડે છે તે નક્કી કરવાથી નિર્ધારિત કરી શકાય છે. આકૃતિ 1.11 સાત સ્ફટિક પ્રણાલીઓ દર્શાવે છે.



આકૃતિ 1.11 : સાત સ્ફટિક પ્રણાલીઓ

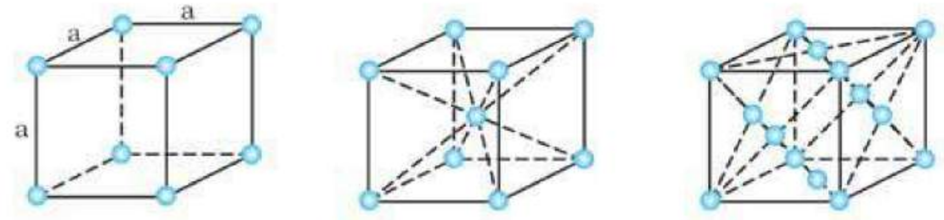
ફ્રેન્ચ ગણિતશાસ્ત્રી બ્રેવિસે (Bravais) દર્શાવ્યુ કે માત્ર 14 જ શક્ય ત્રિપરિમાણીય લેટિસો છે. તેઓને બ્રેવિસ લેટિસ કહે છે. આવા લેટિસના એકમ કોષોને નીચેના ખાના (box)માં દર્શાવ્યા છે. તેમના આદિમ એકમ કોષોની તથા તેઓ બનાવી શકતા હોય તેવા કેન્દ્રિય એકમ કોષોની લાક્ષણિકતાઓની યાદી કોષ્ટક 1.3માં દર્શાવી છે.

કોષ્ટક **1.3** : સાત આદિમ એકમ કોષ અને તેમના કેન્દ્રિત એકમ કોષમાં શક્ય વિચલનો

સ્ફટિક પ્રણાલી	શક્ય વિચલન	અક્ષીય અંતર અથવા ધારની લંબાઈ	અક્ષીય ખૂણા	ઉદાહરણ
સમઘનીય	આદિમ, અંતઃકેન્દ્રિત, ફલક કેન્દ્રિત	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	NaCl, ઝિંક બ્લેન્ડ, Cu
ચતુષ્કોણીય	આદિમ, અંતઃકેન્દ્રિત	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	સફેદ ટિન, SnO_2, TiO_2, $CaSO_4$
ઓર્થોરહોમ્બિક	આદિમ, અંતઃકેન્દ્રિત, ફલક કેન્દ્રિત અંત (છેડો) કેન્દ્રિત	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	રહોમ્બિક સલ્ફર, KNO_3, $BaSO_4$
ષટ્કોણીય	આદિમ	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^0$ $\gamma = 120^0$	ગ્રેફાઇટ, ZnO, CdS
રહોમ્બોહેડ્રલ અથવા ત્રિકોણીય	આદિમ	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^0$	કેલ્સાઇટ ($CaCO_3$), સિનેબાર (HgS)

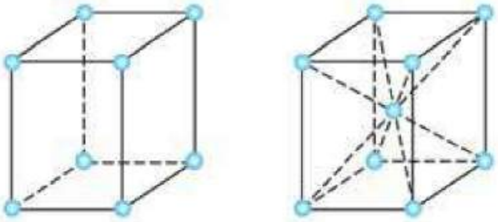
મોનોક્લિનિક	આદિમ અંત (છેડો) કેન્દ્રિત	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^0$ $\beta \neq 90^0$	મોનોક્લિનિક સલ્ફર, $Na_2SO_4.10H_2O$
ટ્રાઈક્લિનિક	આદિમ	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^0$	$K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4.5H_2O$, H_3BO_3

બ્રેવિસ લેટિસના 14 પ્રકારના એકમ કોષો



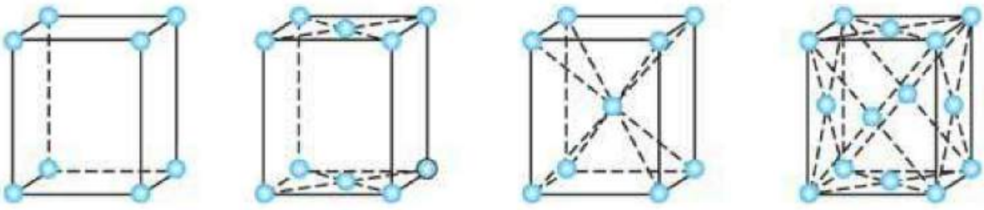
આદિમ (અથવા સાદો) | અંતઃકેન્દ્રિત | ફલક કેન્દ્રિત

સમઘનીય લેટિસના એકમ કોષો : બધી બાજુઓ સરખી લંબાઈની અને ફલક વચ્ચેના બધા ખૂણા 90^0



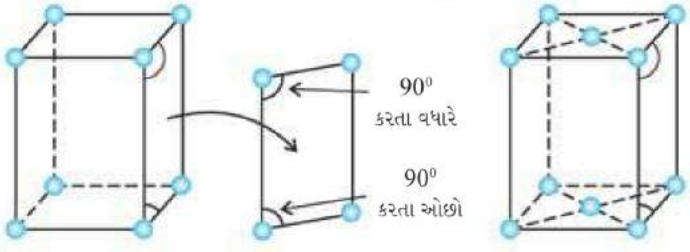
આદિમ | અંતઃકેન્દ્રિત

બે ચતુષ્કોણીય લેટિસના એકમ કોષો : એક બાજુ બીજી કરતા લંબાઈમાં અલગ, બધા ફલક વચ્ચેના બંને ખૂણા 90^0



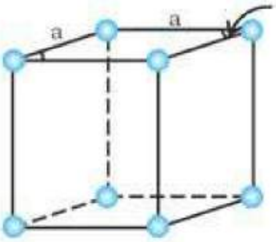
આદિમ | અંત (છેડો) કેન્દ્રિત | અંતઃકેન્દ્રિત | ફલક કેન્દ્રિત

ચાર ઓર્થોરહોમ્બિક લેટિસના એકમ કોષો : બિનસરખી બાજુઓ, ફલક વચ્ચેના બધા ખૂણા 90^0

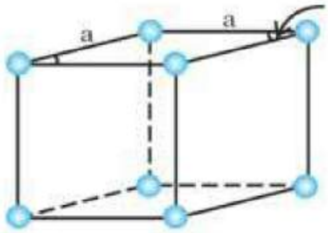


આદિમ | અંત (છેડો) કેન્દ્રિત

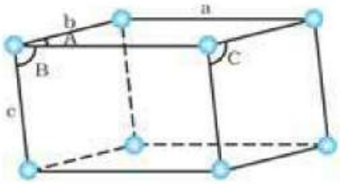
બે મોનોક્લિનિક લેટિસના એકમ કોષો : બિનસરખી બાજુઓ, બે ફલકોને ખૂણા 90^0 કરતાં અલગ હોય છે.



ષટ્કોણીય લેટિસના એકમ કોષ - એક બાજુ બીજી બે બાજુઓ કરતાં અલગ, ચિહ્નિત કરેલા બંને ફલક પરના ખૂણા 60^0



ર્હોમ્બોહેડ્રલ લેટિસનો એકમ કોષ - બધી બાજુઓ સમાન લંબાઈની, બે ફલકો વચ્ચેનો ખૂણો 90^0 કરતાં ઓછો.



ટ્રાઇક્લિનિક લેટિસનો એકમ કોષ - બિનસરખી બાજુઓ a, b, c, A, B, C; અસમાન ખૂણા જેમાનો એક પણ ખૂણો 90^0નો નથી.

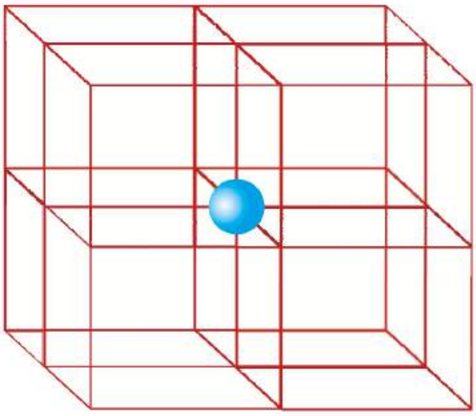
1.5 એકમ કોષમાં પરમાણુઓની સંખ્યા (Number of Atoms in a Unit Cell)

આપણે જાણીએ છીએ કે કોઈ પણ સ્ફટિક લેટિસ વિપુલ સંખ્યામાંના એકમ કોષની બનેલી હોય છે અને દરેક લેટિસ બિંદુ એક ઘટક કણથી(પરમાણુ, અણુ અથવા આયન) રોકાયેલ હોય છે. હવે આપણે એ ગણતરી કરીએ કે દરેક કણનો કેટલો ભાગ વિશિષ્ટ (particular) એકમ કોષમાં સમાવિષ્ટ છે.

આપણે ત્રણ પ્રકારના સમઘનીય એકમ કોષને ગણતરીમાં લઈશું અને સરળતા ખાતર ધારી લઈશું કે દરેક ઘટક કણ પરમાણુ છે.

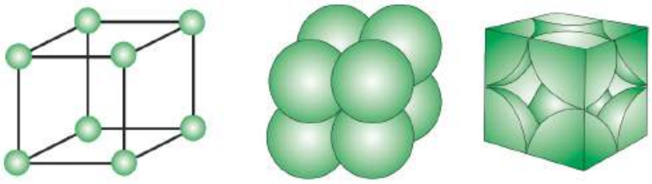
1.5.1 આદિમ ઘન એકમ કોષ (Primitive Cubic Unit Cell)

આદિમ ઘન એકમ કોષને માત્ર તેના ખૂણાઓ પર જ પરમાણુ હોય છે. ખૂણા પરનો દરેક પરમાણુ આકૃતિ 1.12માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે નજીકના (adjacent) આઠ એકમ કોષો સાથે ભાગીદારી કરે છે. ચાર એકમ કોષો એક જ સ્તરમાં હોય છે અને ચાર એકમ કોષો ઉપરના અથવા નીચેના સ્તરમાં હોય છે આથી પરમાણુનો(અથવા અણુ અથવા આયન) $\frac{1}{8}$ ભાગ જ વિશિષ્ટ (particular) એકમ કોષમાં સમાવિષ્ટ થાય છે. આકૃતિ 1.13માં આદિમ ઘન એકમ કોષને ત્રણ જુદી જુદી રીતે દર્શાવેલા છે. આકૃતિ 1.13(a)માં દરેક નાનો ગોળો સ્થાન ધરાવતા કણનું માત્ર કેન્દ્ર છે અને નહિ કે તેનું વાસ્તવિક કદ (size). આવી રચનાઓને ખુલ્લી રચનાઓ કહે છે. ખુલ્લી રચનાઓમાં કણોની ગોઠવણીને અનુસરવું વધુ સરળ પડે છે. આકૃતિ 1.13 (b) એકમ કોષની કણના વાસ્તવિક કદની રજૂઆત કરતું અવકાશ-ભરતી (space-filling) ચિત્ર છે. આકૃતિ 1.13 (c) એક સમઘનીય એકમ કોષમાં રહેલા જુદા-જુદા પરમાણુઓના વાસ્તવિક ભાગ દર્શાવે છે.



આકૃતિ 1.12 :સાદા સમઘનીય એકમકોષમાં ખૂણા પરનો દરેક પરમાણુ આઠ એકમકોષો વચ્ચે ભાગીદારી કરે છે.

એકંદરે દરેક સમઘનીય એકમ કોષમાં ખૂણાઓ પર 8 પરમાણુઓ હોય છે તેથી એક એકમ કોષમાં પરમાણુની કુલ સંખ્યા $8\times\frac{1}{8}=1$ પરમાણુ થશે.

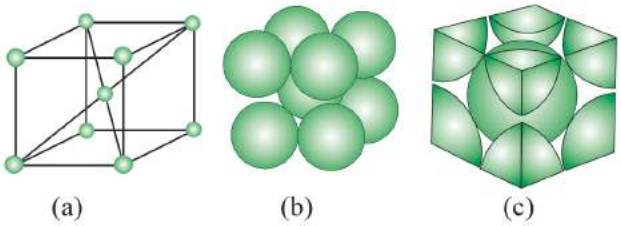


(a) (b) (c)

આકૃતિ 1.13 : આદિમ ઘન એકમકોષ (a) ખુલ્લી રચના. (b) અવકાશ-ભરતી રચના (c) દરેક એકમકોષમાં સમાવિષ્ટ પરમાણુઓ વાસ્તવિક ભાગ

1.5.2 અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (Body Centred Cubic Unit Cell)

અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) એકમ કોષ તેના દરેક ખૂણા પર એક પરમાણુ ધરાવે છે અને એક પરમાણુ તેના અંતઃકેન્દ્ર પર હોય છે. આકૃતિ 1.14 (a) ખુલ્લી રચના દર્શાવે છે. (b) અવકાશ ભરતી રચના અને (c) એકમકોષ છે જેમાં તેમાં સમાવિષ્ટ પરમાણુના વાસ્તવિક ભાગ સમાવિષ્ટ છે. એ જોઈ શકાય છે કે અંતઃકેન્દ્ર પર રહેલો પરમાણુ જે



આકૃતિ 1.14 : અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય એકમકોષ (a) ખુલ્લી રચના (b) અવકાશ ભરતી રચના (c) દરેક એકમકોષમાં સમાવિષ્ટ પરમાણુઓનો વાસ્તવિક ભાગ

એકમ કોષમાં રહેલો છે તે સંપૂર્ણપણે એકમ કોષનો હોય છે. આથી, અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) એકમ કોષમાં :

(i) 8 ખૂણાઓ $\times \frac{1}{8}$ દરેક ખૂણાનો પરમાણુ $= 8 \times \frac{1}{8}$ = 1 પરમાણુ

(ii) એક અંતઃકેન્દ્રિત પરમાણુ $= 1 \times 1$ = 1 પરમાણુ

$\therefore$ પ્રતિ એકમ કોષ પરમાણુઓની કુલ સંખ્યા = 2 પરમાણુઓ

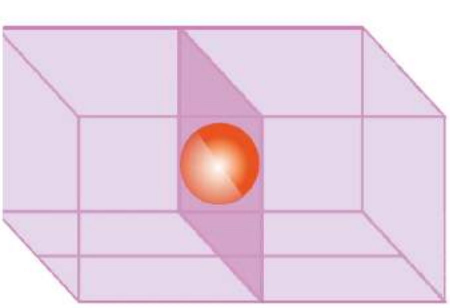
1.5.3 ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (Face Centred Cubic Unit Cell)

ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય (fcc) એકમ કોષ બધા જ ખૂણાઓ પર પરમાણુ ધરાવે છે અને સમઘનના બધા જ ફલકોના કેન્દ્ર પર એક એક પરમાણુ. આ આકૃતિ 1.15માં જોઈ શકાય છે કે દરેક પરમાણુ જે ફલકકેન્દ્ર પર સ્થાન ધરાવે છે તે એકમ કોષના બે નજીકના ફલક વચ્ચે ભાગીદારી કરે છે અને માત્ર $\frac{1}{2}$ ભાગ દરેક પરમાણુનો તે એકમ કોષની ભાગીદારી કરે છે. આકૃતિ 1.16 (a) ખુલ્લી રચના (b) અવકાશ ભરતી નમૂનો અને (c) એકમ કોષ જે તેમાં સમાવિષ્ટ એકમ કોષના પરમાણુનો વાસ્તવિક ભાગ દર્શાવે છે. આમ ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય (fcc) એકમકોષમાં :

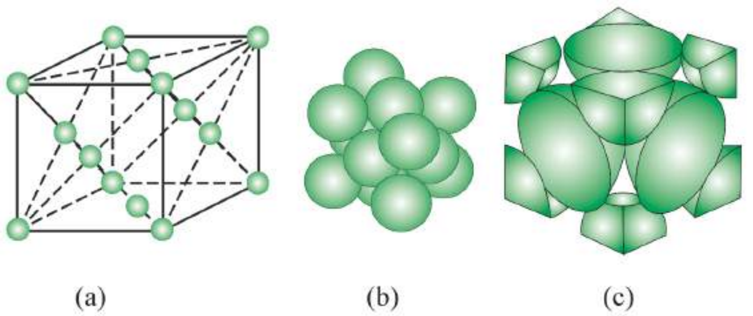
(i) 8 ખૂણાના પરમાણુઓ $\times \frac{1}{8}$ પરમાણુ પ્રતિ એકમ $= 8 \times \frac{1}{8}$ = 1 પરમાણુ

(ii) 6 ફલક કેન્દ્રિત પરમાણુઓ $\times \frac{1}{2}$ પરમાણુ પ્રતિ એકમ કોષ $= 6 \times \frac{1}{2}$ = 3 પરમાણુઓ

$\therefore$ પરમાણુઓની કુલ સંખ્યા પ્રતિ એકમ કોષ = 4 પરમાણુઓ



આકૃતિ 1.15 : પરમાણુ જે એકમ કોષના ફલક કેન્દ્ર પર બે એકમ કોષો વચ્ચે ભાગીદારી કરે છે.



આકૃતિ 1.16 : ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (a) ખુલ્લી રચના (b) અવકાશ ભરતી રચના (c) દરેક એકમ કોષમાં સમાવિષ્ટ પરમાણુઓનો વાસ્તવિક ભાગ

લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

1.9 'લેટિસ બિંદુ'ની સાર્થકતા જણાવો.

1.10 એકમ કોષને લાક્ષણિક બનાવતા પ્રાચલોનાં નામ લખો.

1.11 તફાવત દર્શાવો (વિભેદિત કરો) :

(i) ષટ્કોણીય અને મોનોક્લિનિક એકમ કોષો

(ii) ફલક કેન્દ્રિત અને અંત (છેડો) કેન્દ્રિત એકમ કોષો

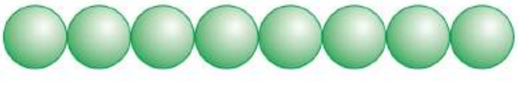
1.12 સમજાવો કે સમઘનીય એકમ કોષના (i) ખૂણા પર અને (ii) અંતઃકેન્દ્રિત સ્થાન પર રહેલા પરમાણુનો કેટલો ભાગ તેના પડોશી એકમ કોષનો ભાગ રોકે છે ?

1.6 સંવૃત સંકુલિત રચનાઓ (Close Packed Structures)

ઘન પદાર્થોમાં ઘટક કણો ન્યૂનતમ ખાલી જગ્યા છોડીને સંવૃત સંકુલિત હોય છે. આપણે ઘટક કણોને એકસરખા સખત ગોળા તરીકે ગણીએ અને ત્રિ-પરિમાણિય રચનાને ત્રણ સોપાનમાં રચીએ.

(a) એક પરિમાણમાં સંવૃત સંકુલન

આમાં માત્ર એક જ રીતે એક પરિમાણીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં ગોળાઓ ગોઠવાયેલા છે. એટલે કે તેમને એકબીજાને અડકે તેમ હરોળમાં ગોઠવણી (આકૃતિ 1.17).



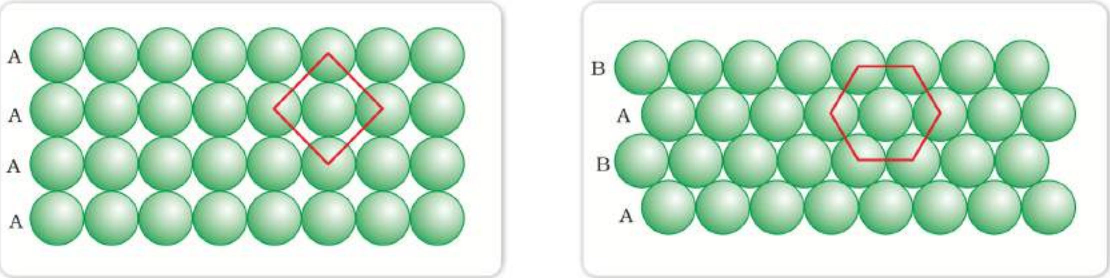
આકૃતિ 1.17 : એક પરિમાણમાં ગોળાઓનું સંવૃત સંકુલન

આ ગોઠવણમાં દરેક ગોળો તેના બે પડોશીના ગોળા સાથે સંપર્ક ધરાવે છે. કણના સૌથી નજીકના પડોશી કણોની સંખ્યાને 'સવર્ગ આંક' **(coordination number)** કહે છે. આમ એક પરિમાણીય સંવૃત સંકુલિત ગોઠવણમાં સવર્ગ આંક 2 છે.

(b) દ્વિ-પરિમાણમાં સંવૃત સંકુલન

દ્વિ-પરિમાણીય સંવૃત સંકુલિત રચના સંવૃત સંકુલિત ગોળાની હારની થપ્પી (stacking) અથવા ગોઠવણી (placing) કરીને રચી શકાય છે. આને બે જુદી જુદી રીતે કરી શકાય.

(i) બીજી હરોળને પ્રથમ હરોળના સંપર્કમાં એવી રીતે ગોઠવવામાં આવે છે કે બીજી હરોળના ગોળાનો પ્રથમ હરોળના ગોળાની બરાબર જ ઉપર ગોઠવાયેલા હોય છે. બંને હરોળના ગોળાઓ ઊભી રીતે અને આડી રીતે બરોબર ગોઠવાયેલા (aligned) હોય છે. જો આપણે પ્રથમ હરોળને 'A' પ્રકારની હરોળ કહીએ અને બીજી હરોળ જો બરાબર પ્રથમ હરોળ જેવી જ હોય તો તેને પણ આપણે 'A' પ્રકારની હરોળ કહીએ. આ જ પ્રમાણે આપણે બીજી વધારે હરોળ પ્રથમ હરોળના જેવી જ ગોઠવી શકીએ અને AAA પ્રકારની ગોઠવણ આકૃતિ 1.18 (a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે મેળવી શકીએ.



(a) (b)

આકૃતિ 1.18 : (a) દ્વિ-પરિમાણમાં ગોળાઓનું ચોરસ સંવૃત સંકુલન (b) ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન

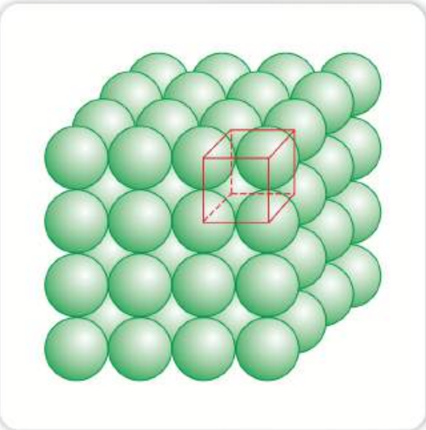
આ ગોઠવણમાં દરેક ગોળો તેના ચાર પડોશીના દરેક ગોળા સાથે સંપર્કમાં હોય છે. આથી દ્વિ-પરિમાણીય સવર્ગ આંક 4 છે. વળી, ચારેય તદ્દન નજીકના પડોશી ગોળાના કેન્દ્રોને જોડીએ, તો એક ચોરસ રચાશે. આથી આ સંકુલનને દ્વિ-પરિમાણમાં ચોરસ સંવૃત સંકુલન કહે છે.

(ii) બીજી હરોળ પહેલી હરોળ પર સાંતરિત (staggered) રીતે ગોઠવીએ જેથી ગોળાઓ પહેલી હરોળના ગોળાઓ વચ્ચેના અવનમનમાં (ખાડામાં) (depression) ગોઠવાય. જો ગોળાઓની પ્રથમ હરોળને A પ્રકારની કહીએ અને બીજી હરોળ જે હવે અલગ છે તેને B પ્રકારની કહીએ. જ્યારે ત્રીજી હરોળ બીજી હરોળની નજીકમાં સાંતરિત રીતે પ્રથમ હરોળની બરોબર જેમ જ ગોઠવીએ તો આ હરોળને પણ 'A' પ્રકારની કહી શકાય. આ જ પ્રમાણે ચોથી હરોળને એવી રીતે ગોઠવીએ કે તે બીજી હરોળની ઉપર બરોબર રીતે ગોઠવાય (B પ્રકાર) આથી આ ગોઠવણી ABAB પ્રકારની થશે. આ ગોઠવણમાં મુક્ત જગ્યાનું પ્રમાણ ઓછું છે અને તેથી આ સંકુલન ચોરસ સંવૃત સંકુલન કરતાં વધારે સક્ષમ (efficient) છે. દરેક ગોળો તેની પડોશના છ ગોળા સાથે સંપર્કમાં છે અને તેથી દ્વિ-પરિમાણીય સવર્ગ આંક 6 છે. આ છ ગોળાના કેન્દ્રો ષટ્કોણના(hexagon) ખૂણાઓ પર હોય છે આકૃતિ 1.18 (b). આથી આ પૅકિંગને દ્વિ-પરિમાણીય ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન કહે છે. આકૃતિ 1.18 (b)માં જોઈ શકાય છે કે તેમાં કેટલાક છિદ્રો (void) (ખાલી અવકાશ) છે. આ આકારમાં ત્રિકોણીય છે. ત્રિકોણીય છિદ્રો બે પ્રકારના હોય છે. એક હરોળમાં ત્રિકોણના શિરોબિંદુ ઊંચી તરફ (upward) હોય છે અને બીજા સ્તરમાં નીચેની તરફ (downward) હોય છે.

(c) ત્રિ-પરિમાણમાં સંવૃત સંકુલન

બધી જ વાસ્તવિક રચનાઓ ત્રિ-પરિમાણીય રચનાઓ હોય છે. તેમને દ્વિ-પરિમાણીય સ્તરોને એક બીજા પર થપ્પીની રીતે ગોઠવી મેળવી શકાય છે. છેલ્લા વિભાગમાં આપણે દ્વિ-પરિમાણમાં સંવૃત સંકુલનની ચર્ચા કરી જે બે પ્રકારની હોઈ શકે. ચોરસ સંવૃત સંકુલન અને ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન. આપણે જોઈએ કે આવી રચનાઓમાંથી કેટલા પ્રકારની ત્રિ-પરિમાણીય સંવૃત સંકુલન મેળવી શકીએ.

(i) દ્વિ-પરિમાણીય ચોરસ સંવૃત સંકુલિત સ્તરમાંથી ત્રિ-પરિમાણીય સંવૃત સંકુલન : પ્રથમ હરોળ પર બીજી સ્તરની હરોળ ગોઠવતી વખતે આપણે અગાઉ અનુસર્યા તે જ એકસરખો નિયમ લાગુ પાડીએ. આથી પ્રથમ સ્તર પર બીજું સ્તર એવી રીતે ગોઠવીએ જેથી તે પ્રથમ સ્તરના ગોળાઓની બરોબર ઉપર જ હોય. આ ગોઠવણમાં બંને સ્તરના ગોળાઓ આડી અને ઊભી બંને રીત એકબીજા પર બરાબર આકૃતિ 1.19માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ગોઠવાય છે. આજ રીતે આપણે બીજા વધારે સ્તર એક ઉપર બીજું તેમ ગોઠવી શકીએ. જો પ્રથમ સ્તરના ગોળાની ગોઠવણીને 'A' પ્રકારની કહીએ. બધા જ સ્તરોની ગોઠવણી સરખી થશે. આમ આ લેટિસ AAA પ્રકારની ભાતની હશે.આ પ્રમાણે સર્જિત થયેલી લેટિસ સાદો ઘન લેટિસ છે અને એકમ કોષ આદિમ ઘન એકમ કોષ છે. (જુઓ આકૃતિ 1.19)

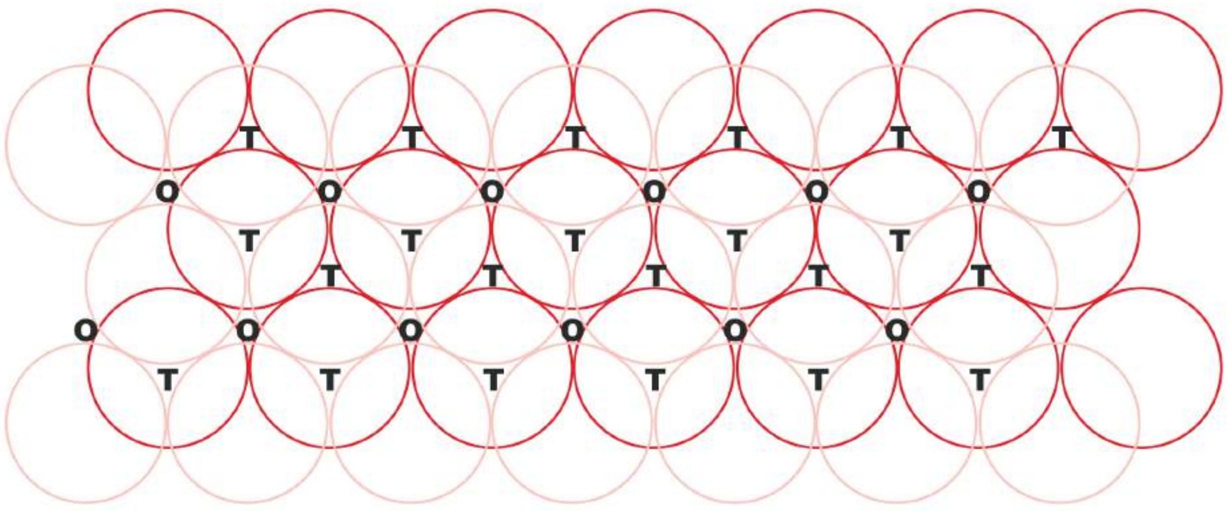


આકૃતિ 1.19 : AAA ...... ગોઠવણથી રચાયેલ સાદી ઘન લેટિસ

(ii) દ્વિ-પરિમાણીય ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલિત સ્તરમાંથી ત્રિ-પરિમાણીય સંવૃત સંકુલન : ત્રિ-પરિમાણીય સંવૃત સંકુલિત રચના સ્તરોને એક ઉપર બીજું એમ ગોઠવી સર્જી શકાય.

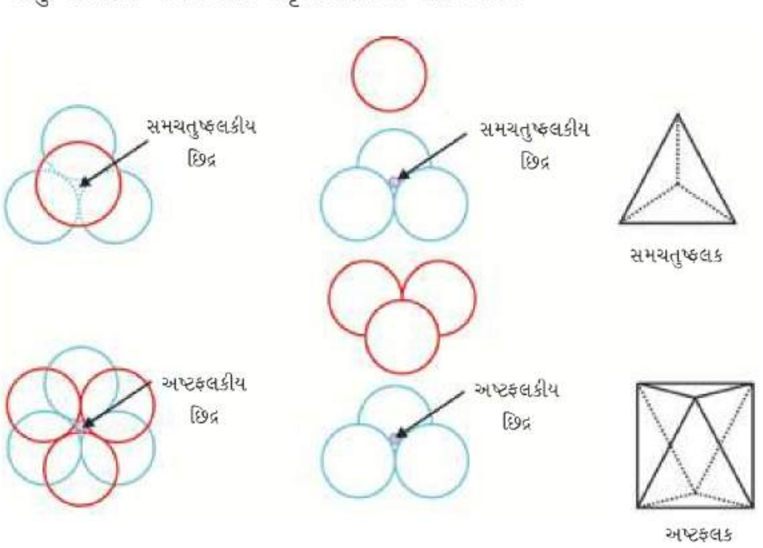
(a) બીજા સ્તરને પ્રથમ સ્તર પર ગોઠવીને

આપણે ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલિત સ્તર 'A' લઈએ અને તેના પર એવું જ બીજું સ્તર ગોઠવીએ જેથી બીજા સ્તરના ગોળાઓ પહેલા ગોળાના અવનમનમાં બરાબર ગોઠવાય. આમાં બંને સ્તરના ગોળાઓ અલગ રીતે ગોઠવાયેલા છે માટે બીજા સ્તરને B કહીએ. આકૃતિ 1.20માંથી આપણે અવલોકન કરી શકીએ કે પ્રથમ સ્તરના બધા જ ત્રિકોણીય છિદ્રો બીજા સ્તરના ગોળાઓ વડે સંપૂર્ણ રીતે ઢંકાયેલા નથી. આ જુદી ગોઠવણની રચના કરે છે. જ્યારે બીજા સ્તરના ગોળાઓ પ્રથમ ગોળાના છિદ્રો પર (અથવા તેથી ઊલટું) ગોઠવાય છે ત્યારે સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રો રચાય છે.



આકૃતિ 1.20 : સંવૃત સંકુલિત ગોળાઓના બે સ્તરોની થપ્પી અને તેમાં રચાયેલા છિદ્રો.
T = સમચતુષ્ફલકીય છિદ્ર, O = અષ્ટફલકીય છિદ્ર

આ છિદ્રો **સમચતુષ્ફલકીય** છિદ્રો કહેવાય છે કારણ કે આ ચારેય ગોળાના કેન્દ્રોને જોડીએ ત્યારે સમચતુષ્ફલક રચાય છે. તેમને T વડે આકૃતિ 1.20માં ચિહ્નિત કરેલ છે. આવું એક છિદ્ર અલગ રીતે આકૃતિ 1.21માં દર્શાવેલ છે.



(a) (b) (c)

આકૃતિ 1.21 :
સમચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો
(a) ઉપરથી જોતા (top view)
(b) વિસ્તૃત રીતે બાજુમાંથી જોતા (exploded side view)
(c) છિદ્રનો ભૌમિતિક આકાર

બીજા સ્થાન પર, બીજા સ્તરમાંના ત્રિકોણીય છિદ્રો પ્રથમ સ્તરના ત્રિકોણીય છિદ્રો પર હોય છે. અને તેમના ત્રિકોણીય આકારો અધ્યારોપિત થતા નથી તેમાંના એક ત્રિકોણનું શિરોબિંદુ ઉપરની તરફ હોય છે અને બીજું નીચેની તરફ હોય છે. આ છિદ્રોને આકૃતિ 1.20માં 'O' વડે ચિહ્નિત કરેલ છે. આવા છિદ્રો છ ગોળાઓ વડે ઘેરાયેલા છે અને તેમને અષ્ટફલકીય છિદ્ર કહે છે. આવું એક છિદ્ર અલગ રીતે આકૃતિ 1.21માં દર્શાવેલ છે. આ બે પ્રકારના છિદ્રોની સંખ્યા સંવૃત સંકુલિત ગોળાની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે.

ધારો કે સંવૃત સંકુલિત ગોળાઓની સંખ્યા N છે;

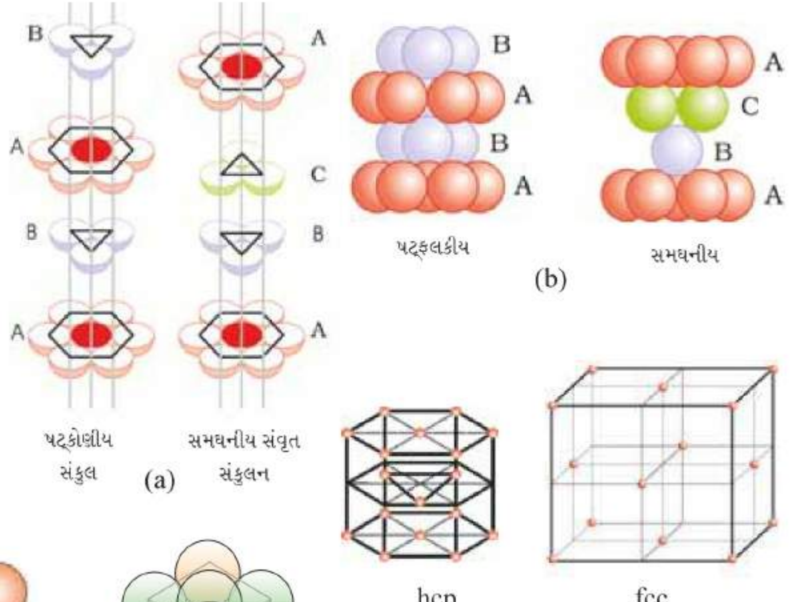
પછી, સર્જિત અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = N

સર્જિત સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = 2N

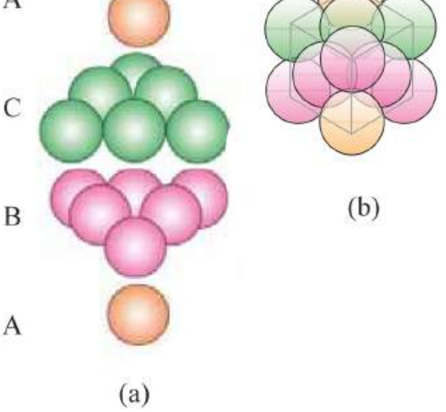
(b) બીજા સ્તર પર ત્રીજું સ્તર મૂકવું

જ્યારે બીજા સ્તર પર ત્રીજું સ્તર મૂકવામાં આવે છે ત્યારે બે શક્યતાઓ રહેલી છે.

(i) *સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રો ઢાંકતા :* બીજા સ્તરના સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રો ત્રીજા સ્તરના ગોળાઓ વડે ઢંકાઈ જાય. આ બાબતમાં ત્રીજા સ્તરના ગોળા પ્રથમ સ્તરના ગોળાઓ સાથે બરોબર રીતે (align) ગોઠવાય છે. આમ, ગોળાની ભાત એકાંતરે (alternative) પુનરાવર્તિત થાય છે. આ ભાત ને ABAB ભાત તરીકે લખાય છે. આ રચના હેકઝાગોનલ ક્લોઝ પૅક (hcp) રચના કહેવાય છે (આકૃતિ 1.22). આ પ્રકારની પરમાણુની ગોઠવણ મૅગ્નેશિયમ અને ઝિંક જેવી ઘણી ધાતુઓમાં મળી આવે છે.



આકૃતિ 1.22 :
(a) ષટ્ફલકીય સમઘનીય સંવૃત સંકુલનનો વિસ્તૃત દેખાવ જે ગોળાના સ્તર દર્શાવે છે. (b) દરેક કિસ્સામાં ચાર સ્તર થપ્પી કરેલા (c) સંકુલનની ભૂમિતિ



આકૃતિ 1.23 :
(a) ABCABC ... સ્તરોની ગોઠવણી જ્યારે અષ્ટફલકીય છિદ્ર ઢંકાયેલ છે. (b) આ ગોઠવણીથી રચાયેલ રચનાનો અંશ (fragment) જે સમઘનીય સંવૃત સંકુલિત (ccp) અથવા ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય (fcc) રચનામાં પરિણમે છે.

(ii) *અષ્ટફલકીય છિદ્રોને ઢાંકતા :* ત્રીજું સ્તર બીજા સ્તર પર એવી રીતે ગોઠવવામાં આવે છે જેથી તેના ગોળા અષ્ટફલકીય છિદ્રોને ઢાંકે છે. આ રીતે ગોઠવવામાં આવે ત્યારે ત્રીજા સ્તરના ગોળાઓ પ્રથમ અથવા દ્વિતીય સ્તરના ગોળાઓ સાથે બરોબર રીતે (aligned) ગોઠવાતા નથી. આ ગોઠવણીને પ્રકાર C કહે છે. માત્ર જ્યારે

ચોથું સ્તર ગોઠવવામાં આવે છે ત્યારે જ ગોળાઓ આકૃતિ 1.22 અને 1.23માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પહેલા સ્તરના ગોળાઓ પર બરાબર રીતે ગોઠવાય છે. સ્તરની આ ભાતને ABCABC ... પ્રમાણે લખવામાં આવે છે. આ રચનાને સમઘનીય સંવૃત સંકુલિત (cubic close packed) અથવા ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય (face centred cubic) રચના કહેવાય છે. કૉપર અને સિલ્વર જેવી ધાતુઓ આ રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે.

આ બંને પ્રકારના સંવૃત સંકુલન ખૂબ જ સક્ષમ છે અને સ્ફટિકનો 74 % અવકાશ ભરી દે છે. તેમાંના ગમે તેમાં દરેક ગોળો બાર ગોળાઓના સંપર્કમાં હોય છે. આમ, આ બંને રચનાઓમાંથી ગમે તેમાં સવર્ગ આંક 12 છે.

1.6.1 સંયોજનનું સૂત્ર અને ભરાયેલ છિદ્રોની સંખ્યા (Formula of a Compound and Number of Voids Filled)

અગાઉ આ વિભાગમાં આપણે શીખ્યા કે જ્યારે કણો સંવૃત સંકુલિત હોય અને ccp અથવા hcp રચનામાં પરિણમે ત્યારે બે પ્રકારના છિદ્રો સર્જિત થાય છે. જ્યારે લેટિસમાં હાજર અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા સંવૃત સંકુલિત કણોની સંખ્યા બરાબર હોય છે, ત્યારે સર્જિત સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા બમણી હોય છે. આયનીય ઘનમાં વધુ મોટા આયન (સામાન્ય રીતે ઋણાયન) સંવૃત સંકુલિત રચના બનાવે છે અને વધુ નાના આયનો (સામાન્ય રીતે ધનાયન) છિદ્રોમાં ભરાય છે. જો પાછળના આયન એટલો નાનો હોય છે કે સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રો રોકાયેલા છે. જો વધારે મોટા હોય તો તે અષ્ટફલકીય છિદ્રોમાં ભરાય છે. બધા જ અષ્ટફલકીય અથવા સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રો ભરાતા નથી. આપેલ સંયોજનમાં, ભરાયેલા અષ્ટફલકીય અથવા સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોનો અંશ જ ભરાયેલો હોય છે જે સંયોજનના રાસાયણિક સૂત્ર પર આધાર રાખે છે જે નીચેના કોયડા પરથી જોઈ શકાય છે.

કોયડો 1.1 એક સંયોજન બે તત્ત્વો X અને Yનું બનેલું છે. તત્ત્વ Y (ઋણાયન તરીકે)ના પરમાણુઓ ccp બનાવે છે અને તત્ત્વ X (ધનાયન તરીકે)ના પરમાણુઓ બધા જ અષ્ટફલકીય છિદ્રો ભરી દે છે. સંયોજનનું સૂત્ર શું હશે ?

ઉકેલ : તત્ત્વ Y વડે ccp લેટિસ રચાય છે. સર્જિત થયેલા અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા તેમાં રહેલા Y પરમાણુની સંખ્યા બરાબર હોય છે. બધા જ અષ્ટફલકીય છિદ્રો Xના પરમાણુઓ વડે રોકાયેલા છે, તેથી તેમની સંખ્યા તત્ત્વ Yના જેટલા જ થશે. આમ, તત્ત્વ X અને Yના પરમાણુ સરખી સંખ્યામાં અથવા 1 : 1ના ગુણોત્તરમાં હાજર છે. આથી સંયોજનનું સૂત્ર XY છે.

કોયડો 1.2 તત્ત્વ Bના પરમાણુઓ hcp લેટિસ રચે છે અને તત્ત્વ Aના પરમાણુઓ સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોના 2/3માં ભાગમાં રોકાયેલ છે. તત્ત્વ A અને B દ્વારા રચાતા સંયોજનનું સૂત્ર શું છે ?

ઉકેલ : રચાતા સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા તત્ત્વના Bના પરમાણુની સંખ્યાથી બમણી છે અને માત્ર A તત્ત્વના પરમાણુઓ વડે આમાંના માત્ર 2/3 જ રોકાયેલા છે. આથી A અને Bના પરમાણુઓની સંખ્યાનો ગુણોત્તર $2\times\frac{2}{3}$: 1 અથવા $\frac{4}{3}$: 1 છે અને સંયોજનનું સૂત્ર A_4B_3 છે.

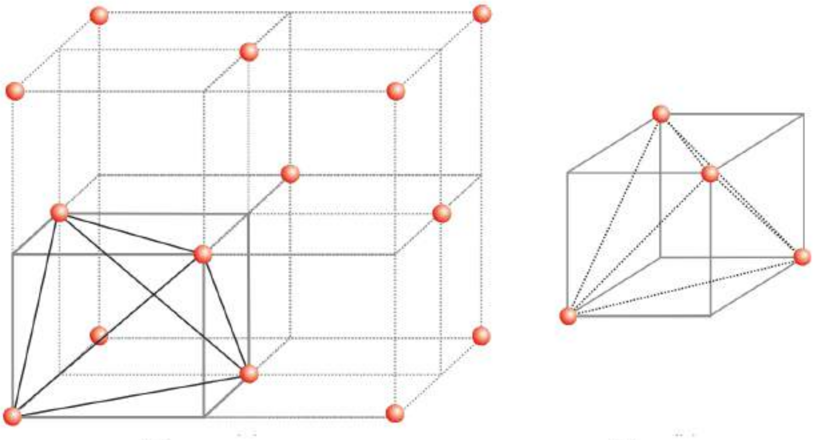
ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રોના સ્થાન દર્શાવવા

આપણે જાણીએ છીએ કે સંવૃત સંકુલિત રચનાને બંને સમચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો હોય છે. આપણે ccp અથવા fcc રચના લઈએ અને તેમાં આ છિદ્રોના સ્થાન દર્શાવીએ.

(a) ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર દર્શાવવા

આપણે ccp અથવા fcc લેટિસ (આકૃતિ 1(a))ના એકમ કોષને ધ્યાનમાં લઈએ. એકમ કોષને આઠ નાના સમઘનમાં વિભાજિત કરેલ છે.

દરેક નાના સમઘનને એકાંતરે આવેલા ખૂણા પર પરમાણુ છે (આકૃતિ 1(a)). એકંદરે દરેક નાના સમઘનને ચાર પરમાણુ છે. તેમને એકબીજા સાથે જોડવામાં આવે તો તે નિયમિત સમચતુષ્ફલક રચે છે. તેથી દરેક નાના સમઘનમાં એક સમચતુષ્ફલકીય છિદ્ર છે અને કુલ આઠ સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રો હોય છે. ccp રચનાના એક એકમ કોષમાંના આઠ નાના સમઘનમાંના દરેકને એક છિદ્ર હોય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે ccp રચનામાં દરેક એકમ કોષમાં 4 પરમાણુ હોય છે. તેથી સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા પરમાણુની સંખ્યાથી બમણી હોય છે.



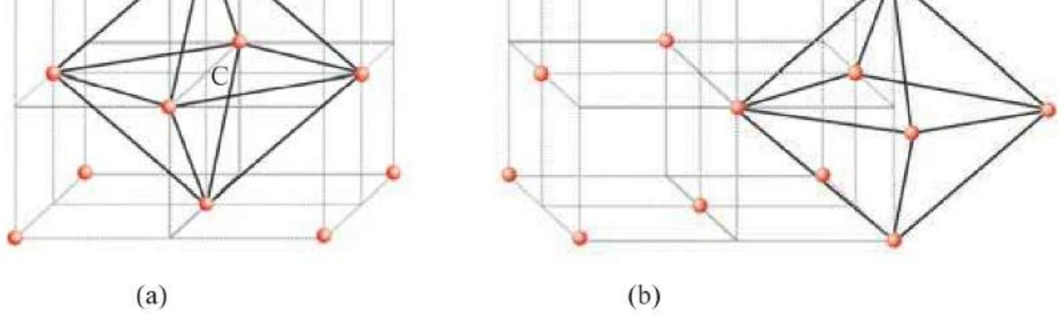
(a) (b)

આકૃતિ 1 : (a) ccp રચનાના એક એકમ કોષમાં આઠ સમચતુષ્ફલકીય છિદ્ર
(b) એક સમચતુષ્ફલકીય છિદ્ર જે ભૂમિતિ દર્શાવે છે.

(b) અષ્ટફલકીય છિદ્રના સ્થાન દર્શાવવા

આપણે ફરીવાર ccp અથવા fcc લેટિસ (આકૃતિ 2(a))નો એકમ કોષ ધ્યાનમાં લઈએ ઘનનો અંતઃકેન્દ્ર C રોકાયેલો નથી પરંતુ ફલક કેન્દ્ર પર છ પરમાણુઓથી ઘેરાયેલો છે. જો આ ફલક કેન્દ્રોને જોડવામાં આવે તો અષ્ટફલક સર્જિત થશે. આમ, આ એકમ કોષને એક અષ્ટફલકીય છિદ્ર ઘનના અંતઃકેન્દ્ર પર હોય છે.

અંતઃકેન્દ્ર ઉપરાંત 12 ધારોમાંની દરેકના કેન્દ્ર પર એક અષ્ટફલકીય છિદ્ર છે (આકૃતિ 2(b)). તે છ પરમાણુઓથી ઘેરાયેલો છે, ચાર તે જ એક કોષથી સમાવિષ્ટ (2 ખૂણાઓ પર અને 2 ફલક કેન્દ્ર પર) અને બે પાસપાસેના એકમ કોષમાં સમાવિષ્ટ છે. દરેક સમઘનની દરેક ધાર નજીક નજીકના ચાર એકમ કોષો સાથે ભાગીદાર થયેલા હોય છે તે જ પ્રમાણે અષ્ટફલકીય છિદ્ર પણ સ્થાન ધરાવે છે. દરેક છિદ્રનો માત્ર $\frac{1}{4}$ ભાગ વિશિષ્ટ એકમકોષમાં સમાવિષ્ટ છે.



(a) (b)

આકૃતિ 2 : (a) ccp અથવા fcc લેટિસના દરેક એકમ કોષમાંના અષ્ટફલકીય છિદ્રોના સ્થાન.
(b) દરેક ધારના કેન્દ્ર પર (માત્ર એક જ આવું છિદ્ર દર્શાવેલ છે).

આથી સમઘનીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં સમઘનના અંતઃકેન્દ્ર પર અષ્ટફલકીય છિદ્ર = 1

12 અષ્ટફલકીય છિદ્રો દરેક ધાર પર સ્થાન ધરાવે છે અને ચાર એકમકોષ વચ્ચે ભાગીદારી કરે છે $= 12 \times \frac{1}{4} = 3$

$\therefore$ કુલ અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = 4

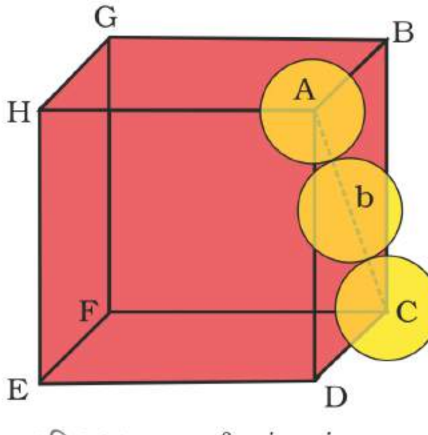
આપણે જાણીએ છીએ કે ccp રચનામાં દરેક એકમ કોષને 4 પરમાણુઓ છે. આથી અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા આ સંખ્યા જેટલી જ છે.

1.7 સંકુલન ક્ષમતા (Packing Efficiency)

કોઈ પણ રીતે ઘટક કણો (પરમાણુ, અણુ અથવા આયન) સંકુલિત થયેલા હોય તોપણ છિદ્રોના સ્વરૂપે હંમેશાં કેટલોક મુક્ત અવકાશ (space) હોય છે. **સંકુલન ક્ષમતા** કણો વડે ભરાયેલા કુલ અવકાશના ટકા છે. આપણે જુદા જુદા પ્રકારની રચનાઓમાં સંકુલન ક્ષમતા ગણીએ.

1.7.1 hcp અને ccp રચનામાં સંકુલન ક્ષમતા (Packing Effciency in hcp અને ccp રચનાઓ)

આ બંને પ્રકારના સંવૃત સંકુલન (hcp અને ccp) સરખી ક્ષમતાવાળા છે. આપણે ccp રચનામાં સંકુલનની ક્ષમતા ગણીએ. આકૃતિ 1.24માં ધારો કે એકમ કોષની ધાર લંબાઈ 'a' છે અને ફલક વિકર્ણ AC = b છે.



આકૃતિ 1.24 : સમઘનીય સંવૃત સંકુલન સ્પષ્ટતા માટે થઈને બીજી બાજુઓને ગોળાઓ દ્વારા દર્શાવેલ નથી.

Δ ABC માં,

$AC^2 = b^2 = BC^2 + AB^2$

$= a^2 + a^2 = 2a^2$

$b = \sqrt{2}\, a$

જો ગોળાની ત્રિજ્યા r હોય, તો આપણે લખી શકીએ કે,

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

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

(આપણે આમ પણ લખી શકીએ, $r = \frac{a}{2\sqrt{2}}$)

આપણે જાણીએ છીએ કે ccp રચનામાં દરેક એકમ કોષને અસરકારક રીતે 4 ગોળા હોય છે. ચાર ગોળાઓનું કુલ કદ $4 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3$ બરાબર થશે અને સમઘનનું કદ a^3 અથવા $(2\sqrt{2}r)^3$ થશે.

તેથી,

$$\text{પૅકિંગ ક્ષમતા} = \frac{\text{એકમ કોષમાંના ચાર ગોળાથી રોકાયેલા કદ} \times 100}{\text{એકમ કોષનું કુલ કદ}}\,\%$$

$$= \frac{4 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3 \times 100}{(2\sqrt{2}r)^3}\,\%$$

$$= \frac{(16/3)\,\pi r^3 \times 100}{16\sqrt{2}r^3}\,\% = 74\,\%$$

1.7.2 અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય રચનામાં સંકુલનની ક્ષમતા (Efficiency of Packing in Body Centred Cubic Structures)

આકૃતિ 1.25માંથી સ્પષ્ટ છે કે કેન્દ્રમાંનો પરમાણુ બીજા બે પરમાણુઓ સાથે વિકર્ણરૂપે ગોઠવાઈને અડેલો હશે.

Δ EFDમાં

$b^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$

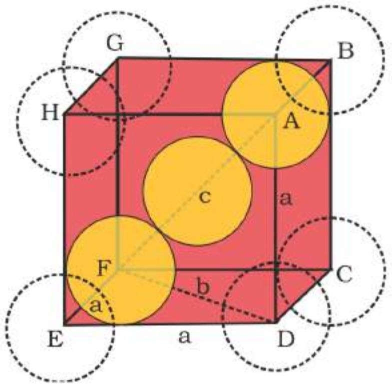
$b = \sqrt{2}a$

હવે, Δ AFDમાં,

$c^2 = a^2 + b^2 = a^2 + 2a^2 = 3a^2$

$c = \sqrt{3}a$

અંતઃ વિકર્ણ cની લંબાઈ $4r$ છે જ્યાં r ગોળા(પરમાણુ)ની ત્રિજ્યા છે, કારણ કે બધા ત્રણેય ગોળા વિકર્ણ રીતે એકબીજાને અડકે છે.



આકૃતિ 1.25 : અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (અંતઃ વિકર્ણ તરફના ગોળા ઘટ્ટ હદરેખાઓથી દર્શાવેલ છે).

તેથી, $\sqrt{3}a = 4r$

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

વળી, આપણે લખી શકીએ કે, $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$

આ પ્રકારની રચનામાં પરમાણુની કુલ સંખ્યા 2 છે અને તેમનું કદ $2 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3$ થશે.

સમઘનનું કદ a^3 બરાબર $\left(\frac{4}{\sqrt{3}}r\right)^3$ અથવા $a^3 = \left(\frac{4}{\sqrt{3}}r\right)^3$ થશે.

$$\text{તેથી, પૅકિંગ ક્ષમતા} = \frac{\text{એકમ કોષમાં બે ગોળાઓ વડે રોકાયેલા કદ} \times 100}{\text{એકમ કોષનું કુલ કદ}} \%$$

$$= \frac{2 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3 \times 100}{[(4/\sqrt{3})r]^3} \%$$

$$= \frac{(8/3)\pi r^3 \times 100}{64/(3\sqrt{3})r^3} \% = 68\ \%$$

1.7.3 સાદા સમઘનીય લેટિસમાં સંકુલન ક્ષમતા (Packing Efficiency in Simple Cubic Lattice)

સાદા સમઘનીય લેટિસના પરમાણુઓ સમઘનના ખૂણાઓ પર ગોઠવાયેલા હોય છે કણો એકબીજાને ધાર મારફતે અડકે છે (આકૃતિ 1.26).

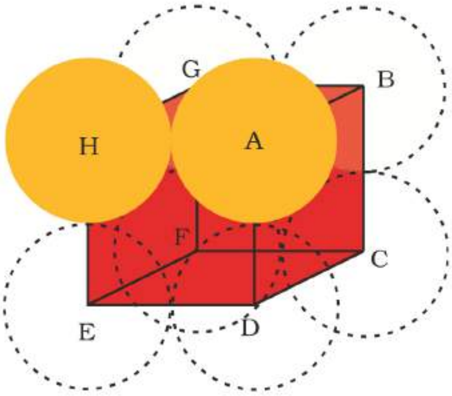
આમ, ધારની લંબાઈ અથવા સમઘનની બાજુ 'a' અને દરેક કણની ત્રિજ્યા r નીચે પ્રમાણે સંબંધિત છે.

$a = 2r$

સમઘન એકમ કોષનું કદ = $a^3 = (2r)^3 = 8r^3$

સાદો સમઘનીય એકમ કોષ 1 જ પરમાણુ ધરાવતો હોઈ,

રોકાયેલ અવકાશનું કદ = $\frac{4}{3}\pi r^3$



આકૃતિ 1.26 : સાદા સમઘનીય એકમ કોષ ખૂણા પરના ગોળાઓ સમઘનની ધાર સાથે જોડાયેલા છે.

∴ સંકુલન ક્ષમતા

$$= \frac{\text{એક પરમાણુનું કદ}}{\text{સમઘન એકમ કોષનું કદ}} \times 100\,\%$$

$$= \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{8r^3} \times 100 = \frac{\pi}{6} \times 100$$

$= 52.36\ \% = 52.4\ \%$

આમ, આપણે એમ તારવી શકીએ કે ccp અને hcp રચનાને મહત્તમ પૅકિંગ ક્ષમતા હોય છે.

1.8 એકમ કોષ પરિમાણ સમાવિષ્ટ ગણતરીઓ (Calculations Involving Unit Cell Dimensions)

એકમ કોષ પરિમાણોમાંથી એ શક્ય છે કે એકમ કોષનું કદ ગણી શકીએ. ધાતુની ઘનતા જાણીને આપણે એકમ કોષમાંના પરમાણુનું દળ ગણી શકીએ. એકલ (એકાકી) પરમાણુના દળનું નિર્ધારણ એવોગેડ્રો અચળાંકનું નિર્ધારણ કરવાની ચોક્કસ પદ્ધતિ આપે છે. ધારો કે X-કિરણ વિવર્તનની મદદથી ઘન સ્ફટિકના એકમ કોષની ધારની લંબાઈ નક્કી કરીએ અને તે a હોય, d ઘન પદાર્થની ઘનતા હોય અને M મોલર દળ હોય તો, ઘન સ્ફટિકની બાબતમાં

એકમ કોષનું કદ $= a^3$,

એકમ કોષનું દળ = એકમ કોષમાં પરમાણુની સંખ્યા × દરેક પરમાણુનું દળ = $z \times m$ [અહીંયા Z એક એકમ કોષમાં રહેલા પરમાણુની સંખ્યા છે અને m દરેક એકલ (એકાકી) પરમાણુનું દળ છે.]

એકમ કોષમાં રહેલા પરમાણુનું દળ

$$m = \frac{M}{N_A} \quad \text{(M મોલર દળ છે.)}$$

$$\text{તેથી, એકમ કોષની ઘનતા} = \frac{\text{એકમ કોષનું દળ}}{\text{એકમ કોષનું કદ}}$$

$$= \frac{z \cdot m}{a^3} = \frac{z \cdot M}{a^3 \cdot N_A} \quad \text{અથવા} \quad d = \frac{zM}{a^3 N_A}$$

યાદ રાખો કે એકમ કોષની ઘનતા પદાર્થની ઘનતા જેટલી જ હોય છે. ઘનની ઘનતા હંમેશાં બીજી પદ્ધતિઓથી નક્કી કરી શકાય. પાંચ પ્રાચલોમાંથી (d, z, M, a અને N_A) જો કોઈ પણ ચાર જાણતા હોઈએ તો પાંચમો પ્રાચલ નક્કી કરી શકીએ.

કોયડો 1.3 એક તત્ત્વની રચના અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) છે અને તેના કોષની ધાર 288 pm છે. તત્ત્વની ઘનતા 7.2 g/cm³ છે. તત્ત્વના 208 ગ્રામમાં કેટલા પરમાણુ રહેલા હશે ?

ઉકેલ : એકમ કોષનું કદ $= (288\ \text{pm})^3$

$$= (288 \times 10^{-12}\ \text{m})^3 = (288 \times 10^{-10}\ \text{cm})^3$$

$$= 2.39 \times 10^{-23}\ \text{cm}^3$$

તત્ત્વના 208 g નું કદ

$$= \frac{\text{દળ}}{\text{ઘનતા}} = \frac{208\text{ g}}{7.2\text{ g cm}^{-3}} = 28.88\text{ cm}^3$$

આ કદમાં એકમ કોષની સંખ્યા

$$= \frac{28.88\text{ cm}^3}{2.39\times10^{-23}\text{ cm}^3\text{ / એકમ કોષ}} = 12.08\times10^{23}\text{ એકમ કોષ}$$

દરેક bcc ઘન એકમકોષ 2 પરમાણુ ધરાવે છે. તેથી 208 gમાં કુલ પરમાણુની સંખ્યા = 2 (પરમાણુ / એકમ કોષ) $\times$ 12.08 $\times$ 10^{23} એકમ કોષ

= 24.16 $\times$ 10^{23} પરમાણુ

કોયડો 1.4 X-કિરણ વિવર્તન દર્શાવે છે કે કૉપર fcc એકમ કોષમાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે અને કોષની ધાર 3.608 $\times$ 10^{-8} cm છે. બીજા એક પ્રયોગમાં કોપરની ઘનતા 8.92 g/cm^3 નક્કી કરવામાં આવી છે. કોપરનું પરમાણ્વીય દળ ગણો.

ઉકેલ fcc લેટિસની બાબતમાં પ્રતિ એકમ કોષ પરમાણુની સંખ્યા z = 4 પરમાણુ

માટે, $M = \frac{dN_A a^3}{z}$

$$= \frac{8.92\text{ g cm}^{-3}\times6.022\times10^{23}\text{ પરમાણુ mol}^{-1}\times(3.608\times10^{-8}\text{ cm})^3}{4\text{ પરમાણુ}}$$

= 63.1 g / mol.

કૉપરનું પરમાણ્વીય દળ = 63.1u

કોયડો 1.5 સિલ્વર ccp લેટિસ રચે છે અને તેના સ્ફટિકના X-કિરણોનો અભ્યાસ દર્શાવે છે કે એકમ કોષની ધાર લંબાઈ 408.6 pm છે. સિલ્વરની ઘનતા ગણો (પરમાણ્વીય દળ =107.9 u).

ઉકેલ લેટિસ ccp છે તેથી પ્રતિ એકમ કોષ સિલ્વર પરમાણુની સંખ્યા z = 4.

સિલ્વરનું મોલર દળ = 107.9 g mol^{-1} = 107.9 $\times$ 10^{-3} kg mol^{-1}.

એકમકોષની ધાર લંબાઈ = a = 408.6 pm = 408.6 $\times$ 10^{-12} m.

ઘનતા, $d = \frac{z.M}{a^3.N_A}$

$$= \frac{4\times(109.7\times10^{-3}\text{kg mol}^{-1})}{(408.6\times10^{-12}\text{ m})^3\ (6.022\times10^{23}\text{ mol}^{-1})} = 10.5\times10^3\text{ kg m}^{-3}$$

= 10.5 g cm^{-3}

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

1.13 ચોરસ સંવૃત સંકુલિત સ્તરમાં અણુનો દ્વિ-પરિમાણીય સવર્ગ આંક શું હશે ?

1.14 એક સંયોજન ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલિત રચના બનાવે છે. તેના 0.5 mol માં છિદ્રોની કુલ સંખ્યા કેટલી હશે ? આ પૈકીના કેટલા છિદ્રો સમચતુષ્ફલકીય છે ?

1.15 એક સંયોજન બે તત્ત્વો M અને Nથી રચાય છે. તત્ત્વ N ccp રચે છે અને Mના પરમાણુઓ સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોનો 1/3 ભાગ રોકે છે. સંયોજનનું સૂત્ર શું હશે ?

1.16 નીચેનામાંથી કઈ લેટિસને સૌથી વધુ સંકુલન ક્ષમતા હશે ? (i) સાદો સમઘનીય (ii) અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય અને (iii) ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલિત લેટિસ.

1.17 2.7×10^{-2} kg mol^{-1} મોલર દળ ધરાવતું એક તત્ત્વ ઘન એકમ કોષ રચે છે જેની ધાર લંબાઈ 405 pm છે. જો તેની ઘનતા 2.7×10^{3} kg m^{-3} હોય તો ઘન એકમ કોષની પ્રકૃતિ (nature) કેવી હશે ?

1.9 ઘન પદાર્થોમાં અપૂર્ણતા (Imperfactions in Solids)

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોમાં ટૂંકાગાળા(વિસ્તાર)ની તેમજ લાંબાગાળા(વિસ્તાર)ના ક્રમની તેમના ઘટક કણોની ગોઠવણી હોય છે તેમ છતાં સ્ફટિકપૂર્ણ હોતા નથી. સામાન્ય રીતે ઘન પદાર્થ નાના સ્ફટિકોની મોટી સંખ્યાનો સમુચ્ચય ધરાવે છે. નાના સ્ફટિકોને પણ ક્ષતિ હોય છે. આવું જ્યારે સ્ફટિકીકરણ પ્રક્રિયા વધુ ઝડપથી અથવા સાધારણ (moderate) વેગે થતી હોય છે ત્યારે બને છે. એકલ (એકાકી) સ્ફટિકો જ્યારે સ્ફટિકીકરણ પ્રક્રિયા ખૂબ જ ધીમા વેગે થતી હોય છે ત્યારે રચાય છે તેમ છતાં પણ આ સ્ફટિકો ક્ષતિથી મુક્ત હોતાં નથી. ક્ષતિઓ મૂળભૂત રીતે (basically) ઘટક કણોની ગોઠવણીની અનિયમિતતાઓ છે. વિશાળ અર્થમાં લઈએ તો ક્ષતિ બે પ્રકારની હોય છે. બિંદુ ક્ષતિ અને રેખા ક્ષતિ. **બિંદુ ક્ષતિ** સ્ફટિકમય પદાર્થના પરમાણુમાં અથવા બિંદુની આજુબાજુ આદર્શ ગોઠવણીમાં અનિયમિતતા અથવા વિચલન છે જ્યારે **રેખા ક્ષતિ** લેટિસ બિંદુઓની સમગ્ર હરોળમાં આદર્શ ગોઠવણીમાં અનિયમિતતા અથવા વિચલન છે. આ અનિયમિતતાઓને સ્ફટિક ક્ષતિ કહે છે. આપણે આપણી ચર્ચા માત્ર બિંદુ ક્ષતિ પૂરતી જ મર્યાદિત રાખીશું.

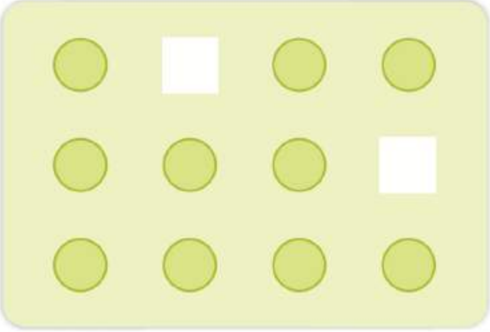
1.9.1 બિંદુ ક્ષતિના પ્રકાર (Types of Point Defects)

બિંદુ ક્ષતિને ત્રણ પ્રકારમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય. (i) તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ (ii) અશુદ્ધિ ક્ષતિ અને (iii) બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ.

(a) તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ

આ એવી બિંદુ ક્ષતિ છે જે ઘન પદાર્થની તત્ત્વયોગમિતિને ખલેલ પહોંચાડતી નથી. તેમને આંતર અથવા ઉષ્માગતિકીય ક્ષતિ પણ કહેવામાં આવે છે. મૂળભૂતરીતે આ બે પ્રકારની હોય છે, રિક્ત (ખાલી) ક્ષતિ અને આંતરાલીય ક્ષતિ.

(i) *રિક્ત (ખાલી) ક્ષતિ* : જ્યારે કેટલાક લેટિસ સ્થાન ખાલી હોય છે. ત્યારે સ્ફટિકને રિક્ત ક્ષતિ છે એમ કહેવાય છે (આકૃતિ 1.27). આ પદાર્થની ઘનતાના ઘટાડામાં પરિણમે છે. આ ક્ષતિ પદાર્થને ગરમ કરવામાં આવે ત્યારે પણ વિકસી શકે છે.

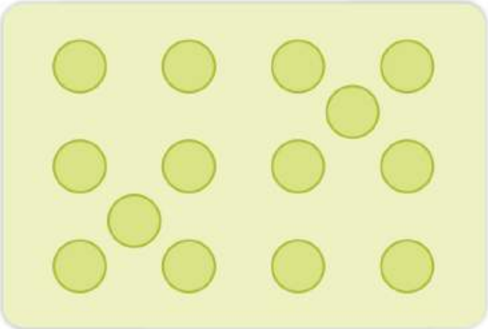


આકૃતિ 1.27 : રિક્ત (ખાલી) ક્ષતિ

(ii) *આંતરાલીય ક્ષતિ* : જ્યારે કેટલાક ઘટક કણો (પરમાણુ અથવા અણુ) આંતરાલીય સ્થાન મેળવે છે ત્યારે સ્ફટિકને આંતરાલીય ક્ષતિ છે એમ કહેવાય છે (આકૃતિ 1.28). આ ક્ષતિ પદાર્થની ઘનતા વધારે છે.

રિક્ત અને આંતરાલીય ક્ષતિ ઉપર સમજાવ્યા પ્રમાણે બિનઆયનીય ઘન દ્વારા દર્શાવાય છે. આયનીય ઘનમાં હંમેશાં વિદ્યુતીય તટસ્થતા જળવાઈ રહેવી જોઈએ. સામાન્ય રિક્ત અથવા આંતરાલીય ક્ષતિને બદલે તે આ ક્ષતિને ફ્રેન્કલ અને શોટ્કી ક્ષતિ તરીકે દર્શાવે છે.

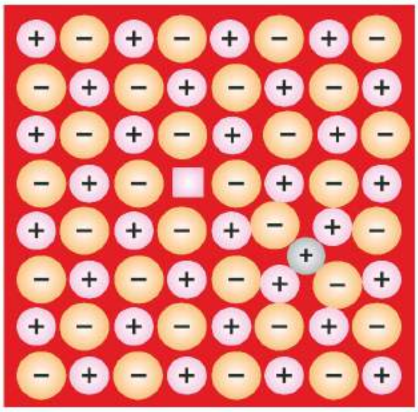
(iii) *ફ્રેન્કલ ક્ષતિ :* આ ક્ષતિ આયનીય ઘન પદાર્થ દ્વારા દર્શાવાય છે વધુ નાનો આયન (સામાન્ય રીતે ધનાયન) પોતાના સામાન્ય સ્થાનમાંથી આંતરાલય સ્થાનમાં વિસ્થાપન અથવા સ્થાનભ્રંશ (dislocation) થયેલ હોય છે (આકૃતિ 1.29). તે રિક્ત ક્ષતિ તેના મૂળ સ્થાને ઉપજાવે છે અને આ નવા સ્થાને આંતરાલીય ક્ષતિ ઉપજાવે છે.



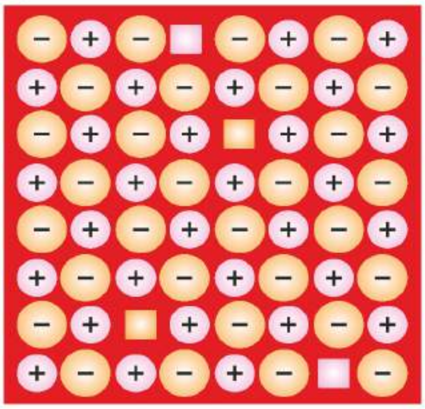
આકૃતિ 1.28 : આંતરાલીય ક્ષતિ

ફ્રેન્કલ ક્ષતિને વિસ્થાપન ક્ષતિ પણ કહે છે. તે ઘન પદાર્થની ઘનતામાં ફેરફાર કરતી નથી. ફ્રેન્કલ ક્ષતિ એવા આયનીય પદાર્થ દર્શાવે છે. જેમાં આયનોના કદ વચ્ચે ઘણો મોટો તફાવત હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, ZnS, AgCl, AgBr અને AgI જેનું કારણ Zn^{2+} અને Ag^{+} આયનના નાના કદ છે.

(iv) *શૉટ્કી ક્ષતિ :* તે મૂળભૂત રીતે આયનીય ઘન પદાર્થોમાં રિક્ત ક્ષતિ છે. વિદ્યુતીય તટસ્થતા જાળવી રાખવા માટે અનુપસ્થિત (ગુમ થયેલા) ધનાયન અને ઋણાયની સંખ્યા સરખી હોય છે (આકૃતિ 1.30).

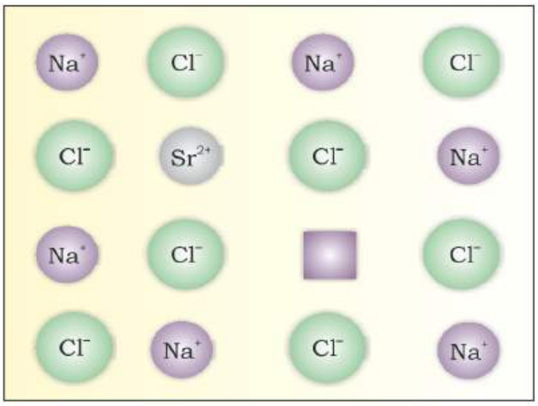


આકૃતિ 1.29 : ફ્રેન્કલ ક્ષતિ



આકૃતિ 1.30 : શૉટ્કી ક્ષતિ

સાદી રિક્ત ક્ષતિની જેમ, શૉટ્કી ક્ષતિ પદાર્થની ઘનતા ઘટાડે છે. આયનીય ઘન પદાર્થોમાં આવી ક્ષતિની સંખ્યા અર્થસૂચક હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, NaClમાં, આશરે 10^{6} શૉટ્કી ક્ષતિ પ્રતિ સેમી^{3} ઓરડાના તાપમાને હોય છે. 1 સેમી^{3}માં આશરે 10^{22} આયનો હોય છે. આથી દર 10^{16} આયનોમાં એક શૉટ્કી ક્ષતિ હોય છે. શૉટ્કી ક્ષતિ એવા આયનીય પદાર્થો દર્શાવે છે જેમાં ધનાયન અને ઋણાયન લગભગ સરખા કદ(size)ના હોય છે ત્યારે ઉદાહરણ તરીકે NaCl, KCl, CsCl અને AgBr. એ નોંધવું જોઈએ કે AgBr બંને ફ્રેન્કલ અને શૉટ્કી ક્ષતિ દર્શાવે છે.



આકૃતિ 1.31 : NaClમાં ધનાયન રિક્ત સ્થાનમાં Na^{+} નું Sr^{2+} વડે વિસ્થાપનથી પ્રવેશ

(b) અશુધ્ધિ ક્ષતિ

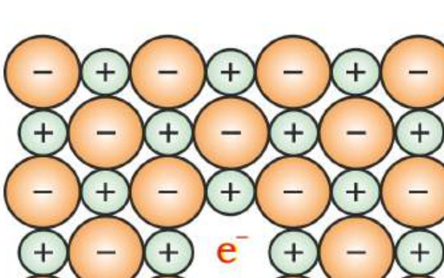
જો પિગલિત NaCl જેમાં થોડો જથ્થો $SrCl_2$નો રહેલો છે અને તેનું સ્ફટિકીકરણ કરવામાં આવે તો Na^{+}ના કેટલાક સ્થાનો Sr^{2+} આયનો વડે મેળવી લેવાય છે (આકૃતિ 1.31). દરેક Sr^{2+} બે Na^{+} આયનને ફેરબદલે છે. તે એક આયનનું સ્થાન મેળવે છે અને બીજું સ્થાન ખાલી રહે છે. આ રીતે ઉત્પન્ન થયેલી ધનાયનીય રિક્ત સ્થાનો Sr^{2+} આયનોની સંખ્યા જેટલા જ હોય છે. આવું સમાન ઉદાહરણ $CdCl_2$ અને AgClનું ઘન દ્રાવણ છે.

(c) બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ

અત્યાર સુધી ચર્ચા કરી તે ક્ષતિ સ્ફટિકમય પદાર્થની તત્ત્વયોગમિતિને ખલેલ પહોંચાડતી નથી. તેમ છતાં વિશાળ પ્રમાણમાં બિનતત્ત્વયોગમિતિય અકાર્બનિક ઘન પદાર્થો જાણવા મળ્યા છે જેમાં ઘટક તત્ત્વો બિનતત્ત્વયોગમિતિય ગુણોત્તરમાં હોય છે. જે તેમની સ્ફટિક રચનામાંની ક્ષતિને લીધે હોય છે. આ ક્ષતિ બે પ્રકારની છે. (i) ધાતુ વધારો ક્ષતિ અને (ii) ધાતુ ઊણપ ક્ષતિ.

(i) ધાતુ વધારો ક્ષતિ

- એનાયનીય (ઋણાયનીય) રિક્ત સ્થાનોને કારણે ધાતુ વધારો ક્ષતિ : NaCl અને KCl જેવા આલ્કલી હેલાઇડ આ પ્રકારની ક્ષતિ દર્શાવે છે. જ્યારે સોડિયમ ક્લોરાઇડના સ્ફટિકને સોડિયમ બાષ્પના વાતાવરણમાં ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે સોડિયમ પરમાણુ સ્ફટિકની સપાટી પર જમા થાય છે. Cl^- સ્ફટિકની સપાટીમાં પ્રસરણ પામે છે અને Na પરમાણુ સાથે સંયોજાય છે અને NaCl આપે છે. આ સોડિયમ પરમાણુમાંથી Na^+ આયન બનવાથી ગુમાવાતા ઇલેક્ટ્રૉનને લીધે બને છે. આ છૂટો પડેલો ઇલેક્ટ્રૉન સ્ફટિકમાં પ્રસરે છે અને એનાયનીય સ્થાન રોકી લે છે (આકૃતિ 1.32). આને પરિણામે સ્ફટિક હવે સોડિયમનો વધારો ધરાવે છે. અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉન દ્વારા રોકાયેલ એનાયનીય સ્થાનોને F કેન્દ્ર(જર્મન શબ્દ Farbenzenter - રંગીન કેન્દ્ર માટે) કહે છે, તે NaClના સ્ફટિકને પીળો રંગ આપે છે. આ રંગ જ્યારે સ્ફટિક તેના પર પડતા દૃશ્ય પ્રકાશમાંથી ઊર્જા શોષે છે ત્યારે ઉત્તેજિત થતા આ ઇલેક્ટ્રૉનને લીધે હોય છે. તેવી જ રીતે LiClના સ્ફટિકને વધુ લિથિયમ આછો ગુલાબી રંગ અને KClના સ્ફટિકને વધુ પોટેશિયમ જાંબલી (અથવા નીલવર્ણી) બનાવે છે.



આકૃતિ 1.32 : સ્ફટિકમાં F કેન્દ્ર

- *ધાતુ વધારો ઊણપ જે આંતરાલીય સ્થાનો પરના વધારાના ધનાયનને કારણે હોય છે :* ઝિંક ઑક્સાઇડ ઓરડાના તાપમાને રંગે સફેદ હોય છે. તેને ગરમ કરતાં તે ઑક્સિજન ગુમાવે છે અને પીળા રંગમાં ફેરવાય છે.

$$ZnO \xrightarrow{\text{ગરમ કરતાં}} Zn^{2+} + \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$$

હવે સ્ફટિકમાં ઝિંકનો વધારો હોય છે અને તેનું સૂત્ર $Zn_{1+x}O$ બને છે. વધારાના Zn^{2+} આયન આંતરાલીય સ્થાન તરફ ખસે છે અને ઇલેક્ટ્રૉન પડોશી (નજીકના) આંતરાલીય સ્થાનો તરફ ખસે છે.

(ii) ધાતુ ઊણપ ક્ષતિ

એવા ઘણા ઘન પદાર્થો છે જેમને તેમના તત્ત્વયોગમિતિય સંઘટન મુજબના બનાવવા મુશ્કેલ છે અને તે તત્ત્વયોગમિતિય પ્રમાણ કરતાં ઓછા પ્રમાણમાં ધાતુ આયન ધરાવે છે. આવુ એક વિશિષ્ટ ઉદાહરણ FeO છે જે મોટે ભાગે $Fe_{0.95}O$ સંઘટનમાં મળી આવે છે. તે ખરેખર $Fe_{0.93}O$ થી $Fe_{0.96}O$ ના ગાળામાં હોય છે. FeO ના સ્ફટિકમાં કેટલાક Fe^{2+} આયન ગુમ થયેલા જણાય છે અને આ ધનભારનો ઘટાડો જરૂરી સંખ્યામાં Fe^{3+} આયનની હાજરીને લીધે સરભર થાય છે.

1.10 વિદ્યુતીય ગુણધર્મો (Electrical Properties)

ઘન પદાર્થો વિદ્યુત વાહકતાનો આશ્ચર્યજનક ગાળો પ્રદર્શિત કરે છે. જે 27 ક્રમ-(order)થી વધુ હોય છે અને માત્રા 10^{-20}થી 10^7 ohm^{-1} m^{-1} જેટલી હોય છે. ઘન પદાર્થને તેમની વાહકતાના આધારે ત્રણ પ્રકારમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય છે.

(i) *વાહકો :* જે ઘન 10^4 થી 10^7 ohm^{-1} m^{-1}ના ગાળામાં વાહકતા ધરાવે છે તેમને વાહકો કહે છે. ધાતુઓને વાહકતાનો ક્રમ 10^7 ohm^{-1} m^{-1} જેટલો હોય છે અને તેઓ સુવાહકો છે.

(ii) *અવાહકો :* આ એવા ઘન પદાર્થો છે જેમની વાહકતા ઓછી એટલે કે 10^{-20} થી 10^{-10} $ohm^{-1}m^{-1}$ના ગાળામાં હોય છે.

(iii) *અર્ધવાહકો :* આ એવા ઘન પદાર્થો છે જેમની વાહકતા 10^{-6}થી 10^{4} $ohm^{-1}m^{-1}$ની મધ્યમાં હોય છે.

1.10.1 ધાતુઓમાં વિદ્યુતનું વહન (Conduction of Electricity in Metals)

વાહક વિદ્યુતનું વહન ઈલેક્ટ્રૉન અથવા આયનોની હિલચાલ (movement) મારફતે કરે છે. ધાત્વીય વાહકોનો પ્રથમ વિભાગમાં અને વિદ્યુતવિભાજ્યોનો બીજા વિભાગમાં સમાવેશ થાય છે.

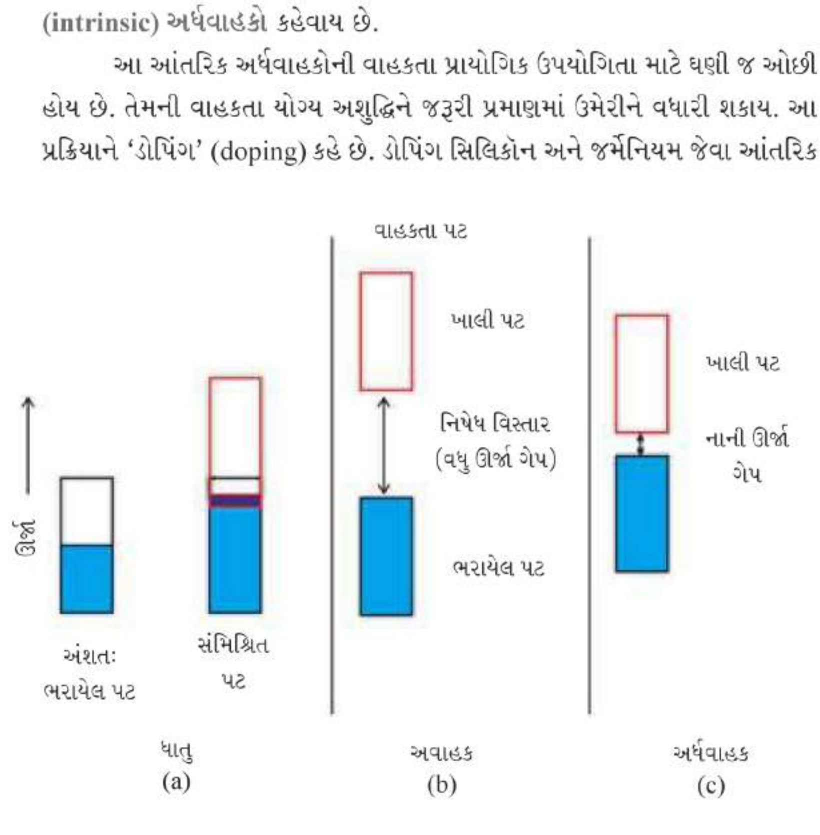
ધાતુઓ ઘન તેમજ પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે. ધાતુઓની વાહકતા પ્રતિ પરમાણુ મળતા સંયોજકતા ઈલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે. ધાતુ પરમાણુની પરમાણ્વીય કક્ષકો - આણ્વીય કક્ષકો રચે છે જેમની ઊર્જા એકબીજાની એટલી નજીક હોય છે કે જેથી પટની રચના કરે છે. જો આ પટ અંશતઃ ભરાયેલા હોય અથવા તે ઊંચી ઊર્જાવાળા નહિ રોકાયેલ વાહકતા પટ સાથે વ્યાપ્ત થાય તો ઈલેક્ટ્રૉન સરળતાથી લાગુ પાડેલા વિદ્યુત ક્ષેત્ર હેઠળ વહે છે અને ધાતુ વાહકતા દર્શાવે છે (આકૃતિ 1.33 a).

જો ભરાયેલ સંયોજકતા પટ અને પછીના ઉપરના નહિ ભરાયેલા પટ (વાહકતા પટ) વચ્ચેની જગ્યા (ગેપ) જો વધારે હોય તે, ઈલેક્ટ્રૉન તેમાં કૂદી શકે નહિ અને તેવા પદાર્થની વાહકતા ખૂબ ઓછી હોય છે અને તે અવાહક તરીકે વર્તણૂક દર્શાવશે (આકૃતિ 1.33 b).

1.10.2 અર્ધવાહકોમાં વિદ્યુતનું વહન (Conduction of Electricity in Semiconductors)

અર્ધવાહકોની બાબતમાં સંયોજકતા પટ અને વાહકતા પટ વચ્ચેની જગ્યા ઓછી હોય છે (આકૃતિ 1.33 c). આથી કેટલાક ઈલેક્ટ્રૉન વાહકતા પટમાં કૂદી જઈ શકે છે અને થોડીક (કેટલીક) વાહકતા દર્શાવે છે. અર્ધવાહકોની વિદ્યુતીય વાહકતા તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે કારણ કે વધુ ઈલેક્ટ્રૉન વાહકતા પટમાં કૂદીને જઈ શકે છે. સિલિકૉન અને જર્મેનિયમ જેવા પદાર્થો આ પ્રકારની વર્તણૂક દર્શાવે છે અને તે આંતરિક **(intrinsic)** અર્ધવાહકો કહેવાય છે.

આ આંતરિક અર્ધવાહકોની વાહકતા પ્રાયોગિક ઉપયોગિતા માટે ઘણી જ ઓછી હોય છે. તેમની વાહકતા યોગ્ય અશુદ્ધિને જરૂરી પ્રમાણમાં ઉમેરીને વધારી શકાય. આ પ્રક્રિયાને 'ડોપિંગ' (doping) કહે છે. ડોપિંગ સિલિકૉન અને જર્મેનિયમ જેવા આંતરિક



આકૃતિ 1.33 : (a) ધાતુઓ અને (b) અવાહકો અને (c) અર્ધવાહકો દરેક કિસ્સામાં આચ્છાદિત ન કરેલો વિસ્તાર વાહકતા પટ દર્શાવે છે.

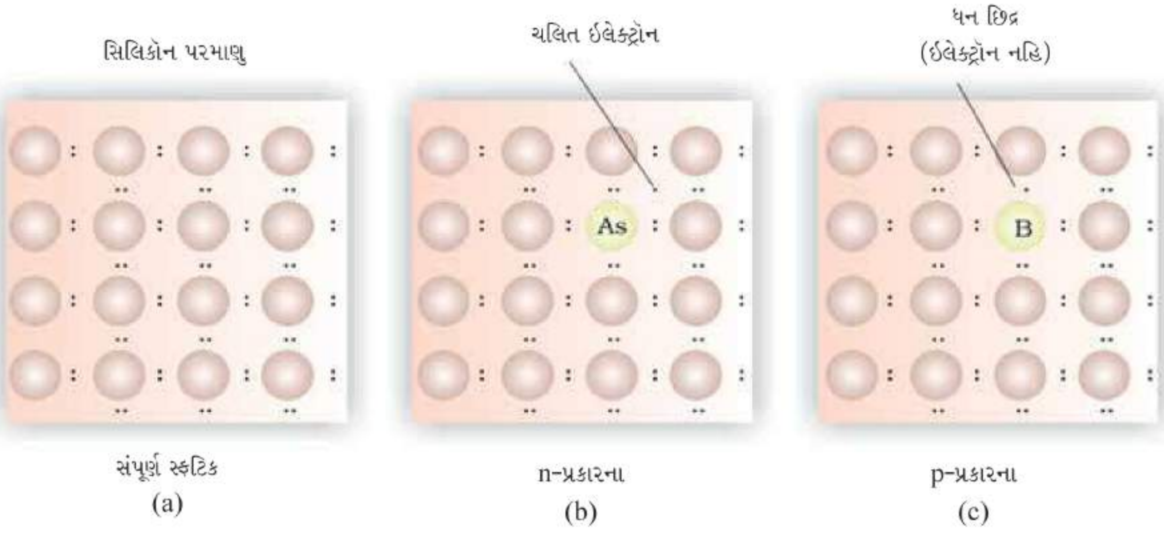
અર્ધવાહક કરતાં વધુ ઇલેક્ટ્રૉન સમૃદ્ધિ અથવા ઇલેક્ટ્રૉન ઊણપ અશુદ્ધિઓનો ઉપયોગ કરીને કરી શકાય છે. આવી અશુદ્ધિઓ ઇલેક્ટ્રૉનીય ક્ષતિ દાખલ કરે છે.

(a) ઇલેક્ટ્રૉન સમૃદ્ધ અશુદ્ધિ :

સિલિકૉન અને જર્મેનિયમ આવર્ત કોષ્ટકના 14મા સમૂહમાં સમાવિષ્ટ છે અને તેમને દરેકને ચાર સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રૉન હોય છે. તેમના સ્ફટિકમાં દરેક પરમાણુ ચાર સહસંયોજક બંધ પડોશી સાથે બનાવે છે (આકૃતિ 1.34 a). જ્યારે તેમનું સમૂહ 15ના તત્ત્વો જેવા કે P અથવા As જે સંયોજકતા કોષમાં પાંચ ઇલેક્ટ્રૉન ધરાવે છે તેના વડે ડોપિંગ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે સિલિકૉન અથવા જર્મેનિયમના કેટલાક લેટિસ સ્થાનો રોકે છે (આકૃતિ 1.34 b). પાંચમાંથી ચાર ઇલેક્ટ્રૉન સિલિકૉનના ચાર પડોશી પરમાણુ સાથે સહસંયોજક બંધ બનાવવામાં વપરાય છે. પાંચમો ઇલેક્ટ્રૉન વધારાનો છે અને તે વિસ્થાનીકૃત થાય છે. આ વિસ્થાનીકૃત ઇલેક્ટ્રૉન ડોપ કરેલા સિલિકૉન(અથવા જર્મેનિયમ)ની વાહકતા વધારે છે. અહિંયા, વાહકતાનો વધારો ઋણભારિત ઇલેક્ટ્રૉનને કારણે હોય છે. તેથી જ ઇલેક્ટ્રૉન સમૃદ્ધ અશુદ્ધિ સાથે ડોપ કરેલા સિલિકૉન n-પ્રકારનો અર્ધવાહક કહેવાય છે.

(b) ઇલેક્ટ્રૉન - ઊણપ અશુદ્ધિ :

સિલિકૉન અથવા જર્મેનિયમને સમૂહ 13ના તત્ત્વો જેવા કે B, Al અથવા Ga જે ત્રણ સંયોજતા ઇલેક્ટ્રૉન ધરાવે છે તેમની સાથે ડોપ કરી શકાય છે. તે જગ્યા જ્યાં ચોથો ઇલેક્ટ્રૉન ગૂમ થયેલો છે તેને ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર (hole) અથવા ઇલેક્ટ્રૉન રિક્તતા (vacancy) કહે છે (આકૃતિ 1.34 c). પડોશી પરમાણુમાંથી ઇલેક્ટ્રૉન આવીને આ ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્રને ભરી દે છે પણ આમ કરવામાં તેના પોતાના મૂળ સ્થાનમાં ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર છોડી દે છે. જો આ પ્રમાણે બને તો એવું દેખાશે કે ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર નહિ ભરાયેલા ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્રની વિરુદ્ધ દિશામાં જશે. વિદ્યુતીય ક્ષેત્રની અસર હેઠળ, ઇલેક્ટ્રૉન ધનભાર ધરાવતી પ્લેટ તરફ ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર દ્વારા જશે પણ એમ દેખાશે કે ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર ધનભાર વડે રોકાયેલા છે અને તે ઋણભારિત પ્લેટ તરફ ખસશે આ પ્રકારના અર્ધવાહક *p*-પ્રકારના અર્ધવાહક કહેવાય છે.



આકૃતિ 1.34 : સમૂહ 13 અને 15 ના ઇલેક્ટ્રૉનના ડૉપિંગથી n-પ્રકાર અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોનું સર્જન

n-પ્રકારના અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોના અનુપ્રયોગો (ઉપયોગો)

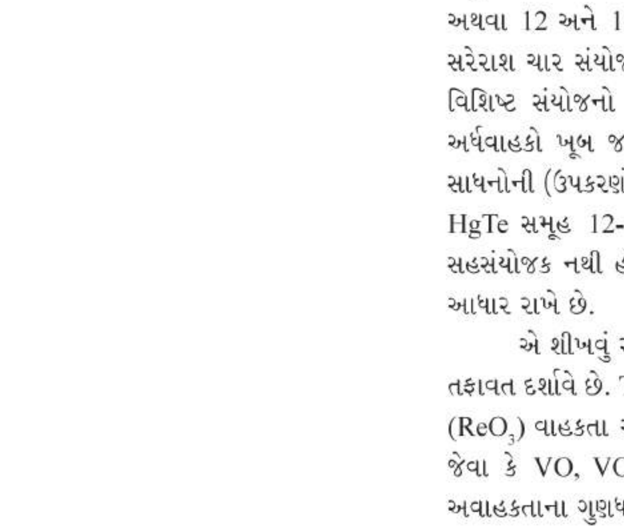
ઈલેક્ટ્રોનિક સંઘટકો બનાવવા માટે n-પ્રકાર અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોના જુદા જુદા સંયોગીકરણ વપરાય છે. ડાયોડ n-પ્રકાર અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોનું સંયોગીકરણ છે અને તે રેક્ટિફાયર તરીકે વપરાય છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટર એક પ્રકારના અર્ધવાહક બીજા પ્રકારના બે અર્ધવાહક વચ્ચેના સ્તરમાં સેન્ડવિચ (sandwich) કરીને બનાવવામાં આવે છે. npn અને pnp પ્રકારના ટ્રાન્ઝિસ્ટર રેડિયો અથવા ઓડિયો સિગ્નલ(સંકેતો)ને પરખવા અથવા પ્રવર્ધિત (amplify) કરવા માટે વપરાય છે. સૌર કોષ (solar cell) એક કાર્યક્ષમ ફોટો-ડાયોડ છે. જે પ્રકાશ ઊર્જાને વિદ્યુતીય ઊર્જામાં ફેરવવામાં વપરાય છે.

જર્મેનિયમ અને સિલિકૉન સમૂહ 14ના તત્ત્વો છે અને તેથી ચાર સંયોજકતા ઈલેક્ટ્રૉન તેમની લાક્ષણિકતા હોય છે અને તે હીરાની જેમ ચાર બંધ રચે છે. વિપુલપ્રકારના ઘન અવસ્થા પદાર્થો (solid state materials) સમૂહ 13 અને 15 અથવા 12 અને 16 તત્ત્વોના સંયોગીકરણથી બનાવાયા છે. જે Ge અથવા Si ના સરેરાશ ચાર સંયોજકતા ઈલેક્ટ્રૉનને ઉદ્દીપ્ત (stimulate) કરે છે. સમૂહ 13-15ના વિશિષ્ટ સંયોજનો InSb, AlP અને GaAs છે. ગેલિયમ આર્સેનાઈડ (GaAs) અર્ધવાહકો ખૂબ જ ઝડપી પ્રતિક્રિયા (response) આપે છે અને તેમણે અર્ધવાહક સાધનોની (ઉપકરણો) (devices) ડીઝાઈનમાં ક્રાંતિ સર્જી છે. ZnS, CdS, CdSe અને HgTe સમૂહ 12-16ના સંયોજનોના ઉદાહરણ છે. આ સંયોજનોમાં બંધ સંપૂર્ણ સહસંયોજક નથી હોતા અને આયનીય લાક્ષણિકતા બંને તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતા પર આધાર રાખે છે.

એ શીખવું રસપ્રદ છે કે સંક્રાતિ ધાતુ ઑક્સાઈડ વિદ્યુતીય ગુણધર્મમાં નોંધપાત્ર તફાવત દર્શાવે છે. TiO, CrO_2 અને ReO_3 ધાતુની જેમ વર્તે છે. રહેનિયમ ઑક્સાઈડ (ReO_3) વાહકતા અને દેખાવમાં ધાત્વીય કૉપર જેવો છે. બીજા કેટલાક ઑક્સાઈડ જેવા કે VO, VO_2, VO_3 અને TiO_3 તાપમાન પર આધારિત ધાત્વીય અથવા અવાહકતાના ગુણધર્મ દર્શાવે છે.

1.11 ચુંબકીય ગુણધર્મો (Magnetic Properties)

દરેક પદાર્થને તેની સાથે સંલગ્ન થોડો ઘણો ચુંબકીય ગુણધર્મ હોય છે. આ ગુણધર્મનું ઉદ્‌ભવસ્થાન ઈલેક્ટ્રૉનમાં રહેલ છે. દરેક પરમાણુમાંનો ઈલેક્ટ્રૉન એક નાના (tiny) ચુંબક તરીકે વર્તે છે. તેની ચુંબકીય ચાકમાત્રા બે પ્રકારની ગતિમાંથી ઉદ્‌ભવે છે. (i) તેની કેન્દ્રની આસપાસની કક્ષકીય ગતિ અને (ii) તેની પોતાની ધરીની આસપાસ ભ્રમણીય ગતિ (આકૃતિ 1.35). ઈલેક્ટ્રૉન વીજભારિત કણ હોવાથી અને આ પ્રકારની ગતિમાં ફરતો હોવાથી તેને વીજપ્રવાહના એક નાના લૂપ (પાશ) જે ચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે તે રીતનો ગણી શકીએ. આમ, દરેક ઈલેક્ટ્રૉનને કાયમી ભ્રમણ અને તેની સાથે સંલગ્ન કક્ષકીય ચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે. ચુંબકીય ચાકમાત્રાની આ માત્રા ઘણી ઓછી હોય છે અને તેને જે એકમમાં માપી શકાય તેને બોહ્ર મૅગ્નેટોન μ_B કહે છે. તેના બરાબર 9.27×10^{-24} A m^2 છે.



આકૃતિ 1.35 : (a) કક્ષકીય ઈલેક્ટ્રૉન અને (b) ભ્રમણીય ઈલેક્ટ્રૉન સાથે સંલગ્ન ચુંબકીય ચાકમાત્રાનું નિર્દેશન

તેમના ચુંબકીય ગુણધર્મોના આધારે પદાર્થોને પાંચ વિભાગો(કેટેગરી)માં વહેંચી શકાય. (i) અનુચુંબકીય (ii) પ્રતિચુંબકીય (iii) લોહચુંબકીય (iv) પ્રતિલોહચુંબકીય અને (v) ફેરીમૅગ્નેટિક.

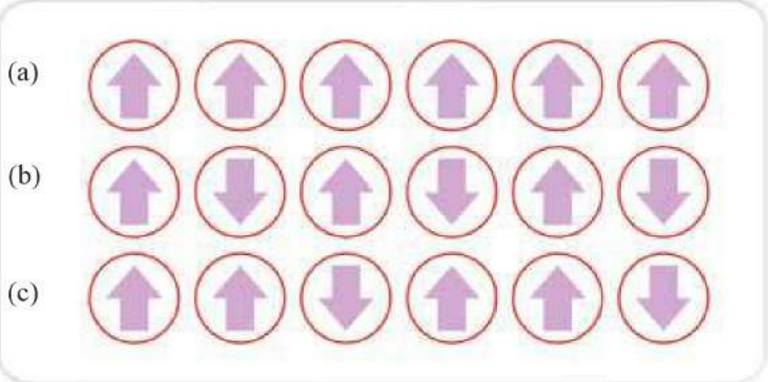
(i) *અનુચુંબકત્વ :* અનુચુંબકીય પદાર્થો ચુંબકીય ક્ષેત્રથી નિર્બળ રીતે આકર્ષાય છે. તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં એકસરખી (સમાન) દિશામાં જ ચુંબકીય બને છે. તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રની ગેરહાજરીમાં તેમનું ચુંબકત્વ ગુમાવે છે. અનુચુંબકત્વ એક અથવા વધારે અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રૉનની હાજરીને કારણે હોય છે જે ચુંબકીય ક્ષેત્રથી આકર્ષાય છે. O_2, Cu^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{3+} આવા પદાર્થોના કેટલાક ઉદાહરણ છે.

(ii) *પ્રતિચુંબકત્વ :* પ્રતિચુંબકીય પદાર્થો ચુંબકીય ક્ષેત્રથી નિર્બળ રીતે અપાકર્ષણ પામે છે. H_2O, NaCl અને C_6H_6 આવા પદાર્થોના કેટલાક ઉદાહરણો છે. તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં નિર્બળ રીતે વિરુદ્ધ દિશામાં ચુંબકીય બને છે. પ્રતિચુંબકત્વ એવા પદાર્થો દર્શાવે છે જેમાં બધા જ ઇલેક્ટ્રૉન યુગ્મિત હોય અથવા એક પણ ઇલેક્ટ્રૉન અયુગ્મિત ન હોય. ઇલેક્ટ્રૉનનું યુગ્મન તેમની ચુંબકીય ચાકમાત્રાને રદ (નષ્ટ) (cancel) કરી દે છે અને તેઓ તેમનો ચુંબકીય ગુણધર્મ ગુમાવે છે.

(iii) *લોહચુંબકત્વ :* કેટલાક પદાર્થો જેવાં કે આયર્ન, કોબાલ્ટ, નિકલ, ગેડોલિનિયમ અને CrO_2 ચુંબકીયક્ષેત્રથી ખૂબ જ પ્રબળ રીતે આકર્ષાય છે. આવા પદાર્થોને લોહચુંબકીય(ferromagnetic) પદાર્થ કહે છે. પ્રબળ આકર્ષણ ઉપરાંત આ પદાર્થો કાયમ માટે ચુંબકીય બને છે. ઘન અવસ્થામાં લોહચુંબકીય પદાર્થોના ધાતુ આયનો એક નાના વિસ્તાર(region)માં સામૂહિક રીતે ગોઠવાય છે. જેને 'ડોમેઇન' (પ્રભાવક્ષેત્ર) કહે છે. આમ દરેક ડોમેઇન એક નાના ચુંબક તરીકે વર્તે છે. લોહચુંબકીય પદાર્થના બિનચુંબકીય ટુકડામાં ડોમેઇન અસ્તવ્યસ્ત રીતે અભિવિન્યાસ (orient) થયેલ હોય છે અને તેમની ચુંબકીય ચાકમાત્રા રદ (નષ્ટ) થાય છે. જ્યારે પદાર્થને ચુંબકીયક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે છે ત્યારે બધા જ ડોમેઇન ચુંબકીય ક્ષેત્રની દિશામાં અભિવિન્યાસ પામે છે (આકૃતિ 1.36a) અને પ્રબળ ચુંબકીય અસર પેદા થાય છે. ડોમેઇનનું આ પ્રમાણે ક્રમબદ્ધ થવું ચુંબકીયક્ષેત્ર દૂર કરવામાં આવે તોપણ સતત આવૃત્ત (persist) રહે છે અને લોહચુંબકીય પદાર્થ કાયમી ચુંબક બને છે.

(iv) *પ્રતિલોહચુંબકત્વ :* MnO જેવો પદાર્થ જે પ્રતિલોહચુંબકત્વ દર્શાવે છે તેમની ડોમેઇન રચનાઓ લોહચુંબકીય પદાર્થ જેવી જ હોય છે. પણ તેમની ડોમેઇન એકબીજાથી વિરૂદ્ધ અભિવિન્યાસ ધરાવે છે અને એકબીજાની ચુંબકીય ચાકમાત્રાને રદ (નષ્ટ) કરે છે (આકૃતિ 1.36b).

(v) *ફેરિમૅગ્નેટિઝમ :* જ્યારે પદાર્થમાંની અસમાન સંખ્યામાં ડોમેઇનની ચુંબકીય ચાકમાત્રા સમાંતર અને બિનસમાંતર દિશાઓમાં અભિવિન્યાસ ધરાવે છે ત્યારે ફેરિમૅગ્નેટિઝમ અવલોકિત કરી શકાય છે (આકૃતિ 1.36c). ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થોની સરખામણીમાં તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રથી નિર્બળ રીતે આકર્ષાયેલ હોય છે. Fe_3O_4 (મૅગ્નેટાઇટ) $MgFe_2O_4$ અને $ZnFe_2O_4$ જેવા ફેરાઇટ આવા પદાર્થના ઉદાહરણ છે. આ પદાર્થોને ગરમ કરતાં ફેરિમૅગ્નેટિઝમ ગુમાવે છે અને અનુચુંબકીય બને છે.



આકૃતિ 1.36 : ચુંબકીય ચાકમાત્રાની બરાબર ગોઠવણી(alignment)નું ચિત્ર (a) લોહચુંબકીય (b) પ્રતિલોહચુંબકીય અને (c) ફેરિમૅગ્નેટિક

લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

1.18 જ્યારે ઘન પદાર્થને ગરમ કરવામાં આવે ત્યારે કેવા પ્રકારની ક્ષતિ ઉદ્ભવે ? તેના લીધે કયો ભૌતિક ગુણધર્મ અસર પામે છે અને કેવી રીતે ?

1.19 નીચેના સંયોજનો કયા પ્રકારની તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ દર્શાવે છે ? (i) ZnS (ii) AgBr

1.20 આયનીય ઘન પદાર્થમાં જ્યારે ઊંચી સંયોજકતાવાળો ધનાયન તેમાં અશુદ્ધિ તરીકે દાખલ કરવામાં આવે છે ત્યારે રિક્ત (ખાલી) સ્થાનોમાં કેવી રીતે દાખલ થાય છે ? તે સમજાવો.

1.21 આયનીય ઘન પદાર્થ જેમને ધાતુ વધારો ક્ષતિને કારણે પરમાણ્વીય રિક્ત સ્થાનો હોય છે તે રંગ દર્શાવે છે. યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે સમજાવો.

1.22 સમૂહ-14ના તત્ત્વને યોગ્ય અશુદ્ધિ દ્વારા ડૉપિંગ કરીને n-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં પરિવર્તિત કરવું છે. આ અશુદ્ધિ કયા સમૂહમાં સમાવિષ્ટ હોવી જોઈએ ?

1.23 ફેરોમૅગ્નેટિક અથવા ફેરિમૅગ્નેટિક પદાર્થોમાંથી કયા પદાર્થો સારા કાયમી ચુંબકો બનાવશે ? તમારા ઉત્તરને વાજબી ઠેરવો.

સારાંશ

ઘન પદાર્થોને ચોક્કસ દળ, કદ અને આકાર હોય છે આનું કારણ તેમના ઘટક કણોના નિશ્ચિત સ્થાન, ટૂંકા અંતર અને તેમની વચ્ચે પ્રબળ પારસ્પરિક ક્રિયા છે. અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોમાં ઘટક કણોની ગોઠવણીને ટૂંકાગાળા(અંતર)નો ક્રમ હોય છે અને પરિણામે તે અતિશીત પ્રવાહીની જેમ વર્તે છે, તીવ્ર (નિશ્ચિત) ગલનબિંદુ હોતું નથી અને સ્વભાવે સમસ્થાનિકીય હોય છે. સ્ફટિકમય ઘનમાં તેમના ઘટક કણોની ગોઠવણી લાંબાગાળા સુધી ક્રમબદ્ધ હોય છે. તેમને તીવ્ર (નિશ્ચિત) ગલનબિંદુ હોય છે, સ્વભાવે વિષમદૈશિક હોય છે અને તેમના કણોને લાક્ષણિક આકાર હોય છે. સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોના ગુણધર્મો તેમના ઘટક કણો વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયાઓના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. આને આધારે તેમને ચાર વિભાગ(કૅટગરી)માં વિભાજિત કરવામાં આવે છે. જેમ કે આણ્વીય, આયનીય, ધાત્વીય અને સહસંયોજક ઘન પદાર્થો. તેઓ તેમના ગુણધર્મોમાં મોટા પ્રમાણમાં અલગ પડે છે.

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોમાંના ઘટક કણો નિયમિત ભાતમાં ગોઠવાયેલા હોય છે જે આખા સ્ફટિકમાં વિસ્તરે છે. આ ગોઠવણ વારંવાર બિંદુઓના ત્રિ-પરિમાણ્વીય વ્યૂહ (array) રચે છે જેને સ્ફટિક લેટિસ કહે છે. દરેક લેટિસ બિંદુ અવકાશમાં એક કણનું સ્થાન આપે છે. એકંદરે, ચૌદ પ્રકારની લેટિસ શક્ય છે જેમને બ્રેવિસ લેટિસ કહે છે. દરેક લેટિસ એકમ કોષ કહેવાતા તેના લાક્ષણિક ભાગથી પુનરાવર્તિત થાય છે. એકમ કોષ તેની ધાર લંબાઈ અને ધારો વચ્ચેના ત્રણ ખૂણાઓ દ્વારા લાક્ષણિક બને છે. એકમ કોષ આદિમ જેને કણો તેમના ખૂણાના સ્થાન પર અથવા કેન્દ્રિત હોય છે. કેન્દ્રિત એકમ કોષને વધારાના કણો તેમના અંતઃકેન્દ્ર (અંતઃકેન્દ્રિત) પર દરેક ફલકના કેન્દ્ર પર (ફલક કેન્દ્રિત) અથવા ફલકના બે વિરુદ્ધ કેન્દ્રો પર [**અંત (છેડો)** કેન્દ્રિત] હોય છે. સાત પ્રકારના આદિમ એકમકોષ હોય છે. કેન્દ્રિત એકમકોષને ધ્યાનમાં લેતા એકંદરે એકમકોષના ચૌદ પ્રકાર છે. જે ચૌદ બ્રેવિસ લેટિસમાં પરિણમે છે.

કણોનું સંવૃત સંકુલન બે ખૂબ જ ક્ષમતાવાળા લેટિસમાં પરિણમે છે. ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન (hcp) અને સમઘનીય સંવૃત સંકુલન (ccp). બીજાને ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય (fcc) લેટિસ કહે છે. બંનેમાં સંકુલનથી74 % અવકાશ રોકાય છે. બાકીનો અવકાશ બે પ્રકારના છિદ્રો - અષ્ટફલકીય છિદ્ર અને ચતુષ્ફલકીય

છિદ્રોથી રોકાયેલ હોય છે. સંકુલનના બીજા પ્રકારના સંવૃત સંકુલન હોતા નથી અને ઓછી ક્ષમતાવાળું, કણો વડેનું સંકુલન હોય છે. અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય લેટિસ (bcc) 68 % અવકાશ રોકાય છે. સાદા સમઘનીય લેટિસમાં 52.4 % અવકાશ રોકાય છે.

ઘન પદાર્થો તેમની રચનામાં પૂર્ણ હોતા નથી. તેમનામાં જુદા જુદા પ્રકારની અપૂર્ણતાઓ અથવા ક્ષતિ હોય છે. બિંદુ ક્ષતિ અને રેખા ક્ષતિ બે સામાન્ય પ્રકારની ક્ષતિ છે. બિંદુ ક્ષતિ ત્રણ પ્રકારની હોય છે - તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ, અશુદ્ધિ ક્ષતિ અને બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ. રિક્ત (ખાલી જગ્યા) ક્ષતિ અને આંતરાલીય ક્ષતિ બે પાયાની તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ છે. આયનીય ઘન પદાર્થોમાં આ ક્ષતિ ફ્રેન્કલ અને શૉટ્કી ક્ષતિ તરીકે હાજર હોય છે. અશુદ્ધિ ક્ષતિ સ્ફટિકમાં અશુદ્ધિની હાજરીને કારણે હોય છે. આયનીય ઘન પદાર્થોમાં જ્યારે આયનીય અશુદ્ધિને મુખ્ય સંયોજન કરતાં જુદી સંયોજકતા હોય છે ત્યારે કેટલીક રિક્તતા (ખાલી જગ્યા) ઉદ્ભવે છે. બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ - ધાતુ વધારા પ્રકારની અને ધાતુ ઊણપ પ્રકારની હોય છે. કેટલીક વખત ગણતરી કરેલ જથ્થામાં અશુદ્ધિ અર્ધવાહકમાં દાખલ કરીને અર્ધવાહકમાં ડોપિંગ કરીને દાખલ કરી શકાય છે અને તેમના વિદ્યુતીય ગુણધર્મો બદલાઈ જાય છે. આવા પદાર્થો ઇલેક્ટ્રૉનિક ઉદ્યોગોમાં વિશાળ પ્રમાણમાં ઉપયોગી છે. ઘન પદાર્થો ઘણા પ્રકારના ચુંબકીય ગુણધર્મો દર્શાવે છે જેમ કે અનુચુંબકત્વ, પ્રતિચુંબકત્વ, લોહચુંબકત્વ, પ્રતિલોહચુંબકત્વ અને ફેરિમૅગ્નેટિઝમ આ ગુણધર્મોનો ઉપયોગ ઓડિયો (શ્રાવ્ય) વીડીયો (દશ્ય) અને અન્ય રેકોર્ડિંગ ઉપકરણોમાં વપરાય છે. આ બધા જ ગુણધર્મો તેમના ઇલેક્ટ્રૉનીય બંધારણ અથવા રચના સાથે સુસંગત કરી શકાય છે.

સ્વાધ્યાય

1.1 'અસ્ફટિકમય' પર્યાયની વ્યાખ્યા આપો. કેટલાક અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોના ઉદાહરણ આપો.

1.2 કાચ, ક્વાર્ટ્ઝ જેવા ઘન પદાર્થથી કેવી રીતે અલગ પડે છે ? કઈ પરિસ્થિતિમાં ક્વાર્ટ્ઝને કાચમાં પરિવર્તિત કરી શકાય ?

1.3 નીચેના ઘન પદાર્થોને આયનીય, ધાત્વીય, આણ્વીય, જાળીદાર (સહસંયોજક) અથવા અસ્ફટિકમયમાં વર્ગીકૃત કરો :

(i) ટેટ્રાફૉસ્ફરસ ડેકૉક્સાઇડ (P_4O_{10})
(ii) એમોનિયમ ફૉસ્ફેટ $(NH_4)_3PO_4$
(iii) SiC
(iv) I_2
(v) P_4
(vi) પ્લાસ્ટિક
(vii) ગ્રેફાઇટ
(viii) બ્રાસ (પિત્તળ)
(ix) Rb
(x) LiBr
(xi) Si

1.4 (i) 'સવર્ગ આંક' પર્યાયનો અર્થ શું છે ?

(ii) પરમાણુઓનો સવર્ગ આંક કેટલો છે ?

(a) સમઘનીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં (b) અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય રચનામાં

1.5 જો તમે અજ્ઞાત ધાતુની ઘનતા અને એકમ કોષના પરિમાણ જાણતા હોય તો તેનું પરમાણ્વીય દળ કઈ રીતે નક્કી કરી શકો ? સમજાવો.

1.6 'સ્ફટિકની સ્થાયીતા તેના ગલનબિંદુની માત્રામાં પરાવર્તિત થાય છે.' આલોચના (comment) કરો. ઘન પાણી, ઇથાઇલ આલ્કોહૉલ, ડાયઇથાઇલ ઇથર અને મિથેનના ગલનબિંદુ માહિતી પુસ્તકમાંથી મેળવો. આ અણુઓ વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય બળો વિશે તમે શું કહી શકશો ?

1.7 નીચેના પર્યાયોની જોડને તમે કેવી રીતે વિભેદિત કરશો ?

(i) ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન અને સમઘનીય સંવૃત સંકુલન

(ii) સ્ફટિક લેટિસ અને એકમ કોષ

(iii) ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર અને અષ્ટફલકીય છિદ્ર

1.8 નીચેના દરેક લેટિસના એક એકમ કોષમાં કેટલા લેટિસ બિંદુ હશે ?

(i) ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય

(ii) ફલક કેન્દ્રિત ચતુષ્ફલકીય

(iii) અંતઃકેન્દ્રિત

1.9 સમજાવો.

(i) ધાત્વીય અને આયનીય સ્ફટિકો વચ્ચે સમાનતા અને ભિન્નતાના આધારો.

(ii) આયનીય ઘન પદાર્થો સખત અને બરડ છે.

1.10 નીચેના કિસ્સામાં ધાતુ સ્ફટિકમાં સંકુલન ક્ષમતા ગણો.

(i) સાદો સમઘનીય

(ii) અંતઃ કેન્દ્રિત સમઘનીય

(iii) ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય (એ ધારણા સાથે કે પરમાણુઓ એકબીજાને અડકે છે.)

1.11 સિલ્વર fcc લેટિસમાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જો કોષની ધારની લંબાઈ 4.07×10^{-8} cm અને ઘનતા 10.5 g cm^{-3} હોય, તો સિલ્વરનું પરમાણ્વીય દળ ગણો.

1.12 એક સમઘનીય ઘન પદાર્થ બે તત્ત્વો P અને Qનો બનેલો છે. Qના પરમાણુ સમઘનના ખૂણા પર છે અને P અંતઃકેન્દ્ર પર છે. સંયોજનનું સૂત્ર શું હશે ? P અને Qના સવર્ગ આંક કેટલા હશે ?

1.13 નિયોબિયમ અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જો ઘનતા 8.55 g cm^{-3} હોય, તો નિયોબિયમનું પરમાણ્વીય દળ 93 u લઈને તેની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા ગણો.

1.14 જો અષ્ટફલકીય છિદ્રની ત્રિજ્યા r હોય અને સંવૃત સંકુલનમાં પરમાણુઓની ત્રિજ્યા R હોય, તો r અને R વચ્ચેનો સંબંધ ઉપજાવો.

1.15 કૉપર fcc લેટિસમાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે અને તેની ધારની લંબાઈ 3.61×10^{-8} cm છે. દર્શાવો કે તેની ગણતરીથી મેળવેલી ઘનતા માપેલી ઘનતાના મૂલ્ય 8.92 g cm^{-3}ને મળતી (સરખી) આવે છે.

1.16 પૃથક્કરણ દર્શાવે છે કે નિકલ ઑક્સાઇડને $Ni_{0.98}O_{1.00}$ સૂત્ર છે. નિકલનો કેટલો અંશ Ni^{2+} અને Ni^{3+} તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે ?

1.17 અર્ધવાહક શું છે ? બે મુખ્ય પ્રકારના અર્ધવાહકોનું વર્ણન કરો અને તેમની વાહકતા ક્રિયાવિધિઓમાં વિરોધાભાસ જણાવો.

1.18 બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્યુપ્રસ ઑક્સાઇડ Cu_2O પ્રયોગશાળામાં બનાવી શકાય છે. આ ઑક્સાઇડમાં કૉપર અને ઑક્સિજનનો ગુણોત્તર 2 : 1 કરતાં થોડો ઓછો છે. તમે એ હકીકતની માહિતી આપી શકશો કે આ પદાર્થ *p*-પ્રકારનું અર્ધવાહક છે ?

1.19 ફેરિક ઑક્સાઇડ, ઑક્સાઇડ આયનની ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જેમાં દર ત્રણ અષ્ટફલકીય છિદ્રો પૈકીના બે છિદ્રો ફેરિક આયન વડે ભરાયેલા છે. ફેરિક ઑક્સાઇડનું સૂત્ર ઉપજાવો.

1.20 નીચેનામાંથી દરેકનું *p*-પ્રકારના કે *n*-પ્રકારના અર્ધવાહક તરીકે તેનું વર્ગીકરણ કરો.

(i) In વડે ડોપ (dope) કરેલું Ge

(ii) B વડે ડોપ કરેલું Si

1.21 ગોલ્ડ (પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા = 0.144 nm) ફલક કેન્દ્રિત એકમ કોષમાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. કોષની ધારની લંબાઈ કેટલી હશે ?

1.22 પટ સિદ્ધાંતના પર્યાયના સંદર્ભમાં શું તફાવત છે ?

(i) વાહક અને અવાહક વચ્ચે

(ii) વાહક અને અર્ધવાહક વચ્ચે

1.23 યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે નીચેના પર્યાયો સમજાવો :

(i) શૉટ્કી ક્ષતિ (ii) ફ્રેન્કલ ક્ષતિ (iii) આંતરાલીય ક્ષતિ અને (iv) F-કેન્દ્રો

1.24 ઍલ્યુમિનિયમ સમઘનીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. તેની ધાત્વીય ત્રિજ્યા 125 pm છે.

(i) એકમ કોષની ધારની લંબાઈ કેટલી છે ?

(ii) ઍલ્યુમિનિયમના 1.00 cm^3 કદમાં કેટલા એકમ કોષ રહેલા છે ?

1.25 જો NaClને 10^{-3} mol % $SrCl_2$ વડે ડોપ કરવામાં આવે, તો ધનાયન અવકાશ(vacancies)ની સાંદ્રતા શું હશે ?

1.26 યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે નીચેના શબ્દો સમજાવો :

(i) લોહચુંબકત્વ

(ii) અનુચુંબકત્વ

(iii) ફેરિમૅગ્નેટિઝમ

(iv) પ્રતિલોહચુંબકત્વ

(v) 12 - 16 અને 13 - 15 સમૂહના સંયોજનો.

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નોના જવાબો

1.13 4

1.14 છિદ્ર(void)ની કુલ સંખ્યા = 9.033×10^{23}

સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = 6.022×10^{23}

1.15 M_2N_3

1.17 ccp