ठोस अवस्था
(SOLID STATE)

1
अध्याय

Inside the Chapter...............

1.1 ठोस अवस्था के सामान्य अभिलक्षण
1.2 क्रिस्टलीय एवं अक्रिस्टलीय ठोस
1.3 विभिन्न बंधों के आधार पर ठोसों का वर्गीकरण
1.3.1 आणुविक ठोस *1.3.2 आयनिक ठोस*
1.3.3 धात्विक ठोस
1.4.4 सहसंयोजक अथवा नेटवर्क ठोस
1.4 क्रिस्टल जालक और एकक कोष्ठिका
1.4.1 क्रिस्टल जालक
1.4.2 क्रिस्टल तन्त्रों के प्रकार
1.4.3 सात क्रिस्टल समूह
1.4.4 ब्रेवे जालक
1.5 एकक कोष्ठिका में अवयवी कणों की संख्या
1.6 ठोसों में संकुलन (निबिड़ संकुलन)
1.6.1 अन्तरकाशीय छिद्र या अन्तरकाशीय रिक्तियाँ
1.6.2 संकुलन क्षमता
1.6.3 फलक केन्द्रित घनीय एकक कोष्ठिका
1.6.4 अन्तःकेन्द्रित घनीय एकक कोष्ठिका
1.6.5 सरल घनीय एकक कोष्ठिका
1.7 एकक कोष्ठिका का घनत्व
1.8 ठोसों में अपूर्णताऐं
1.8.1 अशुद्धि दोष
1.9 ठोसों के विद्युतीय गुण
1.10 अर्धचालकों में विद्युत चालकता
1.10.1 नैज अथवा शुद्ध अर्द्धचालक
1.10.2 अशुद्ध अथवा अपद्रवी अर्द्धचालक
1.11 ठोसों के चुम्बकीय गुण
1.12 पाठ्यपुस्तक के प्रश्न एवं उत्तर
1.13 अन्य प्रमुख प्रश्न एवं उत्तर

विषय प्रवेश एवं उद्देश्य–

पदार्थ तीन अवस्थाओं ठोस, द्रव, और गैस में पाया जाता है। इन तीनों अवस्थाओं में मुख्य अन्तर इनके अवयवी कणों के मध्य दूरी का है। अवयवी कण परमाणु, अणु अथवा आयन हो सकते हैं। गैसीय अवस्था में अवयवी कण एक दूसरे से अधिक दूरी पर, द्रव अवस्था में कुछ कम दूरी पर उपस्थित होते हैं। ठोस अवस्था में अवयवी कण निम्नतम दूरी पर होते हैं। अवयवी कणों के मध्य प्रबल बंध होते है और, एक सघन संरचना होती हैं। प्रबल बंधों के कारण कण गतिशील नहीं होते हैं। ठोस अवस्था में पदार्थ की सुनिश्चित आकृति और आयतन होता है।

इस अध्याय में हम ठोसों के अभिलक्षण, विभिन्न प्रकार के ठोसों में अन्तर, क्रिस्टल की निबिडि संकुलित संरचना, ठोसों के घनत्व और एकक कोष्ठिका के गुणों में सम्बन्ध, ठोसों के विद्युतीय और चुम्बकीय गुणों आदि का अध्ययन करेंगे।

1.1. ठोस अवस्था के सामान्य अभिलक्षण (General Characteristics of Solids State)

ठोसों की विभिन्न संरचनाएं उनके गुणों का निर्धारण करती हैं। पदार्थ की अवस्था परस्पर विपरीत दिशा में कार्यरत दो परस्पर विरोधी बलों के परिणामी प्रभाव पर निर्भर करती है। ये बल निम्न प्रकार हैं–

(i) अन्तराणुविक बल (Intermolecular forces) अणुओं (परमाणु अथवा आयन) को एक दूसरे के निकट से निकटतम दूरी तक लाने का प्रयास करते हैं।

(ii) ऊष्मीय ऊर्जा (Thermal energy) उन्हें तीव्र गामी बनाकर रखने का प्रयास करती है।

निम्नताप पर ऊष्मीय ऊर्जा निम्न होती है। परिणामस्वरूप अन्तराणुविक बल अवयवी कणों को निकटतम दूरी तक लाकर उनकी स्थिति निश्चित कर देते हैं। इस प्रकार पदार्थ ठोस अवस्था में आ जाता है। ठोस अवस्था में भी अवयवी कण अपनी माध्य स्थिति के सापेक्ष दोलन कर सकता है।

यदि ताप में वृद्धि की जाती है, तो ऊष्मीय ऊर्जा में वृद्धि होती है, परिणामस्वरूप अवयवी कण दूर–दूर जाने लगते हैं। पर्याप्त दूरी बढ़ने पर ठोस पदार्थ द्रव अवस्था में रूपान्तरित हो जाता है। ऊष्मीय ऊर्जा में और अधिक वृद्धि करने पर कणों के मध्य दूरी और अधिक हो जाती है और पदार्थ द्रव अवस्था से गैस अवस्था में रूपान्तरित हो जाता है।

उदाहरण के लिए 0°C के नीचे जल ठोस (बर्फ) के रूप में होता है, 0°C ताप से ऊपर जल द्रव (पानी) के रूप में तथा 100°C से ऊपर जल गैस (वाष्प) के रूप में आ जाता है।

ठोस पदार्थों के सामान्य लक्षण इस प्रकार हैं–

1. ठोस पदार्थों का द्रव्यमान, आयतन, आकार और आकृति निश्चित होता है। इनके आयतन और आकृति पर उस पात्र के आकार और आकृति का कोई प्रभाव नहीं होता, जिसमें ये रखे रहते हैं।
2. ठोस पदार्थ कठोर और असम्पीड्य होते हैं।
3. अन्तराणुविक बल प्रबल होते हैं।
4. अवयवी कणों (अणु, आयन अथवा परमाणु) के मध्य दूरियाँ कम होती हैं।
5. ठोस पदार्थों में अवयवी कणों की स्थिति निश्चित होती है, परन्तु वे अपनी माध्य स्थिति के सापेक्ष दोलन कर सकते हैं।
6. ठोस पदार्थों का घनत्व, उसकी द्रव और गैस अवस्था से अधिक होता है।
7. गैसों व द्रवों की तुलना में ठोसों में विसरण का गुण प्रायः कम पाय जाता है।

1.2 क्रिस्टलीय एवं अक्रिस्टलीय ठोस (Crystalline and Amorphous Solids)

ठोसों को मुख्य रूप से दो भागों में बाँटा जा सकता है।

(i) **क्रिस्टलीय ठोस (Crystalline Solids)**

(i) **अक्रिस्टलीय ठोस (Non-crystalline of Amorphous Solids)**

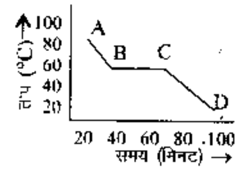
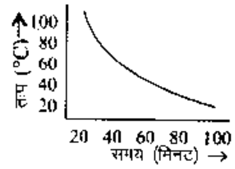
(i) क्रिस्टलीय ठोस ((Crystalline Solids)

- क्रिस्टलीय ठोसों में अवयवी कणों (अणु, परमाणु अथवा आयन) की एक निश्चित और नियमित व्यवस्था होती है।
- अवयवी कणों की यह व्यवस्था दीर्घ परासी होती है, अर्थात् कणों की व्यवस्था का एक निश्चित पैटर्न होता है और इस पैटर्न की सम्पूर्ण क्रिस्टल में समान अन्तराल पर पुनरावृत्ति होती है।
  उदाहरण के लिए NaCl, KCl, Na_2SO_4, K_2CO_3, Fe, Au, Cu क्वार्टज आदि।
- क्रिस्टलीय ठोसों के गलनांक निश्चित होते हैं और उनके शीतलन वक्र (cooling curve) असतत होते हैं।
- क्रिस्टलीय ठोस वास्तविक ठोस (True solid) कहलाते हैं।
- क्रिस्टलीय ठोस साधारणतः लघु क्रिस्टलों की बहुत अधिक संख्या का समूह होता है।
- क्रिस्टलीय ठोस **विषम दैशिक** (Anisotropic) प्रकृति के होते हैं।

2. अक्रिस्टलीय ठोस (Non-Crystalline or Amorphous Solids)

- अक्रिस्टलीय ठोसों में अवयवी कणों की कोई निश्चित व्यवस्था नहीं होती और न ही कोई निश्चित ज्यामिति और आकृति होती है।
- इन ठोसों में अवयवी कणों की व्यवस्था लघु परासी होती है।
- इन ठोसों में अवयवी कणों की व्यवस्था का एक अनियमित पैटर्न होता है जिनकी पुनरावृत्ति कम दूरी तक ही पायी जाती है।
  उदाहरण के लिये काँच, प्लास्टिक, रबर, रेजिन आदि
- अक्रिस्टलीय ठोसों के गलनांक निश्चित नहीं होते हैं। इनके शीतलन वक्र सतत होते हैं।
- अक्रिस्टलीय ठोसों की संरचना द्रवों के समान होती है, इनमें द्रवों के समान बहने (प्रवाह) की प्रकृति होती है, परन्तु प्रवाह बहुत ही मंद होता है। इसीलिये इन्हें **अतिशीतित द्रव** (Super Cooled Liquid) या आभासी ठोस (Pseudo solid) कहा जाता है।
- अक्रिस्टलीय ठोस **समदैशिक** (Isotropic) प्रकृति के होते हैं।
- कुछ अक्रिस्टलीय ठोसों को पिघलाकर धीरे–धीरे ठंडा होने पर वे क्रिस्टलीय ठोस में परिवर्तित हो जाते हैं।

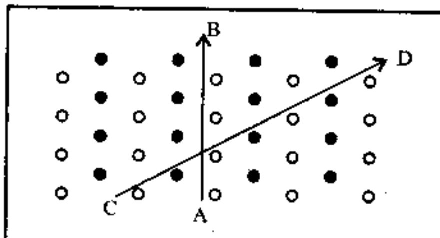
सारणी-1.1 : क्रिस्टलीय और अक्रिस्टलीय ठोसों में अन्तर

गुण	क्रिस्टलीय ठोस	अक्रिस्टलीय ठोस
ज्यामिति	इनकी निश्चित ज्यामिति होती है।	इनकी ज्यामिति निश्चित नहीं होती है।
आन्तरिक व्यवस्था	इनमें अवयवी कणों की आन्तरिक व्यवस्था भी निश्चित और नियमित होती है।	इनमें अवयवी कणों की आन्तरिक व्यवस्था अनिश्चित और अनियमित होती है।
गलनांक	इनके गलनांक निश्चित होते हैं।	इनका गलनांक निश्चित नहीं होता है। गर्म करने पर नर्म होकर प्रवाहित होने लगते हैं।
प्रकृति	निश्चित गलनांक के कारण ये वास्तविक ठोस कहलाते है।	निश्चित गलनांक न होने के कारण, ये अतिशीतित द्रव या आभासी ठोस कहलाते हैं।
शीतलन वक्र	निश्चित गलनांक के कारण इनके शीतलन वक्र असतत् होते हैं।  **क्रिस्टलीय पदार्थ के लिए शीतलन वक्र**	गलनांक निश्चित नहीं होने के कारण इनके शीतलन वक्र सतत होते है।  **अक्रिस्टलीय पदार्थ के लिए शीतलन वक्र**
देशिकता	घनीय क्रिस्टल संरचना के अतिरिक्त, अन्य समस्त क्रिस्टलीय ठोस विषमदैशिकता प्रदर्शित करते हैं।	अक्रिस्टलीय ठोस समदैशिकता दर्शाते हैं।
विदलन	तेज धार वाले औजार से काटने पर विदलन स्पष्ट होता है और नई बनी सतहें सपाट और चिकनी होती हैं।	तेज धार के औजार से काटने पर ये अनियमित सतहों के टुकड़ों में बंट जाते हैं।
अवयवी कणों की व्यवस्था	दीर्घ परासी व्यवस्था होती है।	लघु परासी व्यवस्था होती है।
गलन ऊष्मा	गलन ऊष्मा निश्चित और अभिलाक्षणिक होती है।	गलन ऊष्मा निश्चित नहीं होती है।

समदैशिकता एवं विषम दैशिकता (Isotropy and Anisotropy)

- **विषमदैशिकता (Anisotropy)**–घनीय क्रिस्टल संरचना के अलावा अन्य सभी क्रिस्टलीय ठोसों के भौतिक गुणधर्म जैसे–चालकता, अपवर्तनांक, कठोरता, तनन् सामर्थ्य आदि के मान विभिन्न दिशाओं में भिन्न–भिन्न होते हैं। यह गुण विषमदैशिकता कहलाता है। अतः **क्रिस्टलीय ठोस विषमदैशिक** होते हैं।

  विषमदैशिकता का कारण–चित्र 1.4 में क्रिस्टलीय ठोस में उपस्थित अवयवी कणों की एक निश्चित व्यवस्था प्रदर्शित की गई है–



चित्र 1.1 : क्रिस्टलों में विषम दैशिकता

यदि क्रिस्टलीय ठोस में प्रकाश पुंज को AB दिशा में गुजारते है तो प्रकाश मार्ग के दोनों ओर समान अवयवी कणों की पंक्तियाँ उपस्थित होती हैं जबकि CD दिशा में दोनों प्रकार के अवयवी कण एकान्तर क्रम में उपस्थित होते हैं अतः AB दिशा और CD दिशा में अवयवी कणों का प्रभाव भिन्न–भिन्न पड़ने के कारण, प्रकाश क अपवर्तनांक के भिन्न–भिन्न मान प्राप्त होते हैं। इसी प्रकार अन्य भौतिक गुणों के मान भी भिन्न–भिन्न प्राप्त होते हैं, जिसे विषमदैशिकता कहते है।

- **समदैशिकता (Isotropy)**–अक्रिस्टलीय ठोसों में अवयवी कणों की कोई निश्चित व्यवस्था नहीं होने के कारण, इनके भौतिक गुण धर्म जैसे–कठोरता, अपवर्तनांक, चालकता, तनन सामर्थ्य, यांत्रिक सामर्थ्य आदि के मान प्रत्येक दिशा में एक समान होते हैं। यह गुण समदैशिकता कहलाता है। अतः अक्रिस्टलीय ठोस समदैशिक होते हैं

समदैशिकता का कारण–अक्रिस्टलीय ठोस में अवयवी कणों की कोई निश्चित व्यवस्था नहीं होती है बल्कि ये अव्यवस्थित रहते हैं। अतः अपवर्तनांक ज्ञात करने में प्रकाश की किरणें प्रत्येक दिशा से दोनों ही प्रकार के कणों से प्रभावित होती है। इसलिए इनके भौतिक गुणों के मान प्रत्येक दिशा में समान रहते हैं।

1.3 विभिन्न बंधों के आधार पर ठोसों का वर्गीकरण (Classification of Crystalline Solids on the Basis of Nature of Bonding)

क्रिस्टलीय ठोसों को उनके अवयवी कणों के मध्य उपस्थित बंधन के आधार पर चार भागों में बांटा गया है–

(1) **आणुविक ठोस (Molecular Solids)**

(2) **आयनिक ठोस (Ionic Solids)**

(3) **धात्विक ठोस (Metallic Solids)**

(4) **सहसंयोजक अथवा नेटवर्क ठोस (Covalent of Network Solids)**

1.3.1 आणुविक ठोस (Molecular Solids)

आणुविक ठोसों में अवयवी कण अणु होते हैं। इनकी प्रकृति के आधार पर इन्हें और अधिक उपभागों में प्रविभाजित किया जाता है।

(a) **अध्रुवीय आणुविक ठोस (Non Polar Molecular Solids)**–

- इस प्रकार के आणुविक ठोसों में अणु अध्रुवीय अथवा परमाणु होते हैं। अध्रुवीय अणुओं में परमाणु अध्रुवीय सहसंयोजक बंधों से बंधे होते हैं।
- उदाहरण के लिये $H_{2(s)}$, $I_{2(s)}$, $Cl_{2(s)}$, $CH_{4(s)}$, $Ar_{(s)}$ $CCl_{4(s)}$
- इन ठोसों में अणुओं के मध्य दुर्बल वान्डरवाल बल होते हैं, और परमाणुओं के मध्य परिक्षेपण बल अथवा लंडन बल होते हैं।
- ये क्रिस्टल नर्म और विद्युत के कुचालक होते हैं।
- इन क्रिस्टलों के गलनांक और क्वथनांक कम होते हैं अतः सामान्य ताप पर ये द्रव अथवा गैसीय अवस्था में होते हैं।

(b) **ध्रुवीय आणुविक ठोस (Polar Molecular Solids)**–इस प्रकार के ठोस ध्रुवीय अणुओं द्वारा बने होते हैं। अणु में परमाणुओं के मध्य ध्रुवीय सहसंयोजक बन्ध होते हैं।

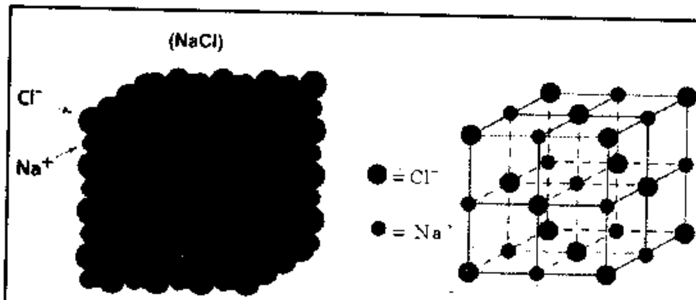
- उदाहरण के लिये $HCl_{(s)}$, $SO_{2(s)}$ आदि।
- इस प्रकार के ठोसों में अणु अपेक्षाकृत प्रबल द्विध्रुव–द्विध्रुव अन्योन्य क्रियाओं (द्विध्रुव–द्विध्रुव आकर्षण बलों) द्वारा जुड़े रहते हैं।
- ये ठोस भी नर्म और विद्युत के कुचालक होते हैं।
- इन ठोसों के गलनांक और क्वथनांक अपेक्षाकृत अधिक होते हैं, फिर भी ये सामान्य ताप द्रव अथवा गैसीय अवस्था में होते हैं।

(c) **हाइड्रोजन आबन्धित आणुविक ठोस (Hydrogen bonded Molecular Solids)**

- इस प्रकार के ठोस भी ध्रुवीय अणुओं द्वारा बनते हैं
- परन्तु इन ठोसों में अणुओं के मध्य प्रबल हाइड्रोजन आबन्ध होते हैं।
- उदाहरण के लिये $H_2O_{(s)}$ (बर्फ), $NH_{3(s)}$, $C_2H_5OH_{(s)}$ आदि।
- ये ठोस विद्युत के कुचालक और नर्म होते हैं। यदि इनकी द्रव अवस्था में आयनिक लवण जैसे NaCl घोल दिया जाये, तो ये विद्युत चालकता प्रदर्शित कर सकते हैं।
- सामान्यतया कमरे के ताप पर ये वाष्पशील द्रव अथवा नर्म ठोस होते हैं।

1.3.2 आयनिक ठोस (Ionic Solids)

- आयनिक ठोसों में अवयवी कण धनायन और ऋणायन होते हैं।
- धनायन और ऋणायन परस्पर स्थिर वैद्युत आकर्षण बलों (आयनिक आबन्धों) से जुड़े रहते हैं।
- ये ठोस कठोर और भंगुर प्रकृति के होते हैं।
- ध्रुवीय विलायकों में अत्यंत घुलनशील होते हैं।
- उदाहरण के लिये– NaCl, KCl, $CuSO_4$, $KClO_3$, LiF आदि।
- इन ठोसों के गलनांक और क्वथनांक उच्च होते हैं।
- विद्युत के कुचालक होते हैं क्योंकि इन ठोसों में आयन गति करने के लिये स्वतंत्र नहीं होते हैं।
- पिघली हुई अवस्था में अथवा जलीय विलयन में ये विद्युत के सुचालक होते हैं।
- आयनिक यौगिकों को मूलानुपाती सूत्र द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। जैसे– Na_2SO_4, $Al_2(SO_4)_3$, $MgSO_4$ आदि।
- गैसीय अवस्था में लाये जाने पर ये वायुमंडलीय गैसों से क्रिया कर सकते हैं, जैसे NaCl की वाष्प जलवाष्प से क्रिया करके NaOH तथा HCl बनाती है। चित्र में NaCl की संरचना दर्शायी गई है।

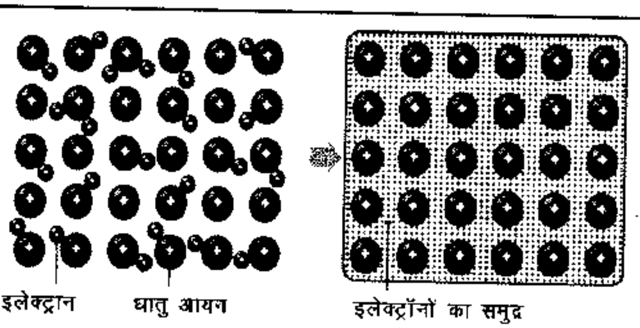


चित्रः 1.2 सोडियम क्लोराइड की संरचना

1.3.3 धात्विक ठोस (Metallic Solids)

- धातुएं धनायनों का व्यवस्थित समूह है जो चारों ओर से संलग्नित इलेक्ट्रॉनों से घिरा रहता हैं। यह कहा जा सकता है, कि धात्विक ठोस एक प्रकार से धनायनों (कर्नेल) का समूह होता है, जो कि मुक्त इलेक्ट्रॉनों से बने समुद्र में डूबा हुआ है।
- ये इलेक्ट्रॉन स्वतंत्र होते हैं और सम्पूर्ण क्रिस्टल से समान रूप से विस्थानीकृत (delocalised) होते हैं।
- इन गतिशील इलेक्ट्रॉनों के कारण ही धात्विक ठोस विद्युत और ऊष्मा के सुचालक होते हैं।
- इन ठोसों में गतिशील इलेक्ट्रॉनों के कारण ही धात्विक चमक और रंग पाया जाता है।
- धात्विक ठोस (धातुएं) अत्यधिक आघातवर्धनीय और तन्य होती हैं, अर्थात् इनकी चादरें बनाई जा सकती है, और तार खींचे जा सकते हैं। उदाहरण के लिये–Cu, Ag, Au, Fe, Al आदि।

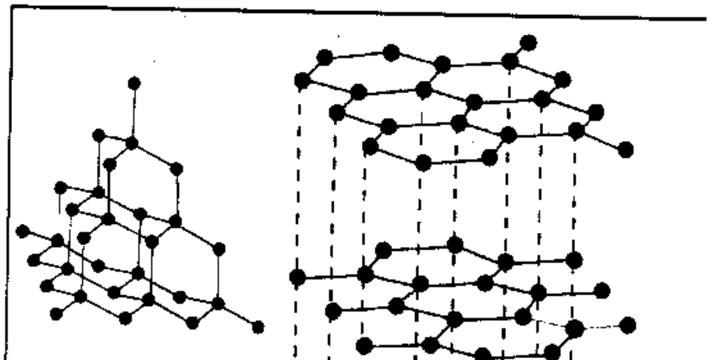
  चित्र में धात्विक ठोस की संभावित संरचना प्रदर्शित की गई है।



चित्र 1.3 धात्विक ठोस

1.3.4 सहसंयोजक अथवा नेटवर्क ठोस (Covalent or Network Solids)

- सहसंयोजक ठोसों में अवयवी कण परमाणु होते हैं, जो प्रबल सहसंयोजक आबन्धों से जुड़े रहते हैं।
- सहसंयोजक बन्ध प्रबल और दिशात्मक होते हैं अतः परमाणु अप स्थिति पर प्रबलता से संलग्न रहते हैं।
- सहसंयोजक ठोसों को **विशाल अणु** (Macro Molecule) भी क जाता है।
- उदाहरण– के लिये–हीरा, सिलिकॉन कार्बाइड (SiC), BN, Si(ग्रेफाइट आदि
- सहसंयोजक ठोस अत्यधिक कठोर होते हैं। हीरा सबसे कठोर होता ह
- ये ठोस विद्युत के कुचालक होते हैं।
- इन ठोसों में ग्रेफाइट एक नर्म ठोस है और विद्युत का सुचालक है ग्रेफाइट का यह गुण उसकी परतीय संरचना के कारण होता है। इ प्रकार की संरचना ग्रेफाइट को नर्म और सुचालक बनाती है। उत्तम ठोस चिकनाई (Solid lubricant) का कार्य करता है। कार्ब की sp^2 संकरित अवस्था होती है।
- इन ठोसों के गलनांक उच्च होते हैं और गलन से पूर्व ही विघटि हो सकते हैं।
- हीरा में कार्बन sp^3 संकरित अवस्था होता है। संकरित कार्बन परमाए एक विशाल नेटवर्क बनाते हैं।



चित्र 1.4 : हीरे और ग्रेफाइट की संरचना

चारों प्रकार के ठोसों और उनके गुणों को सारणी 1.2 में दर्शाया गया है।

सारणी 1.2 चारों प्रकार के ठोस और उनके गुण

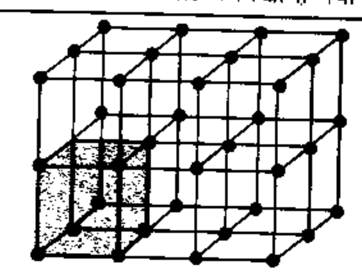
ठोस का प्रकार	अवयवी कण	बन्धन/आकर्षण बल	उदाहरण	प्रकृति	बन्धन ऊर्जा	विद्युत चालकता	गलनांक
I. आणुविक ठोस					$KJmol^{-1}$		
(i) अध्रुवीय	अणु अथवा परमाणु	परिक्षेपण अथवा लंडन बल	$Ar_{(s)}$, $CCl_{4(s)}$ $H_{2(s)}$, $I_{2(s)}$ $CO_{2(s)}$	नर्म (मुलायम)	20 से कम	विद्युत रोधी (कुचालक)	अत्यधिक निम्न
(ii) ध्रुवीय	अणु	द्विध्रुव–द्विध्रुव आकर्षण बल	$HCl_{(s)}$ $SO_{2(s)}$	नर्म (मुलायम)	40 से कम	कुचालक	निम्न
(iii) हाइड्रोजन आबन्धी	अणु	हाइड्रोजन बन्धन	$H_2O_{(s)}$ $NH_{3(s)}$	कुछ कठोर		कुचालक	निम्न

2. आयनिक ठोस	आयन	स्थिर वैद्युत आकर्षण बल, (आयनिक बंध)	NaCl, Na_2SO_4, CaO, $MgCO_3$, CaF_2	कठोर परन्तु भंगुर	400 से 4000	ठोस अवस्था में कुचालक परन्तु द्रव अवस्था अथवा जलीय विलयन में सुचालक	उच्च
3. धात्विक ठोस	परमाणुओं के धनायन और विस्थानीकृत इलेक्ट्रॉन	धात्विक बंध	Cu, Ag, Au, Mg, Fe, Cr	कठोर परन्तु आघातवर्धनीय एवं तन्य	70-1000	ठोस अवस्था एवं गलित अवस्था में सुचालक	साधारण उच्च
4. सह-संयोजक अथवा नेटवर्क ठोस	परमाणु	सहसंयोजक बन्ध	C (हीरा), C (ग्रेफाइट), SiC, SiO_2, AlN	कठोर ग्रेफाइट अपवादिक रूप से नर्म (मुलायम)	150-500	विद्युत क कुचालक ग्रेफाइट चालक (अपवाद)	अत्यधिक उच्च

1.4 क्रिस्टल जालक और एकक कोष्ठिका (Crystal Lattice and Unit Cell)

1.4.1 क्रिस्टल जालक (Crystal Lattice)

क्रिस्टलीय ठोसों में अवयवी कण, तीनों विमाओं में एक नियमित और निश्चित ज्यामिति में व्यवस्थित होते हैं। अवयवी कणों की इस त्रिविमीय व्यवस्था को क्रिस्टल जालक (Crystal lattice) कहते हैं। ''**दूसरे शब्दों में त्रिविम आकाश में किसी क्रिस्टल की इकाइयों की नियमित व्यवस्था (Regular array of unit) को त्रिविमीय जालक (space lattice) अथवा क्रिस्टल जालक कहते हैं।**'' क्रिस्टल जालक के आरेख में अवयवी कणों (परमाणु, अणु अथवा आयन) को बिन्दु द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। इन बिन्दुओं को सरल रेखाओं द्वारा जोड़ने पर क्रिस्टल जालक का आरेख बनता है। इन बिन्दुओं को **जालक बिन्दु (Crystal points)** कहते हैं। इस प्रकार का एक क्रिस्टल जालक चित्र 1.5 में दिखाया गया है।



चित्र 1.5 : क्रिस्टल जालक और एकक कोष्ठिका (छायान्कित भाग)

(a) एकक कोष्ठिका (Unit Cell)

क्रिस्टल जालक का वह छोटे से छोटा भाग जो सम्पूर्ण क्रिस्टल का प्रतिबिम्ब हो एकक कोष्ठिका या इकाई सैल कहलाता है। ''अर्थात् सम्पूर्ण क्रिस्टल संरचना में वह छोटी से छोटी ईकाई जो सभी दिशाओं में समान रूप से बार-बार दोहराने पर पुनः क्रिस्टल संरचना का निर्माण करती है। एकक कोष्ठिका या ईकाई सेल कहलाती है। चित्र 1.5 में इकाई कोष्ठिका को छायांकित दिखाया गया है।

(b) इकाई कोष्ठिका के पैरामीटर (Parameters of a unit cell)

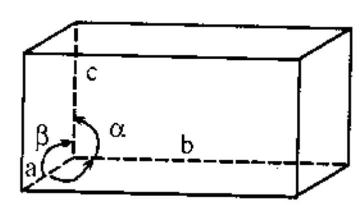
इकाई कोष्ठिका को दर्शाने के लिये कुछ पैरामीटर की आवश्यकता होती है। ये पैरामीटर उस एकक कोष्ठिका के अभिलाक्षणिक गुण होते हैं। ये पैरामीटर एकक कोष्ठिका के तीनों किनारों (Edges) की लम्बाई (अक्षीय दूरी) और अक्षों में मध्य कोण (अक्षीय कोण) के रूप में होते हैं।

(i) एकक कोष्ठिका के तीनों किनारों की अक्षीय लम्बाई क्रमशः a, b तथा c द्वारा व्यक्त करते हैं, जो परस्पर लम्बवत हो भी सकते हैं और नहीं भी।

(ii) किनारों (कोरों) के मध्य कोण α, β तथा γ द्वारा प्रदर्शित करते हैं। α कोण किनारे b और c के मध्य, β कोण किनारे a और c के मध्य तथा γ कोण किनारे a और b के मध्य के होते हैं। इन्हें अक्षीय कोण (Axial Angle) कहते हैं।

अतः एकक कोष्ठिका को 6 पैरामीटर, a, b, c तथा α, β, γ द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

प्रतिरूपी इकाई कोष्ठिका के इन पैरामीटरों को चित्र 1.6 में दर्शाया गया है।



चित्र 1.6 : इकाई कोष्ठिका के पैरामीटर

(c) क्रिस्टल जालक के अभिलक्षण (Characterstics of Crystal Lattice) :

एक क्रिस्टल जालक में–

(i) प्रत्येक अवयवी कण एक बिन्दु द्वारा दर्शाया जाता है, जिसे **जालक बिन्दु** या **जालक स्थल** कहते हैं।

(ii) क्रिस्टलीय ठोसों के संघटन के आधार पर अवयवी कण परमाणु, आयन अथवा अणु हो सकते हैं।

(iii) जालक बिन्दुओं को सीधी रेखाओं द्वारा जोड़ा जाता है जिससे जालक की ज्यामिति व्यक्त की जा सके।

(iv) क्रिस्टल जालक में बने तल **क्रिस्टल तल (Crystal Plane)** कहलाते हैं।

(v) जालक बिन्दुओं का त्रिविम प्रतिदर्श (त्रिविम व्यवस्था) से क्रिस्टल की ज्यामिति प्रदर्शित करती है।

[illegible]

विस्तृत रूप से इकाई कोष्ठिकाओं को दो भागों में बाँटा गया है।
(i) आद्य एकक कोष्ठिका (ii) केन्द्रित एकक कोष्ठिका

(i) **मूल या आद्य एकक कोष्ठिका (Primitive unit cell)**–इस प्रकार की एकक कोष्ठिका में अवयवी कण (जालक बिन्दु) कोष्ठिका के केवल कोनों पर उपस्थित होते हैं आद्य एकक कोष्ठिका को सरल एकक कोष्ठिका भी कहते हैं।

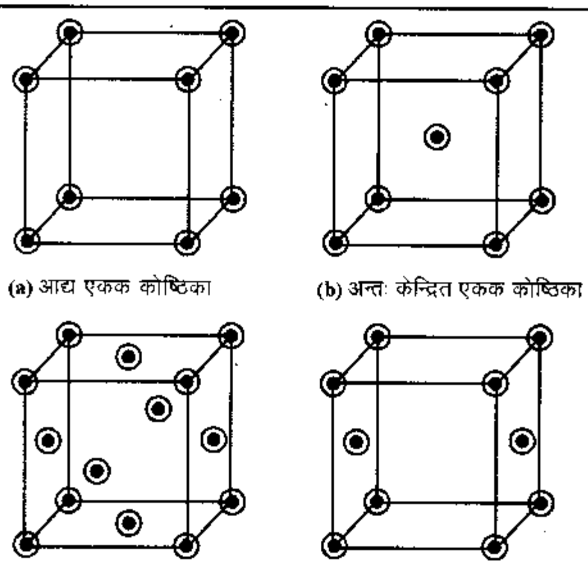
(ii) **केन्द्रित एकक कोष्ठिका (Centred Unit Cell)**–यदि एकक कोष्ठिका में अवयवी कण कोनों के अतिरिक्त अन्य स्थितियों पर भी उपस्थित हों तो ये एकक कोष्ठिका **केन्द्रित एकक कोष्ठिका** कहलाती है।
केन्द्रित एकक कोष्ठिकाओं के प्रकार–केन्द्रित एकक कोष्ठिकाएँ तीन प्रकार की होती हैं।

(a) **अंतः केन्द्रित एकक कोष्ठिका (Body Centred Unit Cell)**–यदि अवयवी कण (जालक बिन्दु) एकक कोष्ठिका के कोनों के अतिरिक्त एकक कोष्ठिका के केन्द्र में भी उपस्थित हो तो वह **अंतः केन्द्रित एकक कोष्ठिका** कहलाती है।

(b) **फलक केन्द्रित एकक कोष्ठिका (Face Centred Unit Cell)**–इस प्रकार की एकक कोष्ठिका में अवयवी कण कोनों के अतिरिक्त प्रत्येक फलक के केन्द्र पर भी स्थित होते हैं।

(c) **अन्त्य-केन्द्रित एकक कोष्ठिका (End Centred Unit Cell)**–इस प्रकार की एकक कोष्ठिका में अवयवी कण कोनों के अतिरिक्त किन्हीं दो विपरीत फलकों के केन्द्र पर भी स्थित होते हैं।

चित्र 1 में सरल कोष्ठिका (आद्य एकक कोष्ठिका) और केन्द्रित एकक कोष्ठिकाओं को दर्शाया गया है।



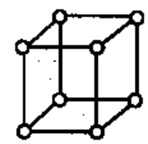
(a) आद्य एकक कोष्ठिका (b) अन्तः केन्द्रित एकक कोष्ठिका (c) फलक केन्द्रित एकक कोष्ठिका (d) अत्य केन्द्रित एकक कोष्ठिका

चित्र 1.7 : (a) आद्य एकक कोष्ठिका
(b)(c)(d) केन्द्रित एकक कोष्ठिकाएँ

[illegible] (Seven Crystal Systems)

क्रिस्टलों मे सात प्रकार के आद्य एकक कोष्ठिकाएँ पाई जाती है। इन एकक कोष्ठिकाओं में विभेद उनके पैरामीटर a, b, c, α, β, तथा γ द्वारा किया जाता है। पैरामीटरों के आधार पर सात आद्य एकक कोष्ठिकाएँ निम्नलिखित हैं–

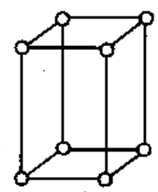
1. **घनीय (Cubic)**–तीनों अक्षीय दूरियाँ समान हैं, और एक दूसरे के लम्बवत् है, अर्थात् प्रत्येक अक्षीय कोण 90° है।
($a = b = c$ & $\alpha = \beta = \gamma = 90°$)



घनीय
(CUBIC)
$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

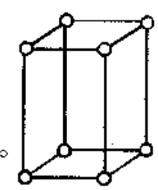
2. **द्विसमलम्बाक्ष अथवा चतुष्कोणीय (Tetragonal)**–तीनों अक्ष एक दूसरे पर लम्बवत् हैं, परन्तु दो अक्ष समान है और एक असमान।
($a = b \neq c$ and $\alpha = \beta = \gamma = 90°$)

चतुष्कोणीय अथवा
द्विसमलम्बाक्ष
(TETRAGONAL)
$a = b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



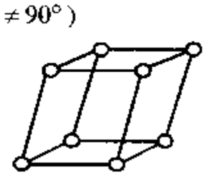
3. **विषमलम्बाक्ष (Orthorhombic)**–तीनों अक्षीय दूरियाँ असमान हैं परन्तु एक दूसरे के लम्बवत् हैं।
($a \neq b \neq c$ & $\alpha = \beta = \gamma = 90°$)

विषम लम्बाक्ष
(OTHORHOMBIC)
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



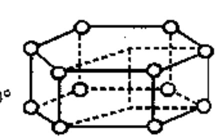
4. **एकनताक्ष (Monoclinic)**–तीनों अक्षीय दूरियाँ असमान है। दो अक्षीय कोण 90° तथा एक अक्षीय कोण 90° से भिन्न होता है।
($a \neq b \neq c$ & $\alpha = \gamma = 90°$; $\beta \neq 90°$)

एकनताक्ष
(MONOCLINIC)
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \gamma = 90°, \beta \neq 90°$



5. **षट्कोणीय (Hexagonal)**–दो अक्ष समान परन्तु तीसरी अक्ष असमान होती हैं। इसी प्रकार दो अक्षीय कोण 90° के और एक अक्षीय कोण 120° का होता है।

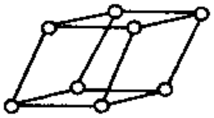
षट्कोणीय
(HEXAGONAL)
$a = b \neq c$
$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$



($a = b \neq c$ & $\alpha = \beta = 90°; \gamma = 120°$)

6. **त्रिसमनताक्ष अथवा त्रिकोणी (Rhombohedral)**–तीनों अक्ष समान लम्बाई के होते हैं, इनके मध्य अक्षीय कोण भी समान होते हैं, परन्तु 90° के नहीं होते हैं।
($a = b = c$ & $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$)

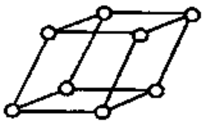
त्रिसमनताक्ष
(RHOMBOHEDRAL)
$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$



7. **त्रिनताक्ष (Triclinic)**–इस संरचना में तीनों अक्ष असमान लम्बाई के होते हैं। तीनों कोण असमान हैं और उनमें कोई भी कोण 90° का नहीं है।

($a \neq b \neq c$ and $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$)

त्रिनताक्ष
(TRICLINIC)
$a \neq b \neq c$
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$



नोट–(1) सात क्रिस्टल समूहों में धनीय सबसे सममित होता है। अध्ययन के लिये प्रायः धनीय क्रिस्टल जालक को चुना जाता है। (2) त्रिनताक्ष क्रिस्टल सबसे असममित होता हैं, न तो अक्षों में और न ही अक्षीय कोणों में कोई समानता होती है।

उपरोक्त वर्णित क्रिस्टल समूहों (crystal Systems) को सारणी 1.2 में संक्षिप्त रूप में दर्शाया गया है।

सारणी 1.3 सात क्रिस्टल समूह

क्रिस्टल समूह	अक्षीय दूरियाँ	अक्षीय कोण	उदाहरण
घनीय (Cubic)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	NaCl, KCl, हीरा, Cu, Ag, जिंक ब्लैंड (ZnS),
द्विसमलंबाक्ष (Tetragonal) चतुष्कोणीय	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	श्वेत टिन, SnO_2, TiO_2, $CaSO_4$
विषमलंबाक्ष (Orthorhombic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	विषमलम्बाक्ष गंधक, KNO_3, K_2SO_4, $BaSO_4$, $PbCO_3$
एकनताक्ष (Monoclinic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90°, \beta \neq 90°$	एकनताक्ष गंधक, Na_2SO_4. $10H_2O$, $PbCrO_4$
षट्कोणीय (Hexagonal)	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$	ग्रेफाइट, ZnO, CdS, PbI_2
त्रिसमनताक्ष (या त्रिकोणी) (Rhombohedral)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	कैलासाइट ($CaCO_3$), क्वार्टज, $NaNO_3$, सिनेबार (HgS), Sb
त्रिनताक्ष (Triclinic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	$CuSO_4 . 5H_2O$, $K_2Cr_2O_7$, H_3BO_3

ब्रेवे जालक (Bravais Lattice)

फ्रांस के गणितज्ञ ब्रेवे ने 1848 में बताया कि सात क्रिस्टल समुदायों को उनकी एकक कोष्ठिका में अवयवी कणों की व्यवस्था के आधार पर 14 विभिन्न प्रकार के त्रिविम जालकों में विभाजित किया जा सकता हैं। इन त्रिविम जालकों (Space Lattice) को **ब्रेवे जालक** कहते हैं।

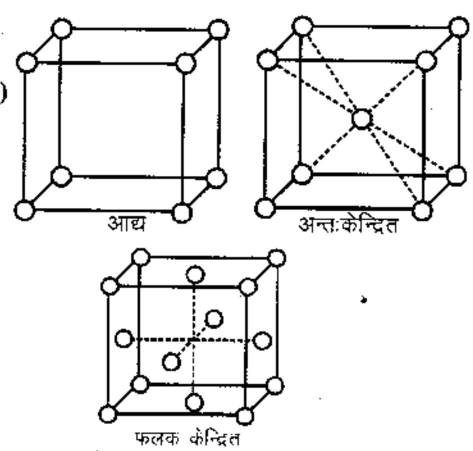
ब्रेवे जालकों को सारणी 1.4 में व्यवस्थित किया गया है। सारणी में दर्शाया गया है। कि एक क्रिस्टल समुदाय में कौन–कौन से एकक कोष्ठिकाएं संभव है और उनकी कुल संख्या कितनी है।

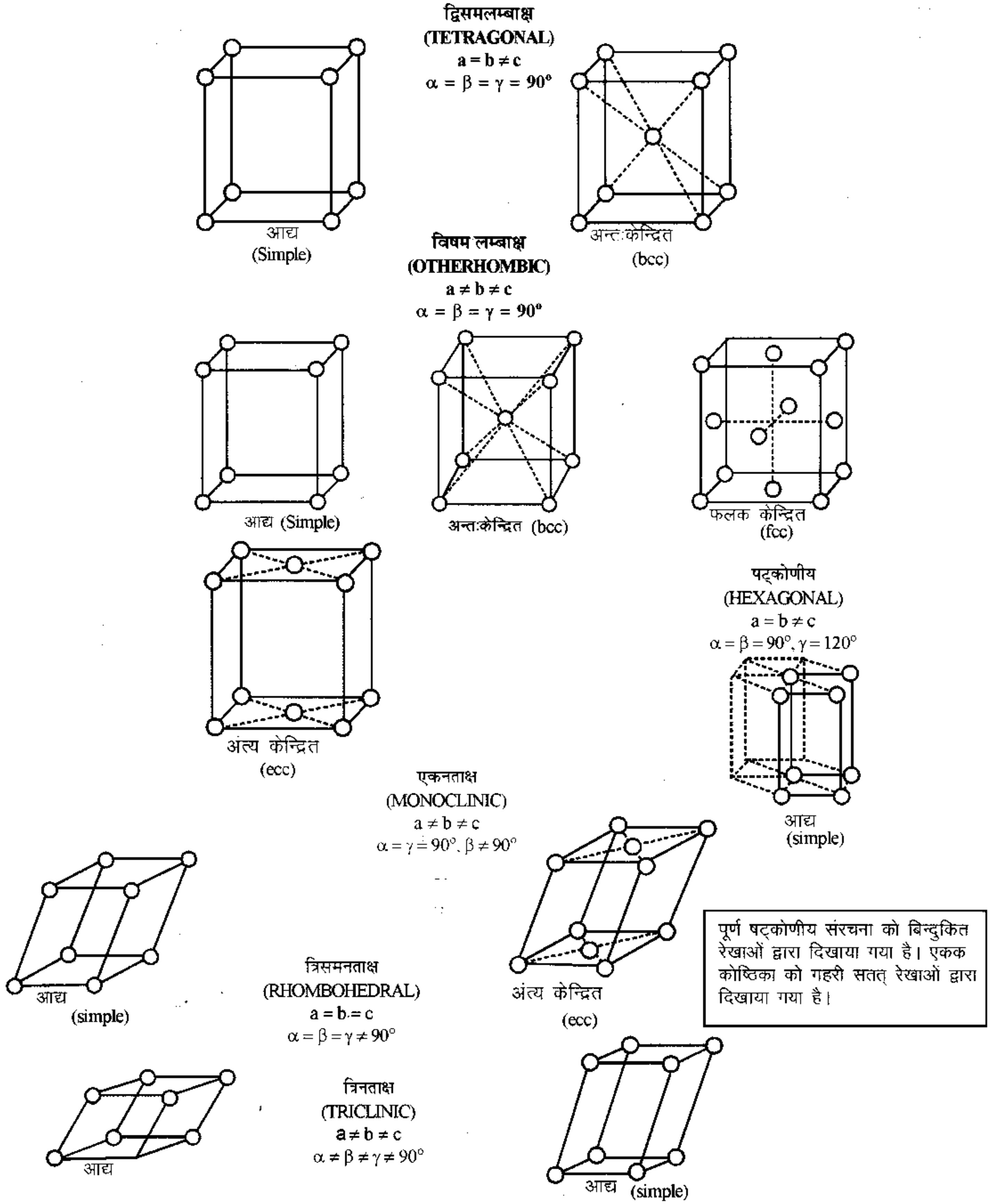
सारणी 1.4

क्र. सं.	क्रिस्टल समुदाय	त्रिविम जालकों (एक कोष्ठिकाओं) के प्रकार	त्रिविम जालकों की संख्या
1.	घनीय (Cubic)	आद्य, अंतःकेन्द्रित फलक केन्द्रित	3
2.	द्विसमलंबाक्ष (Tetragonal) चतुष्कोणीय	आद्य, अंतः केन्द्रित	2
3.	विषमलंबाक्ष (Orthorhombic)	आद्य, अंतः केन्द्रित अन्त्य केन्द्रित, फलक केन्द्रित	4
4.	एकनताक्ष (Monoclinic)	आद्य, अंत्य केन्द्रित	2
5.	षट्कोणीय (Hexagonal)	आद्य	1
6.	त्रिसमनताक्ष (या त्रिकोणी) (Rhombohedral)	आद्य	1
7.	त्रिनताक्ष (Triclinic)	आद्य	1
			कुल 14

चित्र 1.8 में 14 ब्रेवे जालकों की एकक कोष्ठिकाओं को दर्शाया गया है।

घनीय (CUBIC)
$a = b = c$





चित्र 1.8—ब्रेवे जालकों की एकक कोष्ठिकाएं

1.5 एकक कोष्ठिका में अवयवी कणों की संख्या (Number of Constituent Particles in a Unit Cell)

दीर्घ क्रिस्टलीय संरचना में प्रत्येक एकक कोष्ठिका के अवयवी कण अपने चारों ओर उपस्थित अन्य एकक कोष्ठिकाओं से भी सम्बन्धित होते हैं; अर्थात् एक अवयवी कण एक से अधिक एकक कोष्ठिकाओं में सहभाजित रहता है। अब हम देखेगें कि प्रत्येक अवयवी कण (परमाणु, आयन अथवा अणु) का कौन सा भाग एक विशिष्ट एकक कोष्ठिका से सम्बन्धित हैं।

सरलता के लिये हम धनीय एकक कोष्ठिकाओं को उदाहरण के रूप में लेंगे और अवयवी कण को परमाणु मानेंगे। **चित्रों में अवयवी कणों को समान आकार के गोलों के रूप में दर्शाया गया है।**

(i) सरल (आद्य) घनीय एकक कोष्ठिका-सरल या (आद्य) घनीय एकक कोष्ठिका प्रत्येक कोने पर अवयवी कण उपस्थित होता है। चित्रानुसार कोने का कोई भी एक अवयवी कण आठ सरल घनीय एकक कोष्ठिकाओं में वितरित होता है, जिनमें से चार नीचे की तथा ऊपर की ओर स्थित है। अतः वास्तव में एक अवयवी कण का केवल 1/8 वां भाग ही एक विशिष्ठ एकक कोष्ठिका से संबंधित रहता है।

प्रत्येक संरचना को चित्रों में तीन प्रकार से दर्शाया गया है।

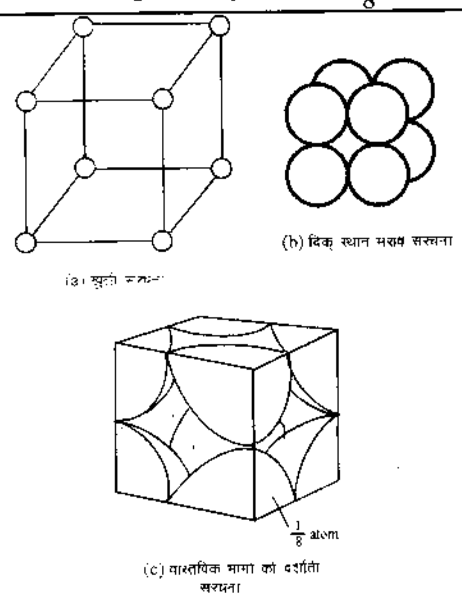
(a) अवयवी कणों को केवल नाभिकों को प्रदर्शित किया गया है, जो कोनों पर स्थित हैं (खुली संरचना)

(b) अवयवी कणों को वास्तविक आकार में प्रदर्शित किया गया है (दिक् भराव संरचना)

(c) अवयवी कणों के उन भागों को दिखाया गया है, जो वास्त्व में उस कोष्ठिका के हिस्से में आते हैं।

आद्य घनीय एकक कोष्ठिका में परमाणु धन के कोनों पर उपस्थित होते हैं।

अतः एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की कुल संख्या = $\frac{1}{8} \times 8 = 1$



चित्र 1.9 : आद्य घनीय एकक कोष्ठिका
(a) खुली संरचना (b) दिकस्थान भराव संरचना (c) वास्तविक भागों को दर्शाने वाली संरचना

(i) अंतः केन्द्रित घनीय एकक कोष्ठिका (Body centred cubic (bcc) unit cell)

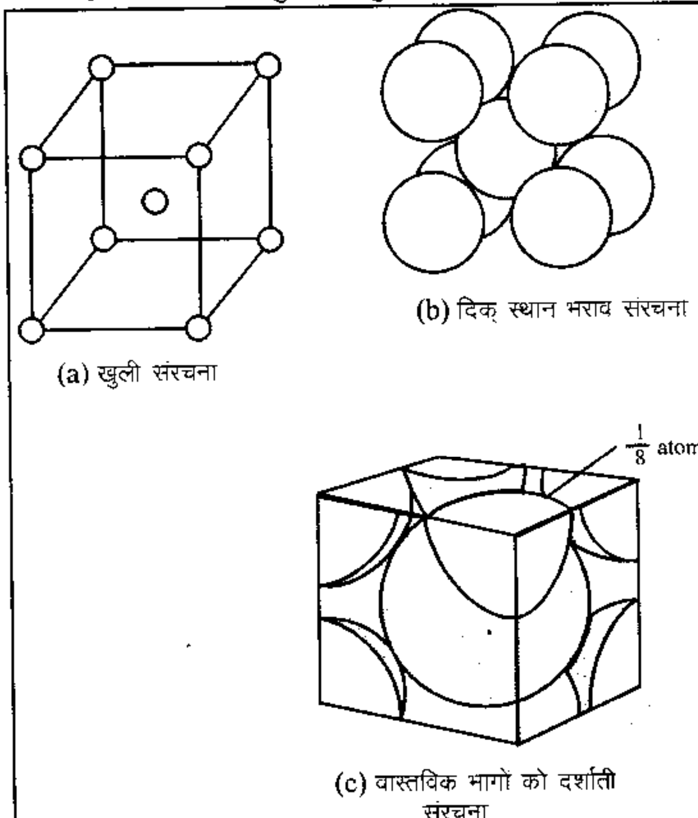
bcc एकक कोष्ठिका में 8 परमाणु धन के कोनों पर और एक परमाणु धन के केन्द्र पर उपस्थित होता है।

अतः अंतः केन्द्रित घनीय एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की कुल संख्या–

(i) 8 कोने के परमाणु × $\frac{1}{8}$ प्रत्येक का योगदान = 1

(ii) 1 केन्द्र

एकक कोष्ठिका में कुल परमाणुओं की संख्या = 1+1 = 2



चित्र 1.10 : अन्तः केन्द्रित घनीय (bcc) एकक कोष्ठिका
(a) खुली संरचना (b) दिकस्थान भराव संरचना (c) वास्तविक भागों को दर्शाने वाली संरचना

(iii) फलक-केन्द्रित घनीय एकक कोष्ठिका (Face Centred Cubic (fcc) Unit Cell)

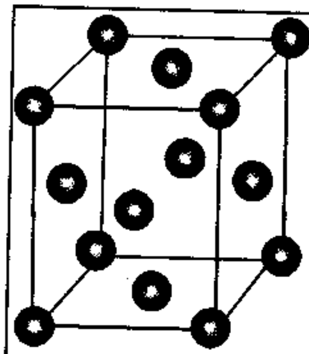
fcc एकक कोष्ठिका में 8 परमाणु घन के कोनों पर तथा 6 परमाणु प्रत्येक फलक के केन्द्र पर उपस्थित होते हैं।

अतः fcc एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की कुल संख्या–

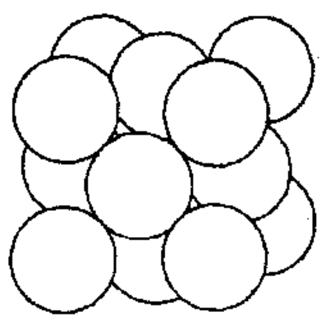
(i) 8 कोने के परमाणु × $\frac{1}{8}$ प्रत्येक परमाणु का योगदान = 1

(ii) 6 फलक के केन्द्र के परमाणु × $\frac{1}{2}$ प्रत्येक परमाणु का योगदान = 3

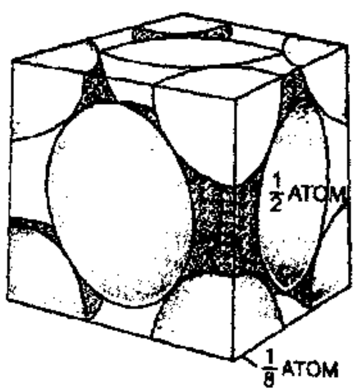
एकक कोष्ठिका में कुल परमाणुओं की संख्या = 4, (1 + 3)1.9



(a) खुली संरचना



(b) दिक् स्थान भराव संरचना



(c) वास्तविक भागों को दर्शाने वाली संरचना

चित्र 1.11 : फलक केन्द्रित घनीय (fcc) एकक कोष्ठिका (a) खुली संरचना (b) दिकस्थान भराव संरचना (c) वास्तविक भागों को दर्शाने वाली संरचना

उपरोक्त तीनों प्रकार की एकक कोष्ठिकाओं में परमाणुओं की गणना को सारणी में दर्शाया गया है।

सारणी 1.5

	एकक कोष्ठिका	कोनों के परमाणुओं की संख्या	फलक के केन्द्र पर उपस्थित परमाणुओं की संख्या	केन्द्र पर उपस्थित परमाणुओं की संख्या	कुल संख्या
1.	सरल घनीय	$8\times\frac{1}{8}=1$	0	0	1
2.	अंतः केन्द्रित घनीय	$8\times\frac{1}{8}=1$	0	1	2
3.	फलक केन्द्रित घनीय	$8\times\frac{1}{8}=1$	$6\times\frac{1}{2}=3$	0	4
4.	अन्त्य केन्द्रित घनीय	$8\times\frac{1}{8}=1$	$2\times\frac{1}{2}=1$	0	2

अभ्यास- 1.1

प्र.1. निम्न को क्रिस्टलीय और अक्रिस्टलीय ठोसों में वर्गीकृत कीजिए। पोटैशियम नाइट्रेट, बेजोइक अम्ल, नेफ्थलीन, सीजियम ब्रोमाइड, पॉलीविनाइल क्लोराइड, काँच क्वार्टज्, प्लास्टिक, ग्रेफाइट।

प्र.2. अधिशीतित द्रव या आभासी ठोस क्या हैं?

प्र.3. एक ठोस का अपवर्तनांक सभी दिशाओं से असमान प्राप्त होता है। इस ठोस की प्रकृति क्या होगी?

प्र.4. एक ठोस की विद्युतीय प्रतिरोधकता के सभी दिशाओं से मान समान प्राप्त होते हैं। इस ठोस की प्रकृति क्या होगी?

प्र.5. क्रिस्टलीय ठोस और अक्रिस्टलीय ठोसों में दो अन्तर लिखिए।

प्र.6. क्रिस्टलीय ठोसों और अक्रिस्टलीय ठोसों की गलन ऊष्मा की प्रकृति लिखिए।

प्र.7. अध्रुवीय आणुविक ठोस नर्म होते हैं और उनके गलनांक निम्न होते हैं, क्यों?

प्र.8. अध्रुवीय ठोस जैसे $CH_{4(s)}$, $Ar_{(s)}$, $H_{2(s)}$ आदि सामान्य ताप पर किस भौतिक अवस्था में होते हैं?

प्र.9. हाइड्रोजन बन्धित ठोसों के दो उदाहरण दीजिये।

प्र.10. काँच और क्वाड्‌र्ज में क्या अन्तर है, जबकि दोनों ही चतुष्फलकीय SiO_4 से बने हैं। किन परिस्थितियों में क्वाट्‌र्ज को काँच में परिवर्तित किया जा सकता है?

प्र.11. एकक कोष्ठिका अथवा इकाई सैल किसे कहते हैं?

प्र.12. केन्द्रित एकक कोष्ठिकाएं कितने प्रकार की होती है, उनके नाम लिखिये।

प्र.13. सबसे सममित और सबसे असममित क्रिस्टल समूहों के पैरामीटर क्या है?

प्र.14. ग्रेफाइट की एकक कोष्ठिका षट्कोणीय होती है। इसके पैरामीटर क्या है?

प्र.15. सबसे अधिक ब्रेवे जालकों की संख्या किस क्रिस्टल समुदाय की होती है।

उत्तरमाला

उत्तर–1. क्रिस्टलीय ठोस–सोडियम नाइट्रेट, ऑक्सेलिजक अम्ल, केल्सियम ब्रोमाइड, क्वार्टज्, हीरा।

अक्रिस्टलीय ठोस–रबर, काँच, रेजिन, पॉली विनाइल क्लोराइड।

उत्तर–2. अक्रिस्टलीय ठोसों को अतिशीतित द्रव या आभासी ठोस (स्यूडो ठोस) कहा जाता है।

उत्तर–3. यदि अपवर्तनांक सभी दिशाओं से असमान प्राप्त होता है, तो यह ठोस विषमदैशिकता दर्शाता है। चूंकि विषमदैशिकता क्रिस्टलीय ठोस प्रदर्शित करते हैं अतः ठोस क्रिस्टलीय ठोस होगा।

उत्तर–4. ठोस समदैशिकता दर्शाता है, अतः ठोस अक्रिस्टलीय होगा।

उत्तर–5. (i) क्रिस्टलीय ठोसों के शीतलन वक्र असतत होते हं और अक्रिस्टलीय ठोसों के शीतलन वक्र सतत होते हैं।

(ii) क्रिस्टलीय ठोस विषमदैशिक और अक्रिस्टलीय ठोस समदैशिक होते हैं।

उत्तर–6. क्रिस्टलीय ठोसों की गलन ऊष्मा निश्चित और अभिलाक्षणिक होती है। अक्रिस्टलीय ठोसों की गलन ऊष्मा निश्चित नहीं होती है।

उत्तर–7. अध्रुवीय आणुविक ठोसों में अवयवी कणों के मध्य दुर्बल परिक्षेपण बल या लंडन बल होते हैं अतः ये नर्म होते हैं और इनके गलनांक भी कम होते हैं।

उत्तर–8. सामान्य ताप पर CH_4, Ar तथा H_2 गैसीय अवस्था में होते हैं।

उत्तर–9. हाइड्रोजन बन्धित ठोसों के उदाहरण $H_2O_{(s)}$ बर्फ तथा $NH_{3(s)}$ हैं।

उत्तर–10. काँच और क्वार्ट्ज में मुख्य अन्तर यह है कि काँच एक अक्रिस्टलीय ठोस है जबकि क्वार्ट्ज एक क्रिस्टलीय ठोस है। पिघले हुये क्वार्ट्ज को शीघ्रता से ठंडा करने पर वह काँच में परिवर्तित हो जाता है।

उत्तर–11. क्रिस्टल जालक का वह छोटे से छोटा भाग जो सम्पूर्ण क्रिस्टल का प्रतिबिम्ब हो और जिसके तीनों विमाओं में दोहराने से सम्पूर्ण जालक प्राप्त होता है, एकक कोष्ठिका या इकाई सैल कहलाता है।

उत्तर–12. केन्द्रित एकक कोष्ठिकायें तीन प्रकार की होती हैं।

(i) अन्तः केन्द्रित एकक कोष्ठिका (ii) फलक केन्द्रित एकक कोष्ठिका और (iii) अंत्य केन्द्रित एकक कोष्ठिका

उत्तर–13. सबसे सममित क्रिस्टल समूह घनीय है। इस एकक कोष्ठिका के पैरामीटर निम्न हैं

$a = b = c$ तथा $\alpha = \beta = \gamma = 90°$

सबसे असममित क्रिस्टल समूह त्रिनताक्ष है, जिसके पैरामीटर निम्न हैं–

$a \neq b \neq c$ तथा $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

उत्तर–14. ग्रेफाइट की एकक कोष्ठिका षट्कोणीय होती है उसके पैरामीटर निम्न हैं–

$a = b \neq c \quad \alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$

उत्तर–15. सबसे अधिक ब्रेवे जालकों की संख्या विषमलम्बाक्ष में होती हैं और इनकी संख्या 4 है।

1.6

ठोसों में अवयवी कण परस्पर एक दूसरे से निकटतम दूरी पर होते हैं, अर्थात् अधिकतम संकुलित अवस्था में रहते हैं। इस संकुलित अवस्था को 'निबिड़ संकुलन' कहते हैं। निबिड़ संकुलित अवस्था में ठोस का अधिकतम भाग अवयवी कणों द्वारा घेरा रहता है, रिक्त स्थान न्यूनतम होता है। निबिड़ संकुलन की स्थिति में अवयवी कण एक दूसरे को स्पर्श करते है। इसी अवस्था में ठोस का अधिकतम स्थायित्व होता है।

संरचनाओं को समझने के लिए अवयवी कणों को समरूप, कठोर, ठोस गोले माना गया है। हम निम्नलिखित तीन पदों में त्रिविमीय निबिड़ संकुलित संरचना बना सकते हैं।

(a) एक विमीय निबिड़ संकुलन (Close Packed in one Dimension)

एक विमा में निबिड़ संकुलन बनाने के लिये गोलों को एक पंक्ति में एक दूसरे को स्पर्श करते हुये रखा जाता है, जैसा कि चित्र 1.18 में दिखाया गया है।

चित्र 1.12 : एक विमा में गोलों का निबिड़ संकुलन

इस प्रकार की निबिड़ संकुलित संरचना में प्रत्येक गोला दो निकटवर्ती गोलों को स्पर्श करता है।

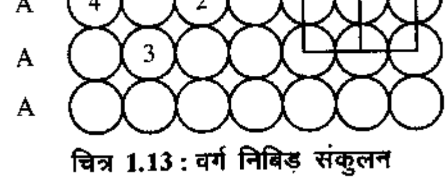
एक गोला जितने निकटवर्ती गोलों को स्पर्श करता है वह उसकी उपसहसंयोजन संख्या समन्वीय संख्या (Coordination Number) कहलाती है।

अतः एक विमीय निबिड़ संकुलन में गोलों की उपसहसंयोजन संख्या 2 है।

(b) द्विविमीय निबिड़ संकुलन (Close Packed in two Dimension)

द्विविमीय निबिड़ संकुलन बनाने के लिये उपरोक्त वर्णित एक विमीय गोलों की पंक्तियों को व्यवस्थित किया जाता है। यह व्यवस्था दो प्रकार की जा सकती है। जिससे (i) **वर्ग निबिड़ संकुलित** और (ii) **षट्कोणीय निबिड़ संकुलित** संरचनायें बनती हैं।

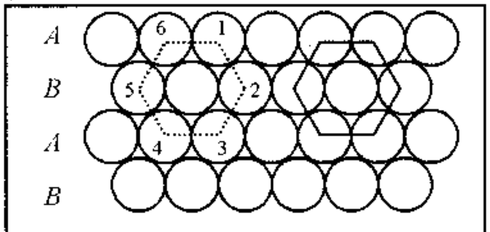
(i) वर्ग निबिड़ संकुलन (Square close packed in)–दूसरी पंक्ति को प्रथम पंक्ति के निकट इस प्रकार रखा जाता है कि दोनों पंक्तियों के गोलों के केन्द्र क्षैतिजीय और ऊर्ध्वाधर रूप से एक ही रेखा में हो। यदि प्रथम पंक्ति को A प्रकार की पंक्ति कहें तो दूसरी पंक्ति भी पहली के समान होने के कारण A पंक्ति ही होगी। इसी प्रकार अनेक पंक्तियों को व्यवस्थित करके AAAA.... प्रकार की व्यवस्था प्राप्त की जा सकती है जैसा कि चित्र 1.19 में दिखाया गया है।



चित्र 1.13 : वर्ग निबिड़ संकुलन

इस व्यवस्था में प्रत्येक गोलें को चार अन्य गोले निकटतम रूप से घेरे रहते हैं। स्पर्श करते हैं। अतः गोलों की उपसंयोजन संख्या 4 है। यदि सन्निकट चार गोलों के केन्द्रों को जोड़ा जाये तो एक वर्ग प्राप्त होता है। अतः यह वर्ग निबिड़ संकुलित संरचना कहलाती है।

(ii) द्विविमीय षट्कोणीय निबिड़ संकुलन (Hexagonal close packing in two Dimension)–द्वितीय पंक्ति को प्रथम पंक्ति के निकट इस प्रकार रखा जाता है। कि द्वितीय पंक्ति के गोले प्रथम पंक्ति के गोलों से बने अवनमन (गर्त) में आ जायें। तीसरी पंक्ति को पहली पंक्ति के समान ही इस प्रकार रखा जाता है। कि उनके गोलों के केन्द्र एक रेखा में हों। यदि पहली पंक्ति को A कहा जाता है तो दूसरी पंक्ति को B कहेंगे, और तीसरी पंक्ति पहली के समान होने के कारण A कहलायेगी इस प्रकार ABABA.... संरचना प्राप्त होती है जो कि चित्र 1.14 में दिखाई गई है।



चित्र 1.14 : षट्कोणीय निबिड़ संकुलन

इस व्यवस्था में प्रत्येक गोला छः निकटवर्ती गोलों के सम्पर्क में रहता है। यदि इन छः गोलों के केन्द्रों को सरल रेखाओं से जोड़ा जाए तो षट्कोण की आकृति प्राप्त होती है। अतः इस संरचना को **षट्कोणीय निबिड़ संकुलित संचरना** कहते हैं।

इस अवस्था में मुक्त स्थान वर्ग निबिड़ संकुलन की तुलना में कम होता है, अतः यह व्यवस्था अधिक दक्ष है।

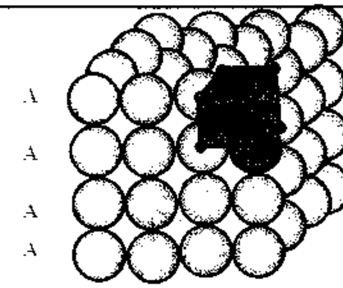
(c) त्रिविमीय निबिड़ संकुलन (Close Packing in three dimension)

निबिड़ संकुलित संरचनायें बनाने के दूसरे पद में हमने देखा है कि गोलों की दो प्रकार की द्विविमीय परते प्राप्ता होती हैं। (i) वर्ग निबिड़ संकुलित और (ii) षट्कोणीय निबिड़ संकुलितं

अब इन द्विविमीय परतों को एक के ऊपर एक रखकर त्रिविमीय संरचना प्राप्त की जा सकती है।अब हम देखेंगे कि इन द्विविमीय परतों से कितने प्रकार की त्रिविमीय संरचनायें प्राप्त की जा सकती हैं।

(I) द्विविमीय वर्ग निबिड़ संकुलित परतों से त्रिविमीय निबिड़ संकुलन (Three Dimensional close packing from two dimentional square close packing layers)

इस प्रकार के संकुलन को प्राप्त करने के लिये दूसरी परत को पहली परत पर इस प्रकार से रखा जाता है कि ऊपरी परत के गोले पहली परत के गोलों के ठीक ऊपर रहें। इस प्रकार की व्यवस्था में दोनों परतों के गोलों के केन्द्र क्षैतिज रूप से तथा ऊर्ध्वाधर रूप से एक रेखा में होते हैं। इसी प्रकार से अन्य परतों को भी रखा जा सकता है। यदि पहली परत के गोलों की व्यवस्था को A प्रकार की व्यवस्था कहा जाये तो दूसरी और तीसरी और अन्य परतों की व्यवस्था भी A प्रकार की होगी। इस प्रकार त्रिविम में AAAA.. प्रकार की संरचना बनती है जो कि चित्र 1.15 में दिखाई गई है।



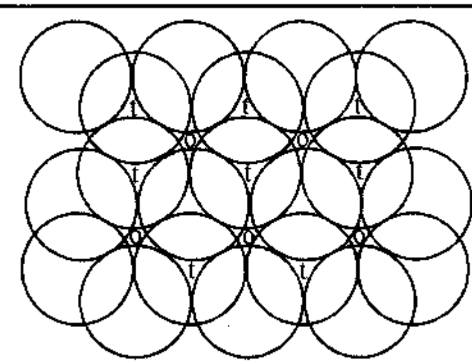
चित्र 1.15 : सामान्य घनीय जालक और उसकी एकक कोष्ठिका

इस प्रकार से बनने वाला जालक **सामान्य घनीय जालक** है और उसकी एकक कोष्ठिका **आद्य घनीय एकक कोष्ठिका** है।

(II) द्विविमीय षट्कोणीय निबिड़ संकुलित परतों से त्रिविमीय संकुलन (Three Dimensional close packing from Hexagonal close packing in two Dimension)

द्विविमीय षट्कोणीय निबिड़ संकुलित परतों से त्रिविमीय निबिड़ संकुलित संरचना बनाने के लिये, इन परतों को एक दूसरे पर निम्न प्रकार से रखा जाता है।

दूसरी परत को पहली परत पर इस प्रकार रखा जाता है कि दूसरी परत के गोले पहली परत के गोलों से बने गर्त (अवनमन) में आ जायें। इस प्रकार पहली और दूसरी परत के गोलों के केन्द्र एक रेखा में नहीं होंगे। अतः दोनों परतें भिन्न–भिन्न स्थिति को दर्शाती है। यदि पहली परत का A द्वारा प्रदर्शित करें तो दूसरी परत को B द्वारा प्रदर्शित करेंगे। जैसा कि चित्र 1.16 में दिखाया गया है।

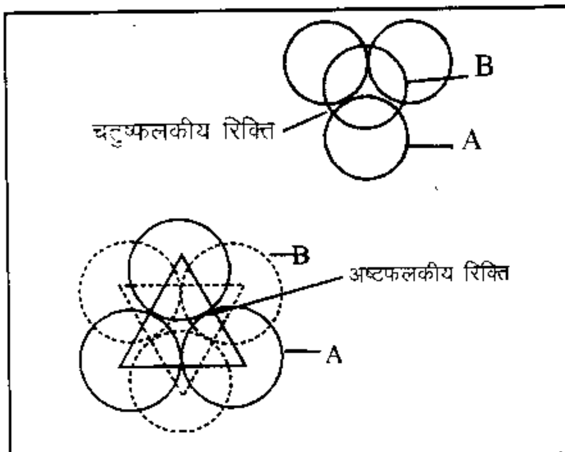


चित्र 1.16 चतुष्फलकीय व अष्टफलकीय में व्यवस्था

द्विविमीय षट्कोणीय निबिड़ संकुलन की प्रत्येक परत में कुछ रिक्तियाँ (खाली स्थान) होते हैं जिनकी आकृति त्रिकोणीय होते हैं। त्रिकोणी रिक्तियाँ दो प्रकार की होती है। एक पंक्ति में त्रिकोण का शीर्ष ऊपर की ओर होता है तो दूसरी पंक्ति में नीचे की ओर होता है।

जब भी द्वितीय परत का एक गोला प्रथम परत की रिक्ति के ऊपर होता है तब एक चतुष्फलकीय (Tetrahedral viod) बनती है। जब

इन चारों गोलों के केन्द्रों को मिलाया जाता है तो एक समचतुष्फलक बनता है। इसलिये इस रिक्ति का चतुष्फलकीय रिक्ति कहते हैं। इन्हें चित्र 1.16 में t द्वारा दर्शाया गा है। चित्र 1.22 में O द्वारा दर्शायी गई रिक्तियाँ पहली परत की त्रिकोणी रिक्तियों के ऊपर की ओर तो दूसरे का शीर्ष नीचे की ओर होता है। O रिक्तियाँ छः गोलों से बनती है। इन छः गोलों के केन्द्रों को मिलाने पर अष्टफलकीय आकृति बनती है। अतः इन रिक्तियों को अष्टफलकीय रिक्तियाँ (Octahedral voids) कहते हैं। चित्र 1.17 में चतुष्फलकीय और अष्टफलकीय रिक्तियों को अलग से दिखाया गया है।



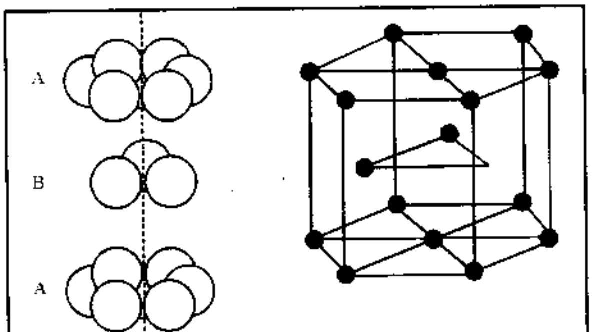
चित्र 1.17 : चतुष्फलकीय और अष्टफलकीय रिक्तियाँ

(b) **तीसरी परत को दूसरी परत पर रखना**–तीसरी परत को दूसरी परत पर दो प्रकार से रखा जा सकता है।

(i) चतुष्फल्कीय रिक्तियों को ढ़कने से।

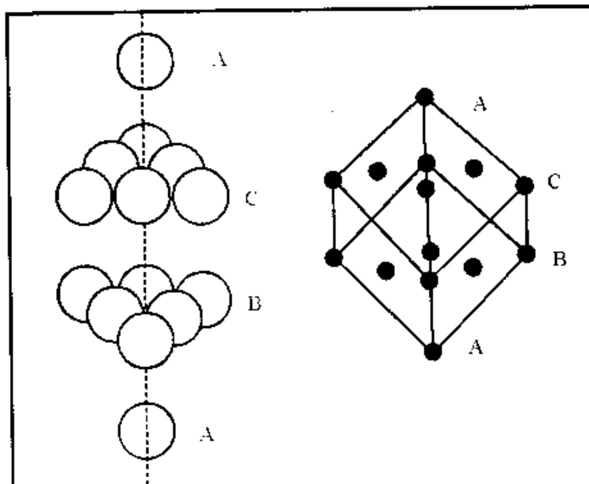
(ii) अष्टफल्कीय रिक्तियों को ढ़कने से।

(i) दूसरी परत के चतुष्फल्कीय रिक्तियों के ठीक ऊपर तीसरी परत के गोलों को रखा जाये। इस स्थिति में तीसरी परत के गोले पहली परत के गोलों के ठीक ऊपर आ जाते हैं और उन्हें ढ़क लेते हैं। अर्थात् उनके केन्द्र एक रेखा में होते हैं। इस प्रकार तीसरी परत भी पहली परत के समान (A) बन जाती है। इस प्रकार परतों का एकान्तर क्रम में पुनरावृत्त होता है। अतः ABABAB..... पैटर्न बन जाता है। इसे चित्र 1.18 में दिखाया गया है। यह संरचना **षट्कोणीय निबिड़ संकुलित संरचना** [Hexagonal close Packed (hcp)] संरचना कहलाती है। इस प्रकार की संरचना Mg, Lin आदि धातुओं में पायी जाती है।



चित्र 1.18 : षट्कोणीय निबिड़ संकुलित (hcp) संरचना

(ii) तीसरी परत को दूसरी परत पर रखने का एक अन्य तरीका इस प्रकार है। तीसरी परत को दूसरी परत पर इस प्रकार रखते हैं कि उसके गोले अष्टफलकीय रिक्तियों के ठीक ऊपर हों और उन्हें पूर्ण रूप से ढ़क लें। इस प्रकार तीसरी परत के गोले पहली अथवा दूसरी परत के गोले एक रेखा में नहीं होते। यदि इस व्यवस्था को C प्रकार की व्यवस्था कहा जाता है। चौथी परत पहली परत (A) के समान होती है। इस प्रकार ABCABC...... व्यवस्था बनती है। चित्र 1.19 में ये व्यवस्था दिखाई गई है।



चित्र 1.19 : घनीय निबिड़ संकुलित (ccp) संरचना

इस संरचना को घनीय निबिड़ संकुलित संरचना Cubic close packing structure (ccp) अथवा फलक केन्द्रित घनीय Face centred cubic (fcc) संरचना कहलाती है। Cu, Ag आदि धातु इस प्रकार की संरचना में क्रिस्टलीकृत होते हैं।

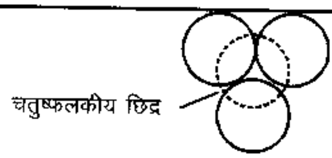
षट्कोणीय निबिड़ संकुलित (hcp) और घनीय निबिड़ संकुलित (ccp) दोनों ही संरचनाओं में संकुलन उच्च क्षमता का होता है। और क्रिस्टल का 74% स्थान सम्पूरित करता है। **दोनों में ही प्रत्येक गोला 12 अन्य गोलों के सम्पर्क में रहता हैं, अतः इनकी उपसहसंयोजन संख्या 12 है।**

1.6.1 अन्तरकाशीय छिद्र या अन्तरकाशीय रिक्तियाँ (Interstital vids or Interstetial Sites)

गोलों के निबिड़ संकुलन में कुछ रिक्त स्थान रह जाते हैं। ये रिक्त स्थान अन्तरकाशीय छिद्र या अन्तरकाशीय रिक्तियाँ कहलाते हैं। उदाहरण के लिये गोलों की hcp और ccp संरचनाओं में 26% स्थान रिक्त रह जाते हैं। इन रिक्त स्थानों को छिद्र (hole), रिक्ति (voids) कहा जाता है। ये रिक्तियाँ दो प्रकार की होती है।

1. **चतुष्फलकीय छिद्र (Tetrahedral site or voide)**–यह छिद्र चार समान गोलों से बनता है। इसमें तीन गोले परस्पर स्पर्श करते हुए एक तल में होते हैं तथा चतुर्थ गोला इनके द्वारा बने छिद्र पर ऊपर या नीचे रखा होता है। इन चारों गोलों के केन्द्र, एक समचतुष्फलक के चारों कोने बनाते हैं तथा इस चतुष्फलक के केन्द्र पर चारों गोलों के मध्य खाली स्थान रह जाता है, जिसे चतुष्फलकीय छिद्र कहते

हैं। चतुष्फलकीय छिद्र का आकार $r = 0.225\,R$ यहाँ R = गोले की त्रिज्या और r चतुष्फलकीय छिद्र की त्रिज्या है।



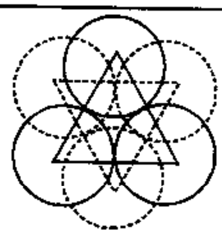
चित्र 1.20 चतुष्फलकीय छिद्र

- **चतुष्फलकीय छिद्र की आकृति चतुष्फलकीय नहीं है बल्कि जिन गोले से छिद्र बनता है, वे चतुष्फलकीय व्यवस्था में स्थित हैं।**

(2) **अष्टफलकीय छिद्र (Octahedral sites or voids)**–यह छिद्र छः गोलों के परस्पर स्पर्श करने से बनता है। इसमें से चार गोले एक समतल में एक दूसरे को स्पर्श करते हुए, इस प्रकार रखे होते हैं कि उनके केन्द्र वर्ग के चारों कोनों पर होते है। इन चारों गोलों के ऊपरी छिद्र पर एक गोला तथा निचले छिद्र पर एक गोला रखा होता है। प्रत्येक गोले के लिये एक अष्टफलकीय छिद्र होता है। अष्टफलकीय छिद्र का आकार (r)

$$r = 0.414\,R$$

यहाँ R गोले की त्रिज्या है।



चित्र 1.21 : अष्टफलकीय छिद्र

प्रत्येक गोले के लिए दो चतुष्फलकीय और एक अष्टफलकीय रिक्तिका होती है। यदि N कुल गोलों की संख्या हो, तो चतुष्फलकीय रिक्तियां = 2N, अष्टफलकीय रिक्तियां = N

उदा.1. एक घनीय ठोस दो प्रकार के परमाणुओं A और B से मिलकर बना है। A घन के कोनों पर तथा B केन्द्र पर उपस्थित हे। ठोस का सूत्र बताइये।

हल–परमाणु A घन के 8 कोनों पर उपस्थित हैं अतः A का एकक कोष्ठिका में योगदान $= 8 \times \frac{1}{8} = 1$

केन्द्र पर उपस्थित B का योगदान = 1

A और B का अनुपात = 1 : 1 अतः ठोस का सूत्र AB है।

उदा.2 तत्व B के परमाणुओं से hcp जालक बनता है। और तत्व A के परमाणु 2/3 चतुष्फलकीय रिक्तियाँ भरते हैं। A और B तत्वों से बनने वाले यौगिक का सूत्र क्या है।

हल–hcp जालक में B परमाणुओं की संख्या $= \frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3 = 6$

अतः चतुष्फलकीय रिक्तियों की संख्या = 12

चूँकि परमाणु A केवल $\frac{2}{3}$ चतुष्फलकीय रिक्तियों में उपस्थित हैं।

अतः A परमाणुओं की संख्या $= 12 \times \frac{2}{3} = 8$

अतः यौगिक में A : B = 8 : 6

या A : B = 4 : 3

यौगिक का सूत्र $= A_4B_3$

उदा.3. सोडियम का क्रिस्टलन अंतः केन्द्रित घनीय (bcc) जालक में होता है। 1 ग्राम सोडियम में एकक कोष्ठिकाओं की संख्या लगभग कितनी होगी गणना कीजिये यदि Na का परमाणु द्रव्यमान 23 u है।

हल–1 मोल Na = 23 gm. = 6.02×10^{23} परमाणु

अतः 1 ग्राम Na $= \frac{6.02 \times 10^{23}}{23}$ परमाणु

एक bcc एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या $= \frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$

अतः एकक कोष्ठिकाओं की संख्या $= \frac{6.02 \times 10^{23}}{23 \times 2}$

$= 1.31 \times 10^{22}$

1.6.2 संकुलन क्षमता (Packing Efficiency)

क्रिस्टल जालक में अवयवी कण निबिड़ संकुलित अवस्था में रहते हैं। उस अवस्था में भी बहुत से मुक्त स्थान अथवा रिक्तियां अथवा छिद्र बचे रहते हैं। अर्थात् क्रिस्टल जालक का सम्पूर्ण स्थान अवयवी कणों द्वारा नहीं घेरा जाता है। **किसी क्रिस्टल जालक में उपस्थित कण क्रिस्टल जालक के कुल आयतन का जितना भाग घेरते हैं, उसे क्रिस्टल जालक की संकुलन क्षमता (Packing efficiency)** कहलाती है।

संकुलन क्षमता =

$$\frac{\text{क्रिस्टल जालक में उपस्थित कणों (गोलों) का आयतन}}{\text{क्रिस्टल जालक का कुल आयतन}}$$

% संकुलन क्षमता =

$$\frac{\text{क्रिस्टल जालक में उपस्थित कणों (गोलों) का आयतन}}{\text{क्रिस्टल जालक का कुल आयतन}} \times 100$$

घनीय निबिड़ संकुलित संरचनाओं की संकुलन क्षमता की गणना–

1.6.3 फलक केन्द्रित घनीय एकक कोष्ठिका (fcc)

जैसा कि पहले बताया जा चुका है, इस संरचना में घन के कोनों के कण एक दूसरे को स्पर्श नहीं करते है, बल्कि फलक विकर्ण (Face diaonal) पर उपस्थित कण एक दूसरे को स्पर्श करते हैं।

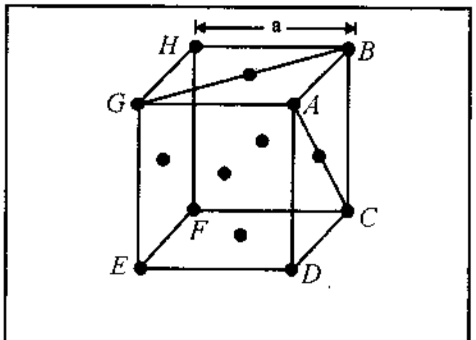
fcc एकक कोष्ठिका में कणों की संख्या $= \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$

यदि कणों को r त्रिज्या का गोला माना जाये तो

एक गोले का आयतन $= \frac{4}{3}\pi r^3$

चार गोलों का कुल आयतन $= \frac{4}{3}\pi r^3 \times 4$

घनीय संरचना का कुल आयतन $= a^3$



चित्र 1.22 : फलक केन्द्रित घनीय संरचना

a = घन का किनारा है।

चित्र के अनुसार $AC = r + 2r + r = 4r$

$AC = 4r$

तथा $AC = \sqrt{AD^2 + DC^2}$

$= \sqrt{a^2 + a^2} = \sqrt{2a^2}$

$= \sqrt{2}a$

अतः $\sqrt{2}a = 4r$

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

घनीय संरचना का कुल आयतन $= a^3$

$= \left(2\sqrt{2}r\right)^3$

$$\text{संकुलन क्षमता} = \frac{\text{गोलों का कुल आयतन}}{\text{घन का कुल आयतन}}$$

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

$$= \frac{16 \times 22}{3 \times 7 \times 16\sqrt{2}}$$

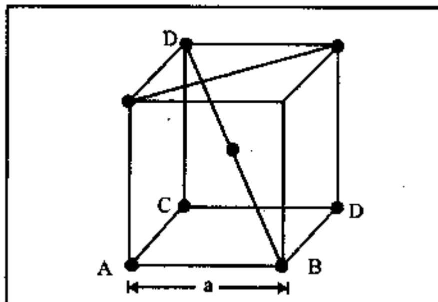
$$= \frac{22}{3 \times 7 \times 1.414} = 0.74$$

संकुलन क्षमता $= 0.74$ या 74%

अतः fcc संरचना में गोलों द्वारा घेरा गया कुल आयतन = **74%**

[illegible] (bcc) (Body Centred Cubic)

इस संरचना में घन के कोनों के कण (गोले) एक दूसरे को स्पर्श नहीं करते हैं। बल्कि काय विकर्ण (body diagonal) पर स्थित गोले एक दूसरे को स्पर्श करते हैं।



चित्र 1.23 : अन्तःकेन्द्रित घनीय संरचना

bcc इकाई सैल में गोलों की (कणों) की संख्या $= \frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$

यदि गोलों की त्रिज्या r हो तो

गोलों का कुल आयतन $= \frac{4}{3}\pi r^3 \times 2$

काय विकर्ण BD की लम्बाई $= 4r$

समकोण त्रिभुज BCD में

$BD = \sqrt{CB^2 + CD^2}$

घन की भुजा (किनारा) = a हो तो

$CB = \sqrt{2}a$ तथा $CD = a$

अतः $BD = \sqrt{2a^2 + a^2} = \sqrt{3a^2}$

या $BD = \sqrt{3}a$

चूँकि $BD = 4r$

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

या $a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$

घनीय संरचना का आयतन $= a^3$

$= \left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3$

$$\text{संकुलन क्षमता} = \frac{\text{गोलों का कुल आयतन}}{\text{घन का आयतन}}$$

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

$$= \frac{8 \times 22 \times 3\sqrt{3}}{3 \times 7 \times 64}$$

$$= \frac{22 \times 1.732}{56} = 0.68$$

संकुलन क्षमता $= .68$ या 68%

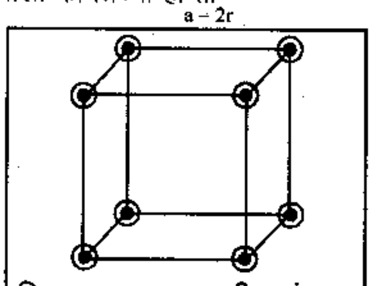
अतः bcc संरचना में गोलों द्वारा घेरा गया कुल आयतन = 68%

[illegible]

सरल घनीय एकक कोष्ठिका में घन के कोनों पर उपस्थित गोले एक दूसरे का स्पर्श करते हैं।

यदि a = घन का किनारा है

और r = गोलों की त्रिज्या हो तो



चित्र 1.24 : सरल घनीय संरचना

सरल घनीय एक कोष्ठिका में उपस्थित गोलों की संख्या

$$= \frac{1}{8} \times 8 = 1$$

घन का आयतन $= a^3$

$= (2r)^3$

संकुलन क्षमता $= \frac{\text{गोलों का कुल आयतन}}{\text{घन का कुल आयतन}}$

$$= \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{(2r)^3} = \frac{3.143}{6} = .524$$

या संकुलन क्षमता = 52.4%

अतः सरल घनीय एकक कोष्ठिका में गोलों द्वारा घेरा गया कुल आयतन = 52.4%

विभिन्न एकक कोष्ठिकाओं में परमाणु त्रिज्या (r) और निकटतम परमाणुओं के बीच की दूरी (d) में सम्बन्ध सारणी 1.4 में दिये गये हैं। a = घन का किनारा है।

सारणी 1.5 (अ)

	एकक कोष्ठिका	**निकटतम परमाणुओं के बीच की दूरी (d)**	**परमाणुओं की त्रिज्या (r)**
1.	सरल घनीय एकक कोष्ठिका	$d = a$	$r = \frac{a}{2}$
2.	फलक केन्द्रित घनीय एकक कोष्ठिका	$d = \frac{a}{\sqrt{2}}$	$r = \frac{a}{2\sqrt{2}}$
3.	अंतः केन्द्रित घनीय एकक कोष्ठिका	$d = \frac{\sqrt{3}}{2}a$	$r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$

1.7 [illegible]

एकक कोष्ठिका के घनत्व ज्ञात करने के लिए एक घनीय जालक का चयन करते हैं। माना कि घन का किनारा 'a'

माना कि एकक कोष्ठिका का किनारा (कोर) = a है।

अतः एकक कोष्ठिका का आयतन = a^3

यदि एकक कोष्ठिका में उपस्थित एक कण (परमाणु) का द्रव्यमान m है तो–

एकक कोष्ठिका का द्रव्यमान = एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या × एक परमाणु का द्रव्यमान

$= n \times m$

यहाँ n = एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या है।

एकक कोष्ठिका में उपस्थित एक परमाणु का द्रव्यमान $= \frac{M}{N_A} = m$

M = परमाणु का मोलर द्रव्यमान अर्थात् परमाणुवीय द्रव्यमान

N_A = आवोग्रादो संख्या

एकक कोष्ठिका का घनत्व (d) $= \frac{\text{एकक कोष्ठिका का द्रव्यमान}}{\text{एकक कोष्ठिका का आयतन}}$

अतः $d = \frac{n \times m}{a^3}$

या $d = \frac{nM}{a^3 N_A}$

- यहाँ यह ध्यान रखना चाहिये कि–
- एकक कोष्ठिका का घनत्व ही पदार्थ का घनत्व होता है।

उदा.4. टंगस्टन का क्रिस्टलन काय केन्द्रिय घनीय (bicc) एकक कोष्ठिका के रूप में होता है। यदि एकल कोष्ठिका का किनारा 316.5pm हो तो टंगस्टन परमाणु की त्रिज्या की गणना कीजिए। (DSB 2012)

हल– यदि bcc एकक कोष्ठिका का किनारा 'a' और परमाणु त्रिज्या r हो तो इन दोनों में निम्न सम्बन्ध है।

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

यहाँ a = 316.4 pm है।

अतः $r = \frac{\sqrt{3}}{4} \times 316.4$

$= \frac{1.732}{4} \times 316.4$

$= 137.04$ pm

उदा. 5 गोल्ड का क्रिस्टलन फलक केन्द्रित घनीय (fcc) इकाई सैल के रूप में होता है। इकाई सैल के किनारे की लम्बाई क्या होगी यदि गोल्ड की त्रिज्या 0.144 nm है।

हल– फलक केन्द्रित घनीय (fcc) इकाई सैल के किनारे और परमाणु की त्रिज्या में निम्नलिखित सम्बन्ध है।

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

या $a = 2\sqrt{2} \times r$

चूंकि r = 0.144 nm (दिया गया है।)

अतः $r = 2\sqrt{2} \times 0.144$

$= 2 \times 1.414 \times 0.144$

$= 0.407$ nm

उदा. 6. एक यौगिक दो तत्व M और N से बना है। तत्व N, ccp संरचना बनाता है और M के परमाणु चतुष्फलकीय रिक्तियों के $\frac{1}{3}$ भाग को अध्यासित करते हैं। यौगिक का सूत्र क्या है?

उत्तर–ccp संरचना की एकक कोष्ठिका में N परमाणुओं की संख्या = 4

अतः चतुष्फलकीय रिक्तियों की संख्या = 2 × 4 = 8

M परमाणुओं की संख्या = $\frac{1}{3}\times$ चतुष्फलकीय रिक्तियों की संख्या

$$=\frac{1}{3}\times 8$$

अतः यौगिक में $\quad M:N=\frac{8}{3}:4$

इस प्रकार यौगिक का सूत्र $= M_2N_3$

उदा.7. एक तत्व का मोलर द्रव्यमान 2.7×10^{-2} kg mol^{-1} है। यह 405 pm लम्बाई की भुजा वाली घनीय एकक कोष्ठिका बनाता है। यदि उसका घनत्व 2.7×10^{3} kg m^{-3} है तो घनीय एकक कोष्ठिका की प्रकृति क्या है?

उत्तर--भुजा की लम्बाई (a) = 405 pm = 405×10^{-12} m

एकक कोष्ठिका का घनत्व (d) $=2.7\times10^{3}$ kg m^{-3}

मोलर द्रव्यमान (M) $=2.7\times10^{-2}$ kg mol^{-1}

चूँकि $\quad d=\frac{nM}{a^3N_A}$, n = ?

$$2.7\times10^{3}\text{ kg m}^{-3}=\frac{n\times2.7\times10^{-2}\text{kgmol}^{-1}}{(405\times10^{-12}\text{m})^3(6.023\times23^{23}\text{mol}^{-1})}$$

$\therefore$ n =

$$\frac{2.7\times10^{3}\text{kgm}^{-3}\times(405\times10^{-12}\text{m})^3\times(6.023\times10^{23}\text{mol}^{-1})}{2.7\times10^{-2}\text{kgmol}^{-1}}$$

या $\quad n=4$

एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या = 4 है अतः यह संरचना ccp या fcc है

1.8 ठोसों में अपूर्णताएं (Imperfection (Defects) in Solid)

आदर्श क्रिस्टलीय ठोसों में अवयवी कणों की व्यवस्था पूर्णतया नियमित होती है। अर्थात् अवयवी कण क्रिस्टल जालक में निश्चित बिन्दुओं पर उपस्थित होते हैं। आदर्श क्रिस्टलीय ठोसों की शून्य परम ताप पर एन्ट्रोपी शून्य होती है। ये क्रिस्टल केवल परम शून्य ताप (0K) पर ही हो सकते हैं। परन्तु ऐसा आदर्श क्रिस्टल प्राप्त करना संभव नहीं है। साधारणतया ठोस अत्यधिक संख्या में छोटे–छोटे क्रिस्टलों का समूह होता है। इन छोटे क्रिस्टलों में दोष होते हैं। इन दोषों के कारण ही ठोसों में अपूर्णता आ जाती है। क्रिस्टलों में दोष, अवयवी कणों की अव्यवस्था अथवा अपना निश्चित स्थान छोड़ने अथवा अशुद्धि की उपस्थिति के कारण उत्पन्न होते हैं।

क्रिस्टल जालक में त्रुटियों को दो भागों में बांटा जा सकता है–

(a) इलेक्ट्रॉनिक त्रुटियां (Electronic Defects)

(b) परमाणुवीय या बिन्दु त्रुटियां (Atomic or Point Defects)

(a) इलेक्ट्रॉनिक त्रुटियां--ये अशुद्धियां इलेक्ट्रॉनों के कारण होती है, परमशून्य ताप पर क्रिस्टलों में इलेक्ट्रॉन न्यूनतम ऊर्जा स्तरों में होते हैं। ताप बढ़ने पर ये इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तरों में प्रोन्नत (Promote) हो जाते हैं। कुछ क्रिस्टलों में ये इलेक्ट्रॉन मुक्त अवस्था में भी आ जाते हैं, जिससे क्रिस्टलों में विद्युत चालकता बढ़ जाती है। वे बन्ध जिनसे इलेक्ट्रॉन मुक्त होते हैं, इलेक्ट्रॉन शून्य हो जाते हैं और वे छिद्र (Hole) कहलाते हैं। ये छिद्र ही विद्युत क्षेत्र में एक इलेक्ट्रॉड से दूसरे इलेक्ट्रॉड की ओर गतिशील होते हैं। इलेक्ट्रॉन की गति उनसे विपरीत दिशा में होती है। इलेक्ट्रॉनों के निकलने पर ये छिद्र धनात्मक होते हैं। Si, Ge में ये त्रुटियां मिलती है।

मुक्त इलेक्ट्रॉनों और छिद्रों की संख्या को बढ़ाया जा सकता है, यदि Si और Ge को अर्द्धचालक बनाया जाता है। Si और Ge समूह 14 के सदस्य हैं, उनमें समूह 13 को 15 के तत्वों जैसे B तथा P को मिलाकर अर्द्धचालक बनाये जाते हैं, जो क्रमशः p-प्रकार तथा n-प्रकार के अर्द्धचालक (semi-conductor) कहलाते हैं। इनके बारे में आगे विस्तार से बताया गया है।

(b) परमाणुवीय या बिन्दु त्रुटियां (Point Defects)

क्रिस्टल में यह दोष अवयवी कण (धनायन या ऋणायन या परमाणु) के अपने नियमित स्थान से लुप्त हो जाने या अपने निश्चित स्थान को छोड़कर क्रिस्टल जालक में अन्य स्थान पर चले जाने के कारण उत्पन्न होता है। इसे बिन्दु दोष या रेखिक त्रुटि (Line defect) कहते हैं बिन्दु दोष निम्न प्रकार के होते हैं–

I. स्टाइकियोमीट्री दोष

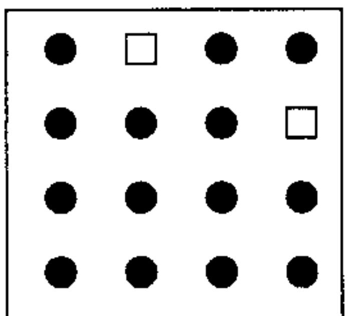
II. अशुद्धि दोष

III. नॉन स्टाइकियो मीट्री दोष

I स्टाइकियोमीट्री दोष (Stoichiometic defects)

जिन दोषों के कारण क्रिस्टल की स्टाइकियोमीट्री में कोई परिवर्तन न हो **स्टाइकियोमीट्री दोष** कहलाते हैं। आधारभूत रूप से ये दोष दो प्रकार के होते हैं। (a) **रिक्तिका दोष** (b) **अन्तराकाशी दोष**

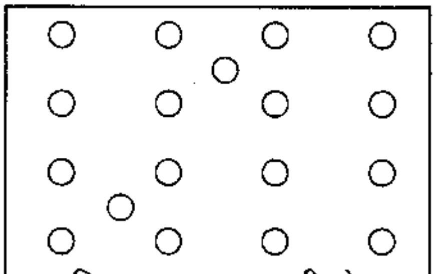
(a) रिक्तिका दोष (Vacancy Defects)–जब किसी जालक में जालक बिन्दु या जालक स्थल रिक्त हों अर्थात् अवयवी कण निर्धारित स्थान से बाहर निकल जाये तो उत्पन्न दोष रिक्तिका दोष कहलाता है। चित्र में इस प्रकार का दोष दर्शाया गया है। इस दोष से पदार्थ का घनत्व कम हो जाता है। पदार्थों को गर्म करने पर इस प्रकार के दोष उत्पन्न हो जाते हैं।



चित्र 1.25 : रिक्तिका दोष

(b) अन्तराकाशी दोष (Interstitial Defects)–क्रिस्टलीय संरचना में जब कुछ अवयवी कण (परमाणु अथवा अणु) अन्तराकाशी स्थानों में आ जाते हैं तो उत्पन्न दोष **अन्तराकाशी दोष** कहलाता है। जैसा

कि चित्र में दिखाया गया है। इस दोष के कारण पदार्थ का घनत्व बढ़ जाता है।



चित्र 1.26 : अन्तराकाशी दोष

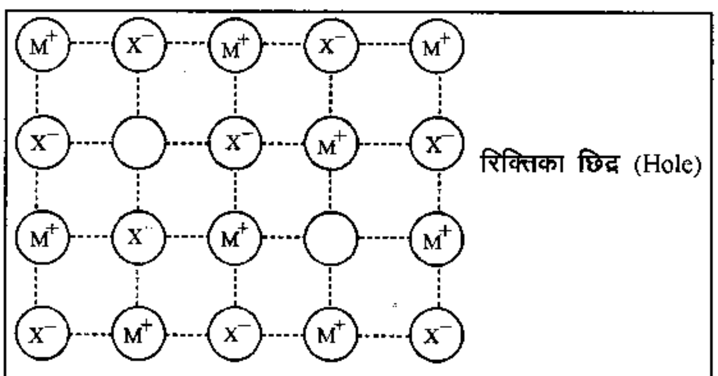
सामान्यतया रिक्तिका दोष और अन्तराकाशी दोष जैसा कि ऊपर समझाया गया है अनआयनिक ठोसों में संभव हैं।

आयनिक ठोसों में दोष– आयनिक यौगिकों में विद्युत उदासीनता पायी जाती है, अतः आयनिक यौगिकों में जालक त्रुटियों को निम्न प्रकार से विभाजित किया गया है।

(a) **स्टाइकियोमीट्री दोष**–वे यौगिक जिनमें धनायनों और ऋणायनों का अनुपात पूर्णतः उनके मूलानुपाती सूत्र के अनुसार ही होता है। स्टाइकियोमीट्री यौगिक कहते हैं।

जिन त्रुटियों के कारण ऐसे यौगिकों की स्टाइकियोमीट्री में कोई परिवर्तन नहीं होता स्टाइकियोमीट्री दोष कहलाते हैं। इन दोषों को शॉटकी दोष और फ्रेंकल दोष के रूप में वर्गीकृत करते है।

(i) **शॉट्की दोष (Schottky Defect)**–यह आधारभूत रूप से आयनिक ठोसों का **रिक्तिका दोष** है। 1930 में वैज्ञानिक शॉट्की ने बताया की क्रिस्टल निर्माण के समय, कुछ आयन अपना निश्चित स्थान छोड़कर क्रिस्टल जालक से बाहर निकल जाते हैं, जिससे जालक में रिक्तिता रह जाती हैं, जिसे छिद्र कहते हैं। इसे शॉट्की दोष कहते हैं। क्रिस्टल जालक को छोड़ने वाले धनायनों व ऋणायनों की संख्या समान रहती है, इसलिए क्रिस्टल की विद्युत उदासीनता बनी रहती है।

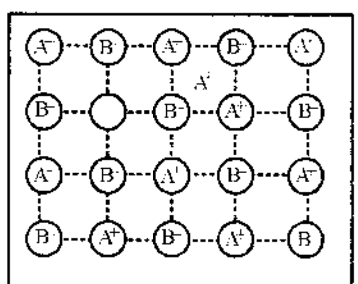


चित्र 1.27 : शॉट्की दोष

चित्र में एक आयनिक यौगिक M^+X^- दिखाया गया है। एक M^+ आयन और एक X^- आयन अपने निर्धारित स्थान से निकल गये हैं। धनायन और ऋणायन के इस युग्म को शॉट्की युगल कहते हैं। **यह दोष उन आयनिक यौगिकों के क्रिस्टलों में पाया जाता है, जिनमें आयनों की समन्वयी संख्या अधिक होती है। और आयनों क आकार लगभग समान होता है।** जैसे–NaCl, KCl, CsCl, KBr आदि। सामान्य ताप पर NaCl क्रिस्टल में लगभग 10^6 शॉट्की युगल प्रति cm^3 होते हैं। एक cm^3 में लगभग 10^{22} आयन होते हैं। इस प्रकार 10^{16} जालक स्थानों में एक शॉट्की युग्म दोष होता है। इस दोष के कारण क्रिस्टल का घनत्व कम हो जाता है तथा अधिक छिद्र होने पर क्रिस्टल का स्थाईत्व और जालक ऊर्जा घट जाती है। **इस दोष के कारण क्रिस्टल की विद्युत चालकता बढ़ जाती है क्योंकि विद्युत धारा प्रवाहित करने पर आयन अपने स्थान से छिद्र में चला जाता है तथा नया छिद्र बन जाता है जो कि आगे से आगे गति करता रहता है।** ताप में वृद्धि होने पर शॉट्की दोष में वृद्धि होती है।

(ii) **फ्रेन्कल दोष (Frenkel defects)**–1926 में वैज्ञानिक फ्रेन्कल ने बताया की आयनिक क्रिस्टल में कोई आयन अपने निश्चित स्थान छोड़कर, अन्तराकाशी स्थान में चला जाता है। जिससे उस आयन का स्थान रिक्त हो जाता है, जिसे छिद्र कहते हैं। इसे फ्रेन्कल दोष कहते हैं। आधारभूत रूप से यह दोष अन्तराकाशी दोष है। सामान्यत यह दोष धनायन के द्वारा उत्पन्न होता है क्योंकि इसका आकार ऋणायन से छोटा होता है। इस दोष में क्रिस्टल में धनायनों और ऋणायनों की संख्या और इनका आवेश बराबर रहता है, अत क्रिस्टल उदासीन होता है।

यह दोष उन आयनिक यौगिकों के क्रिस्टलों में पाया जाता है, जिनमें आयनों की समन्वयी संख्या कम होती हैं तथा ऋणायनों का आकार, धनायनों से काफी बड़ा होता है। उदा– AgCl, AgBr, ZnS आदि। इस त्रुटि के कारण छिद्र बन जाता है। अतः एक छिद्र, पूर्ण क्रिस्टल में गति कर सकता है। इस कारण क्रिस्टल विद्युत चालकता प्रदर्शित कर सकते हैं। **छिद्रों की संख्या बढ़ने पर क्रिस्टल का स्थाईत्व घटता है परन्तु घनत्व अपरिवर्तित रहता है। क्योंकि प्रति इकाई आयतन में आयनों की संख्या में कमी नहीं होती है। इस त्रुटि में समान आवेशित आयनों के परस्पर समीप आ जाने के कारण, यौगिक का पैरावैद्युतांक** (Dielectric constant) बढ़ जाता है।



चित्र 1.28 : फ्रेन्कल दोष

नोट–(i) कुछ क्रिस्टलों में शॉट्की और फ्रेन्कल दोनों दोष पाये जाते है। जैसे–AgBr में।

(ii) फ्रेन्कल दोष की अपेक्षा, शॉट्की दोष बनने के लिए, फ्रेन्कल दोष की अपेक्षा बहुत कम ऊर्जा की आवश्यकता होती है।

सारणी 1.6 फ्रेन्कल व स्कॉटकी दोष में अन्तर

क्र. सं.	फ्रेन्कल दोष	शॉट्की दोष
1.	अन्तराकाशी दोष हैं।	रिक्तिका दोष हैं।
2.	छोटे धनायन और बड़े ऋणायनों से बने यौगिकों में होते हैं।	लगभग समान आकार के धनायन और ऋणायन से बने यौगिकों में होते हैं।
3.	इस दोष में आयन, अन्तराकाश में चले जाते हैं।	इस दोष में आयन, क्रिस्टल जालक को छोड़ देते हैं।
4.	क्रिस्टल का घनत्व अपरिवर्तित रहता है।	क्रिस्टल का घनत्व घट जाता है।
5.	पैरावैद्युतांक का मान बढ़ जाता है।	पैरावैद्युतांक के मान में परिवर्तन नहीं होता है।
6.	यह दोष निम्न समन्वयी संख्या वाले क्रिस्टलों में पाया जाता है।	यह दोष उच्च समन्वयी संख्या वाले क्रिस्टलों में पाया जाता है।

III. **नॉन स्टाइकियोमीट्री दोष (Non-stoichiometic Defects)**–यौगिक, जिनमें स्थिर अनुपात के नियम की पालना नहीं होती है। अर्थात् धनायनों व ऋणायनों का अनुपात, उस यौगिक के अणुसूत्र द्वारा प्रदर्शित अनुपात के बराबर नहीं होता है, वे नॉनस्टाइकियोमितीय यौगिक कहलाते हैं। इन्हें **बर्थोलाइड यौगिक** भी कहते हैं।

सामान्यतः संक्रमण धातु के यौगिक नॉन–स्टाइकिमितीय होते हैं। क्योंकि ये परिवर्तनशील ऑक्सीकरण अवस्था प्रदर्शित करते हैं। उदाहरण NiO, FeO, Cu_2S, FeS, CuO आदि कुछ संक्रमण धातुओं के यौगिकों का रासायनिक संगटन निम्न है–

$Fe_{0.80-1.10}S$, $Fe_{0.84-0.94}O$, $TiO_{0.69-1.33}$ आदि।

संक्रमण धातुओं के H, C, N आदि के साथ बने अन्तराकाशी यौगिक भी नॉन–स्टाइकियोमितीय होते हैं। उदाहरण–$ZrH_{1.92}$, $VH_{0.56}$ आदि. इस प्रकार के यौगिकों में पाये जाने वाले दोष नॉन–स्टाइकियोमीट्री दोष कहलाते हैं। नॉन–स्टाइकियोमीट्री दोष भी दो प्रकार के होते हैं–

(A) **धनायन या धातु आधिक्य दोष (Metal excess Defects)**–यह दोष क्रिस्टल जालक में धातु आयन अर्थात् धनायन की अधिकता के कारण से होता है। यह दोष निम्न दो प्रकार से उत्पन्न हो सकता है–

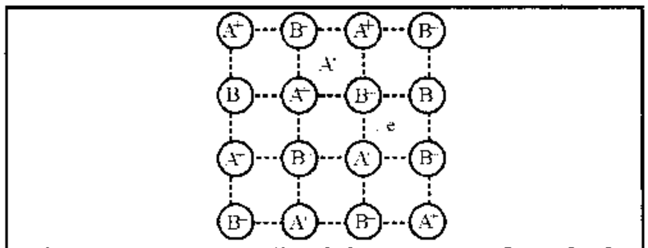
(i) **ऋणायन के स्थान पर इलेक्ट्रॉन उपस्थित होने से (ऋणानिक रिक्तिका के कारण)**–इस दोष में कुछ ऋणायन क्रिस्टल जालक को छोड़कर बाहर निकल जाते हैं तथा इनका स्थान इलेक्ट्रॉन ग्रहण कर लेते हैं। इस प्रकार क्रिस्टल जालक में धातु आयन की सान्द्रता बढ़ जाती है। परन्तु क्रिस्टल की उदासीनता बनी रहती है। उदाहरण–जब NaCl की क्रिया Na वाष्प से कराते हैं तो पीला NaCl प्राप्त होता है, जो नॉन स्टाइकियोमितीय होता है। **इसका पीला रंग क्रिस्टल जालक में Cl के स्थान पर इलेक्ट्रॉन उपस्थित होने के कारण होता है। इसी प्रकार KCl को पोटैशियम वाष्प से क्रिया करने पर, यह बैंगनी अथवा लाइलैक हो जाता है। LiCl की क्रिया, Li वाष्प से कराने पर, यह गुलाबी हो जाता है।**

यहाँ इलेक्ट्रॉन उपस्थिति वाले केन्द्र को F-केन्द्र (जर्मन शब्द Ferbe = रंग) या रंग केन्द्र कहते हैं। इनकी संख्या बढ़ने पर रंग गहरा हो जाता है। अयुग्मित इलेक्ट्रॉन के कारण, ये अनुचुम्बकीय और विद्युत चालक होते हैं। यह दोष शॉटकी दोष के समान है और शॉटकी दोष वाले क्रिस्टलों में पाया जाता है।

(ii) **अन्तराकाश में अतिरिक्त धनायन उपस्थित होने से**–इस प्रकार के दोष में कुछ अतिरिक्त धनायन, क्रिस्टल जालक के अन्तराकाश में स्थान ग्रहण कर लेते हैं और क्रिस्टल की उदासीनता बनाये रखने के लिए, इलेक्ट्रॉन भी अन्य अन्तराकाश में स्थान ग्रहण कर लेते हैं। उदाहरण ZnO को गरम करने पर, इसमें यह दोष उत्पन्न हो जाता है, जिससे इसका रंग पीला हो जाता है।

$$ZnO \xrightarrow{\Delta} Zn^{+2} + 1/2O_2 + 2e^-$$

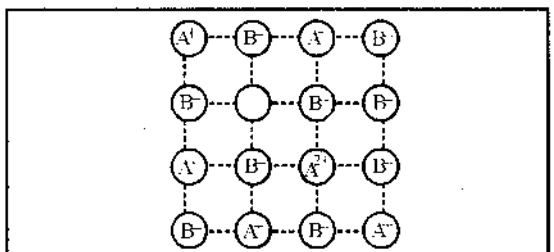
यह दोष फ्रेन्कल दोष के समान हैं। धातु आयन आधिक्य दोष वाले क्रिस्टल मुक्त इलेक्ट्रॉन के कारण, रंगीन, अनुचुम्बकीय और चालक होते हैं। ये अर्द्ध चालक (n-प्रकार के अर्द्ध चालक) की तरह कार्य करते हैं।



चित्र 1.29 : अन्तकाश में अतिरिक्त धनायन की उपस्थिति

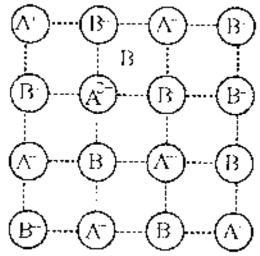
(B) **धातु या धनायन अभाव दोष (Metal dificiency Defect)**–इस दोष में क्रिस्टल में धनायन या धातु आयन की संख्या, ऋणायनों की तुलना में कम होती है। यह दोष निम्न दो प्रकार से उत्पन्न हो सकता है–

(i) **जालक में धनायन का रिक्त स्थान**–इस प्रकार के दोष में क्रिस्टल जालक में से कुछ धनायन बाहर निकल जाते हैं, जिससे उन स्थानों पर छिद्र बन जाते हैं परन्तु क्रिस्टल की उदासीनता बनाये रखने के लिए पास के अन्य धातु आयन पर अतिरिक्त धनावेश आ जाता है। यह दोष परिवर्तनशील ऑक्सीकरण अवस्था प्रदर्शित करने वाले संक्रमण धातुओं के यौगिकों जैसे–FeS, NiO, FeO आदि में पाया जाता है।



चित्र 1.30 : जालक में धनायन का रिक्त स्थान

(ii) **अन्तराकाश में अतिरिक्त ऋणायन की उपस्थिति**–इस प्रकार के दोष में क्रिस्टल जालक के अन्तराकाश में कुछ अतिरिक्त ऋणायन स्थान ग्रहण कर लेते हैं तथा क्रिस्टल की विद्युत उदासीनता बनाये रखने के लिए पास के अन्य धातु आयन उच्च ऑक्सीकरण अवस्था में बदल जाते हैं। सामान्यतः ऐसे दोष वाले क्रिस्टल नहीं पाये जाते हैं क्योंकि ऋणायन का आकार अपेक्षाकृत बड़ा होने के कारण, यह अन्तराकाश में आसानी से स्थान ग्रहण नहीं कर सकता है।

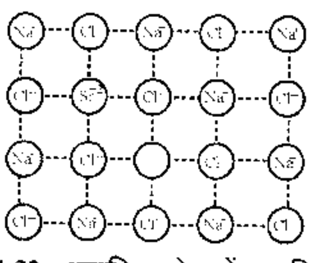


चित्र 1.31 : अन्तराकाश में अतिरिक्त ऋणायन की उपस्थिति

धातु आयन अभाव दोष वाले क्रिस्टल भी अर्द्ध चालक (P-प्रकार के अर्द्धचालक) की तरह कार्य करते हैं। इनकी चालकता उच्च ऑक्सीकरण अवस्था वाले धातु आयन के द्वारा पड़ौसी आयन से इलेक्ट्रॉन ग्रहण करने के कारण होती है यह प्रक्रिया क्रिस्टल में आगे से आगे चलती रहती है।

1.8.1. अशुद्धि दोष (Impurity Defects)

अशुद्धि दोष सामान्तया आयनिक यौगिकों में उत्पन्न किये सकते हैं। किसी आयनिक ठोस में अशुद्धि मिलाकर, कुछ आयनिक ठोसों की विद्युत चालकता बढ़ायी जा सकती है। यह प्रक्रिया **डोपिंग** (Doping) कहलाती है। यह प्रक्रिया आयनिक ठोस में किसी अन्य धातु आयन को मिश्रित करके उत्पन्न करते हैं। उदाहरण के लिए–यदि NaCl में अल्प मात्रा में $SrCl_2$ मिलाकर पिघलाते हैं और फिर क्रिस्टलन करते हैं तो NaCl क्रिस्टल में कहीं–कहीं Na^+ आयन के स्थान पर, Sr^{+2} आयन स्थान ग्रहण कर लेते हैं, क्योंकि Sr^{+2} पर +2 आवेश है, इसलिए एक Sr^{+2} आयन के लिए दो Na^+ आयन अपना स्थन छोड़ते हैं। जिसमें से एक स्थान Sr^{+2} आयन ग्रहण कर लेता हैं तथा एक स्थान रिक्त रह जाता है। इन रिक्त स्थानों के कारण ठोस की विद्युत–चालकता बढ़ जाती हैं क्योंकि पास के अन्य आयन इस रिक्त स्थान की ओर गति कर सकते हैं। अन्य उदाहरण NaCl में $CaCl_2$ की अशुद्धि AgCl में $CdCl_2$ की अशुद्धि से प्राप्त ठोस हैं।



चित्र 1.32 : आयनिक ठोस में अशुद्धि दोष

1.9 ठोसों के विद्युतीय गुण (Electrical Properties of Soids)

ठोसों की चालकता उनका अभिलाक्षणिक गुण होता है। यह गुण ठोस की आंतरिक संरचना एंव अवयवी कणों में बंधकता पर निर्भर करता है। वैद्युत चालकता के आधार पर ठोसों को तीन भागों में विभाजित किया गया है।

(1) चालक (Conductor)
(2) कुचालक या विद्युतरोधी (Non-Conductor)
(3) अर्द्धचालक (Semiconductors)

(1) चालक (Conductors)—इन ठोसों में विद्युत की चालकता बहुत अधिक होती है। चालकता की परास 10^4 से 10^7 ohm^{-1} m^{-1} के मध्य होती है। धातु चालक में चालकता की कोटि 10^7 ohm^{-1} m^{-1} होती है अर्थात् ये उत्तम चालक होते हैं।

चालक पुनः दो प्रकार के होते हैं– धात्विक चालक और विद्युत अपघटनी चालक।

धात्विक चालकों में विद्युत धारा इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह के कारण होती है, विद्युत प्रवाह से इन चालकों में कोई रासायनिक क्रिया नहीं होती है। विद्युत अपघटनी चालकों में विद्युत धारा का प्रवाह आयनों के माध्यम से होता है। आयनिक ठोस द्रव अवस्था में तथा जलीय विलयन में विद्युत अपघटनी चालकों में विद्युत धारा का प्रवाह आयनों के माध्यम से होता है। आयनिक ठोस द्रव अवस्था में तथा जलीय विलयन में विद्युत अपघटनी चालक होते हैं। विद्युत प्रवाह के दौरान इनमें रासायनिक परिवर्तन भी होते है।।

धात्विक चालकों की चालकता ताप बढ़ाने से घटती है, जबकि विद्युत अपघटनी चालकों की चालकता बढ़ती है। विद्युत अपघटनी चालकों की चालकता के विषय में विस्तृत जानकारी पुस्तक के आगे की इकाई में दी गई है।

(2) विद्युतरोधी (कुचालक) (Non-conductors)—इन ठोसों में विद्युत धारा का प्रवाह बहुत कम या नहीं होता है। इनमें चालकता की परास 10^{-20} से 10^{-10} ohm^{-1} m^{-1} होती है।

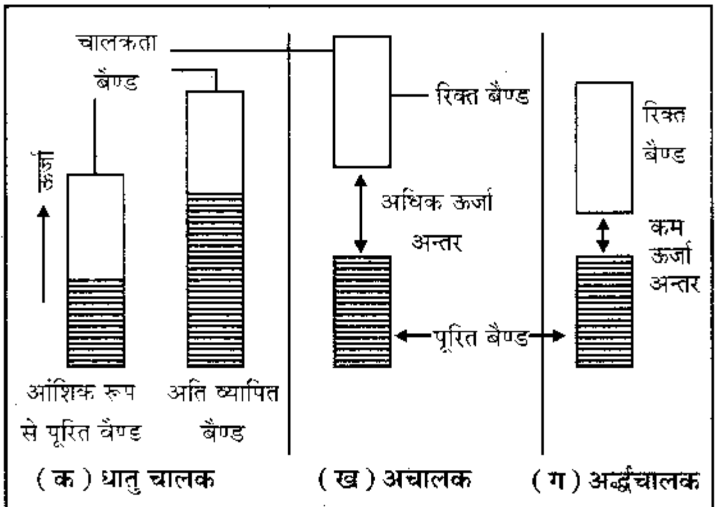
उदाहरण के लिये गंधक, फॉस्फोरस, लकड़ी, प्लास्टिक, रबड़ आदि।

(3) अर्द्ध–चालक (Semi conductors)—इन ठोसों की चालकता चालकों और कुचालकों की मध्यवर्ती होती है। इनकी चालकता की परास 10^{-6} से 10^4 ohm^{-1} m^{-1} के मध्य होती है। 0K पर इनकी चालकता शून्य होती है परन्तु ताप बढ़ाने पर बढ़ती है।

धातुओं में विद्युत चालक (क्रियाविधि)

धातुओं में विद्युत का चालन इलेक्ट्रॉनों के गमन के कारण होता है। धातु ठोस और गलित दोनों अवस्थाओं में विद्युत का चालन करता है। धातुओं में चालकता को **बैण्ड सिद्धान्त** (Band Thoery) द्वारा समझाया जा सकता है।

धातु परमाणुओं में उपस्थित संयोजकता कोष के परमाणुविक कक्षक आपस में मिलकर आण्विक कक्षक बनाते हैं, जिनकी ऊर्जा में अन्तर बहुत कम होता है अत: वे एक बैण्ड (Band) का निर्माण करते हैं जिसे **संयोजकता बैण्ड** (Valence band) कहते हैं। यदि संयोजकता बैण्ड पूरा भरा हुआ नहीं है अथवा एक उच्च ऊर्जा वाले रिक्त बैण्ड के साथ अति व्यापन करता है तो विद्युत क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन सरलता से इस बैण्ड में प्रवाहित हो सकते हैं। यह बैण्ड **चालकता बैण्ड** कहलाता है। चित्र 1.32 में धातु, चालक, अचालक और अर्द्ध–चालक के बैण्डों को दर्शाया गया है।



चित्र 1.32

अचालकों में चालकता बैण्ड और पूरित बैण्ड की ऊर्जाओं में अन्तर अधिक होने के कारण इलेक्ट्रॉन उसमें नहीं जा सकते। अत: विद्युत का चालन नहीं हो पाता।

अर्द्धचालकों में संयोजकता बैण्ड और चालकता बैण्ड के मध्य अल्प ऊर्जा अन्तर होता है। परमशून्य ताप पर चालकता बैण्ड पूर्ण रूप से रिक्त होकर सभी इलेक्ट्रॉन संयोकजकता बैण्ड में चले जाते हैं, जिससे ये पदार्थ कुचालकों के समान व्यवहार करने लगते हैं। सामान्य ताप पर संयोजकता बैण्ड से कुछ इलेक्ट्रॉन तापीय उत्तेजन के कारण चालकता बैण्ड में चले जाते हैं, परिणाम स्वरूप ये विद्युत चालकता प्रदर्शित करने लगते हैं। ताप और अधिक बढ़ाने पर इनकी चालकता में वृद्धि होती है।

धातुओं में ताप वृद्धि से चालकता में कमी आती है, इसका कारण धातुओं में ताप बढ़ने से काम्पनिक (Vibrational) गतियों का बढ़ना है।

1.10 अर्द्धचालकों में विद्युत चाकलता

आवर्त सारणी में समूह 14 के तत्व सिलिकॉन (Si) और जर्मेनियम मुख्य रूप से अर्द्धचालकों के रूप में उपयोग किये जाते हैं। इनकी क्रिस्टलीय संरचनाऐं हीरे के समान होती है। प्रत्येक परमाणु sp^3 संकरित अवस्था में चार अन्य परमाणुओं से सहसंयोजक बंधों द्वारा जुड़ा होता है। मुक्त इलेक्ट्रॉन नहीं होने के कारण इनकी चालकता बहुत कम होती है। सामान्य ताप पर इनके संयोजकता बैण्ड और चालन बैण्ड ऊर्जा अन्तर अधिक होता है।

ये दो प्रकार से अर्द्धचालकों के समान व्यवहार कर सकते हैं।
(1) शुद्ध–अर्द्धचालक अथवा नैज अर्द्धचालक (Intrinsic Semi-conductor)
(2) अशुद्ध अथवा अपद्रवी अर्द्धचालक (Extrinsic Semi Conductros)

1.10.1 नैज अथवा शुद्ध अर्द्धचालक

जैसा कि ऊपर बताया जा चुका है, Si और Ge विद्युत के दुर्बल चालक होते हैं, परंतु यदि इन्हें पर्याप्त ऊर्जा दी जाए तो तापीय कम्पन्नों से कुछ सहसंयोजक बंध टूटकर इलेक्ट्रॉन मुक्त करते हैं। विद्युत क्षेत्र में ये इलेक्ट्रॉन पीछे छिद्र (Hole) छोड़ कर पलायन कर एक दिशा में गति करने गलते हैं और इनके विपरीत दिशा में ये धनात्मक दिछ गति करने गलते हैं। नेज अर्द्धचालकों में इलेक्ट्रॉनों और धनावेशित छिद्रों की संख्या समान होती है।

इस प्रकार के अर्द्धचालक अधिक उपयोगी नहीं होते हैं।

1.10.2 अशुद्ध अथवा अपद्रवी अर्द्धचालक

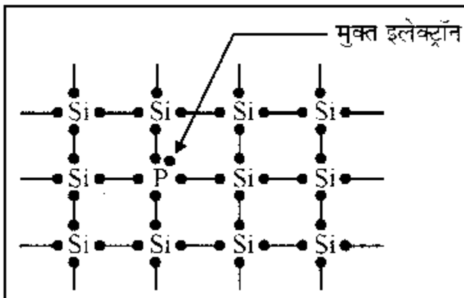
नैज अथवा शुद्ध अर्द्ध–चालकों की चालकता का व्यवहारिक उपयोग बहुत कम है। इनमें उचित मात्रा में अशुद्धि मिलाने पर इनकी चालकता बढ़ जाती है। इस विधि से चालकता बढ़ाने को **अपमिश्रण** (Doping) कहते हैं और प्राप्त अर्द्ध-चालक **बाह्य या अपद्रव्यी अर्द्ध-चालक** कहलाते हैं।

अशुद्धि मिलाने पर इनमें मुक्त इलेक्ट्रॉन (free electron) या छिद्र (holes) उपलब्ध हो जाते हैं जिनके माध्यम से विद्युत धारा का चालन होता है। ये निम्न दो प्रकार के होते हैं—

(1) इलेक्ट्रॉन घनी अशुद्धियाँ तथा
(2) इलेक्ट्रॉन न्यून अशुद्धियाँ।

(1) इलेक्ट्रॉन घनी अशुद्धियाँ—

n–प्रकार के अर्द्ध-चालक—यदि कुचालक पदार्थ के परमाणु से अशुद्धि वाले पदार्थ के परमाणु की संयोजकता अधिक होती है तो ये n-प्रकार के अर्द्ध-चालक कहलाते हैं। उदाहरण—Si (चतु संयोजक) में फॉस्फोरस (पंच संयोजक) की अशुद्धि मिलाने पर, P का एक इलेक्ट्रॉन मुक्त रह जाता है, जो कि विद्युत चालकता प्रदर्शित करता है। इस प्रकार मुक्त इलेक्ट्रॉन एक ऋणावेशित (negative charge) कण है, जिसके कारण चालकता उत्पन्न होती है। अत: ये n-प्रकार के अर्द्ध-चालक कहलाते हैं।

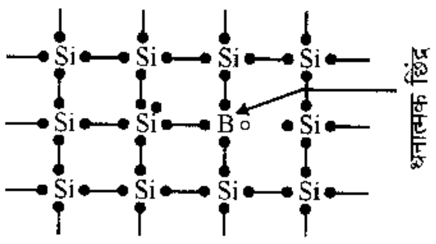


चित्र 1.33 n-प्रकार के अर्द्ध-चालक

(2) इलेक्ट्रॉन न्यून अशुद्धियाँ—

p-प्रकार के अर्द्ध-चालक—Si अथवा Ge को वर्ग 13 के तत्वों जैसे B, Al अथवा Ga के साथ अपमिश्रित करने पर p-प्रकार के अर्द्ध-चालक प्राप्त होते हैं। उदाहरण के लिये Si (चार संयोजी) में यदि B (त्रि-संयोजी) का अपमिश्रण किया जाये तो यह निकट के Si परमाणुओं से केवल 3 बन्ध बना पाता है, क्योंकि B के पास तीन संयोजकता इलेक्ट्रॉन होते हैं। इससे इलेक्ट्रॉन न्यून छिद्र बन जाते हैं (चित्र 1.34)। निकटवर्ती परमाणु से इलेक्ट्रॉन आकर इलेक्ट्रॉन छिद्र भर सकता है परन्तु ऐसा करने पर

अपने मूल स्थान पर इलेक्ट्रॉन न्यून छिद्र छोड़ देता है। अतः ऐसा लगता है कि यह छिद्र जिस इलेक्ट्रॉन द्वारा भरा गया है, उसकी विपरीत दिशा में चल रहा है।



चित्र 1.34 : p-प्रकार के अर्द्ध-चालक

विद्युत क्षेत्र के प्रभाव में इलेक्ट्रॉन तो धन आवेशित इलेक्ट्रोड की ओर चलेंगे जबकि छिद्र ऋण आवेशित इलेक्ट्रोड की ओर चलता प्रतीत होगा। इलेक्ट्रॉन न्यून होने के कारण यह छिद्र धनावेशित (Positive) होगा। इस प्रकार के अर्द्ध-चालकों को **p-प्रकार के अर्द्ध-चालक** कहते हैं।

n-प्रकार और p-प्रकार के अर्द्ध-चालकों के अनुप्रयोग—

(1) n-प्रकार के अर्द्ध-चालकों और p-प्रकार के अर्द्ध-चालकों को संयुक्त करके n-p संगम (n-p junctions) बनाये जाते हैं, जिनका एकान्तर धारा (A.C. current) को दिष्ट धारा (D.C. current) में परिवर्तन के लिये किया जाता है। डायोड n-प्रकार और p-प्रकार के अर्द्ध-चालकों का एक संयोजन है।

(2) ट्रांजिस्टर बनाने में इन अर्द्ध-चालकों का उपयोग किया जाता है। ट्रांजिस्टर बनाने के लिये एक प्रकार के अर्द्ध-चालक को दूसरे प्रकार के अर्द्ध-चालक की दो परतों के मध्य सेण्डविच (दबाया जाता है) किया जाता है। इस प्रकार npn और pnp प्रकार के ट्रांजिस्टर बनते हैं। इनका उपयोग रेडियो अथवा श्रव्य संकेतों की पहचान और संवर्धन में किया जाता है।

(3) प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलने के लिये सौर सैल का उपयोग किया जाता है जो कि एक फोटो डायोड है।

(4) Si और Ge की संयोजकता 4 है। परन्तु वर्ग 13 एवं 15 अथवा वर्ग 12 एवं 16 के तत्त्वों के सम्मिश्रण से ऐसे ठोस बनाये गये हैं जिनकी औसत संयोजकता 4 है। इनका उपयोग अर्द्ध-चालक युक्तियों के निर्माण में अधिकता से किया जाता है।

उदाहरण के लिये InSb. AlP, GaAs आदि वर्ग 13 एवं 15 के तत्त्वों से बने ठोस अर्द्ध-चालक हैं। ZnS, CdS, CdSe, HgTe आदि वर्ग 12–16 के तत्त्वों से बने ठोस अर्द्ध-चालक हैं। उपरोक्त यौगिकों में कुछ आयनिक गुण होते हैं जिनके कारण ये अर्द्ध-चालकों के समान व्यवहार करते हैं।

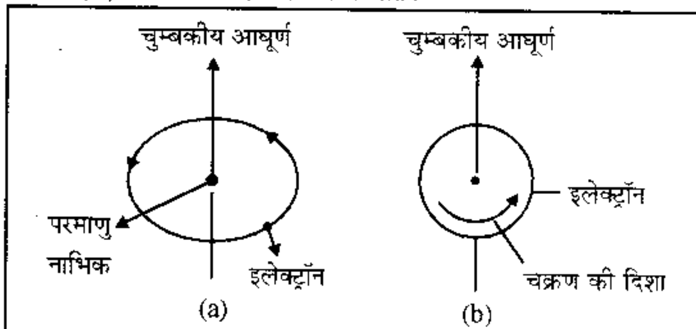
1.11 ठोसों के चुम्बकीय गुण (Magnetic Properties of Solids)

कुछ संक्रमण तत्त्वों के ऑक्साइड जैसे TiO, CrO_2, ReO_3 आदि चालकता की दृष्टि से धातु के समान व्यवहार करते हैं ReO_3 तो Cu धातु के समान प्रतीत होता है।

ठोसों में चुम्बकीय गुणों की उत्पत्ति इलेक्ट्रॉनों के कारण होती है। प्रत्येक इलेक्ट्रॉन एक सूक्ष्म चुम्बक के समान व्यवहार करता है। जैसा कि हम जानते हैं, इलेक्ट्रॉन दो प्रकार की गति करता है।

(1) नाभिक के चारों ओर की कक्षीय गति एवं

(2) स्वयं के अक्ष पर चक्रण गति।



चित्र 1.35 : (a) इलेक्ट्रॉन की कक्षीय गति तथा (b) इलेक्ट्रॉन की चक्रण गति

उपर्युक्त दोनों गतियों के कारण ही इलेक्ट्रॉन क्रमशः कक्षीय चुम्बकीय आघूर्ण और चक्रण चुम्बकीय आघूर्ण से संयुक्त रहता है। इस चुम्बकीय आघूर्ण को बोर मेग्नेटॉन (μ_B) इकाई में मापा जाता है। इस चुम्बकीय आघूर्ण का परिमाण बहुत कम होता है।

$$1\ \mu_B = 9.27 \times 10^{-24}\ Am^2$$

चुम्बकीय गुणों के आधार पर ठोसों को पाँच भागों में बाँटा गया है—

(1) अनुचुम्बकीय ठोस,

(2) प्रतिचुम्बकीय ठोस,

(3) लौह चुम्बकीय ठोस,

(4) प्रति लौह चुम्बकीय ठोस तथा

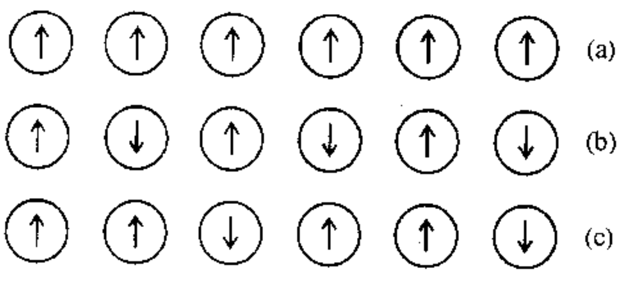
(5) फैरी चुम्बकीय ठोस।

(1) अनुचुम्बकीय ठोस (Paramagnetic solids)—ऐसे ठोस, जो चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर, दुर्बल रूप से आकर्षित होते हैं, वे अनुचुम्बकीय ठोस कहलाते हैं। यह गुण **अनुचुम्बकत्व** (Paramagnctism) कहलाता है। इनमें अयुग्मित इलेक्ट्रॉन उपस्थित होते हैं। अतः ये चुम्बकीय क्षेत्र की ओर आकर्षित होते हैं। ये चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बक की तरह व्यवहार प्रदर्शित करते हैं। ये ठोस चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में चुम्बकीय गुण खो देते हैं। अतः इनमें चुम्बकीय गुण अस्थायी होता है। उदाहरण के लिये—Co. Ni. Fe, Cu, Cu^{+2}. Fe^{+3}. TiO, CuO, VO_2. O_2 आदि।

(2) प्रतिचुम्बकीय ठोस (Diamagnetic solids)—ऐसे ठोस, जो चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर, दुर्बल रूप से प्रतिकर्षित होते हैं, वे प्रतिचुम्बकीय ठोस कहलाते हैं। इनमें सभी इलेक्ट्रॉन युग्मित अवस्था में होते हैं। अतः एक इलेक्ट्रॉन द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण का प्रभाव, विपरीत चक्रण वाले दूसरे इलेक्ट्रॉन द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण से निरस्त हो जाता है। यह गुण **प्रतिचुम्बकत्व** (Diamagenetism) कहलाता है। उदाहरण के लिये—

संयोजकता कक्ष में दो इलेक्ट्रॉन युक्त आयन, जैसे—H^-, Li^+, Be^{+2} आदि, संयोगकता कक्षा में आठ इलेक्ट्रॉन युक्त आयन, जैसे—Na^+, K^+, Mg^{+2}, Al^{+3}, F^-, O^{-2} आदि और संयोजकता कक्षा में 18 इलेक्ट्रॉन युक्त आयन, जैसे—Zn^+, Ag^+, Cd^{+2} आदि से बने यौगिक प्रतिचुम्बकीय होते हैं। उदाहरण—NaCl, TiO_2, V_2O_5, AnO, MgF_2 आदि।

(3) लौह चुम्बकीय ठोस (Ferromagnetic solids)—ऐसे ठोस, जो चुम्बकीय क्षेत्र में प्रबल रूप से आकर्षित होते हैं, लौह चुम्बकीय ठोस कहलाते हैं और उनका यह गुण **लौह चुम्बकत्व** (Ferromagnetism) कहलाता है। चुम्बकीय क्षेत्र में ये स्थायी चुम्बकीय गुण ग्रहण कर लेते हैं। अत: इनसे स्थायी चुम्बक बनाये जा सकते हैं। ठोस अवस्था में लौह चुम्बकीय पदार्थ के धातु आयन छोटे खण्डों में एक साथ समूहित हो जाते हैं, जिन्हें **डोमेन** (Domane) कहते हैं। प्रत्येक डोमेन एक छोटे चुम्बक के समान व्यवहार करता है। चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में ये डोमेन ठोस में अनियमित रूप से अभिविन्यासित रहते हैं और उनका चुम्बकीय आघूर्ण निरस्त हो जाता है। परन्तु चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में सभी डोमेन चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में अभिविन्यासित हो जाते हैं और प्रबल चुम्बकीय प्रभाव उत्पन्न करते हैं। चुम्बकीय क्षेत्र हटा लेने पर भी इनका चुम्बकीय प्रभाव बना रहता है, अत: स्थायी चुम्बकत्व प्रभाव दर्शाते हैं। चित्र 1.36 (a) में इस संरेखण को दिखाया गया है।



चित्र 1.36 : (a) लौह चुम्बकीय, (b) प्रति लौह चुम्बकीय, (c) फैरी चुम्बकीय

उदाहरण के लिये Fe, Co, Ni, CrO_2 आदि स्थायी चुम्बकत्व प्राप्त करने के कारण इनका औद्योगिक क्षेत्रों में उपयोग किया जाता है। CrO_2 का उपयोग कैसेट की टेप (Tape) बनाने में किया जाता है।

(4) प्रति लौह चुम्बकीय ठोस (Anti Ferromagnetic solids)—इन ठोसों की संरचना लौह चुम्बकीय ठोसों के समान ही होती है। अयुग्मित इलेक्ट्रॉन होते हैं। परन्तु उनके डोमेन एक-दूसरे के विपरीत अभिविन्यासित होते हैं और एक-दूसरे के चुम्बकीय अघूर्ण को निरस्त कर देते हैं (चित्र 1.51(b))? इन ठोसों का यह गुण **प्रति लौह चुम्बकत्व** (Anti ferromagnetism) कहलाता है। इसके उदाहरण हैं—MnO_2, Mn_2O_3, Cr_2O_3, V_2O_3, FeO, NiO आदि।

(5) फैरी चुम्बकीय ठोस (Ferrimagnetic solids)—इन ठोसों की संरचना लौह चुम्बकीय पदार्थों के समान ही होती है। परन्तु डोमेनों का चुम्बकीय आघूर्ण एक-दूसरे के विपरीत परन्तु असमान होता है (चित्र 1.51(c))। इसलिये ये लौह चुम्बकीय पदार्थों की तुलना में चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा दुर्बल रूप से आकर्षित होते हैं। ठोसों के इस गुण को **लघु लौह चुम्बकत्व** भी कहा जाता है। Fe_3O_4 (मेग्नेटाइट) और फैराइट, जैसे—$MgFe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$ आदि इन ठोसों के उदाहरण हैं।

फैराइट का सामान्य सूत्र—$M^{2+}Fe_2O_4^{2-}$ होता है। यहाँ M^{2+} = Mg^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} आदि है।

ठोसों के चुम्बकीय गुण पर ताप का प्रभाव विशेष—ठोसों के चुम्बकीय गुणों पर ताप का प्रभाव पड़ता है। उच्च ताप पर लौहचुम्बकीय, फैरी चुम्बकीय और प्रतिलौह चुम्बकीय ठोस, अनुचुम्बकीय ठोस में बदल जाते हैं, क्योंकि ताप बढ़ाने पर इनमें उपस्थिति इलेक्ट्रॉन का चक्रण अव्यवस्थित हो जाता है जिससे ये अचुम्बकीय हो जाते हैं, जैसे—(i) Fe_3O_4 फैरी चुम्बकीय है। इसे 850 K तक गरम करने पर, यह अनुचुम्बकीय हो जाता है।

अभ्यास- 1.2

प्र.1. सरल घनीय एकक कोष्ठिका में गोलों की उपसहसंयोजन संख्या और उनकी संकुलन क्षमता कितनी होती है?

प्र.2. वर्ग निबिड़ संकुचन से बनने वाले त्रिविमीय जालक का नाम, उपसहसंयोजन संख्या और संकुलन क्षमता बताइये।

प्र.3. षट्कोणीय निबिड़ संकुचन से बनने वाले त्रिविमीय जालकों के नाम, कणों की उपसंयोजन संख्या और संकुलन क्षमता बताइये।

प्र.4. अंतः केन्द्रित घनीय (bcc) संरचना वाली धातुओं का घनत्व कम होता है। जबकि hcp और fcc संरचना वाली धातुओं का घनत्व अधिक होता है। समझाइये।

प्र.5. hcp तथा fcc संरचना वाली धातुओं का गलनांक bcc संरचना वाली धातुओं की अपेक्षा अधिक होता है, क्यों?

प्र.6. एक क्रिस्टलीय जालक में चतुष्फलकीय रिक्तियों और अष्टफलकीय रिक्तियों की संख्या कितनी होती है।

प्र.7. ताप बढ़ाने पर धातु की संरचना में परिवर्तन सम्भव है, एक उदाहरण दीजिये।

प्र.8. द्विविमीय वर्ग निबिड़ संकुलन को AAAA.......... प्रकार की व्यवस्था कहा जाता है, क्यों?

प्र.9. द्विविमीय षट्कोणीय निबिड़ संकुलन को ABAB..... प्रकार की व्यवस्था कहा जाता है, क्यों?

प्र.10. द्विविमीय वर्ग निबिड़ संकुलन और द्विविमीय षट्कोणीय निबिड़ संकुलन में गोलों का उपसहसंयोजन संख्या कितनी है?

प्र.11. चतुष्फलकीय छिद्र एवं अष्टफलकीय छिद्र (रिक्ति) की त्रिज्या का गोलों की त्रिज्या से सम्बन्ध बताइये?

प्र.12. स्वर्ण धातु फलक केन्द्रित घनीय के रूप में क्रिस्टलीकृत होती है। इसके इकाई सैल के किनारे की लम्बाई क्या होगी यदि स्वर्ण की परमाणु त्रिज्या 0.14 nm हो?

प्र.13. स्टाइकियोमीट्री दोष कितने प्रकार के होते हैं? शॉट्की दोष और फ्रेंन्कल दोष को इन प्रकारों में विभाजित कीजिए।

प्र.14. नॉन स्टाइकियोमिट्री यौगिक में विद्युत उदासीनता किस बनाये रखी जाती

है?

प्र.15. धात्विक यौगिकों में धातु या धनायन अभाव दोष (Metal deficiency defects) कैसे उत्पनन हो जाते हैं। समझाइए।

प्र.16. निम्नलिखित को चालक और कुचालक में वर्गीकृत कीजिए।
सल्फर, ग्रेफाइट, फॉस्फोरस, सोडियम क्लोराइड, सीसा, यूरिया।

प्र.17. ठोसों में चुम्बकीय गुण क्यों उत्पन्न होते हैं?

प्र.18. ठोसों के चुम्बकीय गुणों पर ताप का क्या प्रभाव होता है? उदाहरण दीजिए।

उत्तरमाला

1. सरल घनीय एकक कोष्ठिका में गोलों की उपसहसंयोजन संख्या 6 और संकुलन क्षमता 52.4% होती है।

2. वर्ग निबिड़ संकुलन से बनने वाले त्रिविमीय जालक को आद्य घनीय जालक या सरल घनीय जालक कहते हैं। इसमें कणों की उपसंयोजन संख्या 6 और संकुलन क्षमता 52.4% होती है।

3. षट्कोणीय निबिड़ संकुलन से बनने वाले त्रिविमीय जालकों के नाम षट्कोणीय निबिड़ संकुलन (hcp) ABABAB..... प्रकार तथा घनीय निबिड़ संकुलन (ccp) ABCABCABC ...... प्रकार हैं।
इन दोनों में ही उपसहसंयोजन संख्या 12 तथा संकुलन क्षमता 74% होती है।

4. bcc संरचना में संकुलन क्षमता 68% होती है अर्थात् 32% स्थान खाली होता है अतः घनत्व कम होगा। hcp तथा ccp जालकों में संकुलन क्षमता 74% होती है अर्थात् केवल 26% स्थान खाली होता है। इसलिये bcc संरचना घनत्व कम और hcp एवं ccp संरचना के घनत्व अधिक होता है।

5. hcp तथा ccp संरचना वाली धातुओं की संकुलन क्षमता 74% होती है अर्थात् अवयवी कणों के मध्य दूरी कम होती है। अतः अन्तराणुविक आकर्षण बल प्रबल होते हैं और एक संघन संरचना बनती है। अतः गलनांक अधिक होता है। bcc संरचना में संकुलन क्षमता 68% है, अवयवी कणों के मध्य अन्तराणुविक आकर्षण बल hcp और ccp संरचना की तुलना में दुर्बल होते हैं। अतः गलनांक कम होता है।

6. चतुष्फलकीय रिक्तियों की संख्या अवयवी कणों की संख्या से दो गुनी होती है। जबकि अष्टफलकीय रिक्तियों की संख्या अवयवी कणों की संख्या के समान ही होती है।

7. सामान्य ताप (25°C) पर Sr की ccp संरचना होती है। 350°C पर यह संरचना hcp हो जाती है और 600°C पर यह संरचना bcc में परिवर्तित हो जाती है।

8. द्विविमीय वर्ग निबिड़ संकुलन में अवयवी कणों की पंक्तियाँ एक समान ही होती है। यदि एक पंक्ति को A से प्रदर्शित किया जाये तो सभी पंक्तियाँ A के समान ही होंगी। अतः इन्हें AAAA.... प्रकार की व्यवस्था कहते हैं।

9. द्विविमीय षट्कोणीय निबिड़ संकुलन में द्वितीय पंक्ति के गोले प्रथम पंक्ति के गोलों से बने अवनमन में आते हैं। तीसरी पंक्ति को पहली पंक्ति के समान ही रखा जाता है। यदि पहली पंक्ति को A कहें तो दूसरी पंक्ति को B कहेंगे। तीसरी पंक्ति पहली के समान होने के कारण वह भी A कहलायेगी। अतः इस संरचना को ABABAB ...... प्रकार की संरचना कहते हैं।

10. द्विविमीय वर्ग निबिड़ संकुलन में गोलों की उपसहसंयोजन संख्या 4 और द्विविमीय षट्कोणीय निबिड़ संकुलन में गोलों की उपसहसंयोजन संख्या 6 होती है।

11. यदि छिद्रों (रिक्तियों) की त्रिज्या r और गोलों की त्रिज्या R हो तो–
चतुष्फलकीय रिक्ति में $r = 0.225 R$
अष्टफलकीय रिक्ति में $r = 0.414 R$

12. फलक केन्द्रित घनीय इकाई सैल के किनारे की लम्बाई a हो और परमाणु त्रिज्या r हो तो

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

या

$$a = 2\sqrt{2}r$$
$$= 2 \times 1.414 \times 0.14$$
$$= 0.396 \text{ nm}$$

13. स्टाइकियोमीट्री दोष दो प्रकार के होते हैं–
(a) रिक्तिका दोष (vacancy defect)
(b) अन्तराकाशी दोष (Interstitial defects)
शॉट्की दोष रिक्तिका दोष हैं, जबकि फ्रेन्कल दोष अन्तराकाशी दोष हैं।

14. नॉन स्टाइकियोमिट्री यौगिकों में विद्युत उदासीनता, यौगिक में उपस्थित अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन या अतिरिक्त धनआवेश (धनायन) के कारण ही होती है। ये इलेक्ट्रॉन अथवा धन आवेश, जालक बिन्दुओं पर अथवा अन्तराकाशीय स्थलों पर हो सकते हैं।

15. धात्विक यौगिकों में धनायन अभाव दोष निम्न कारणों से उत्पन्न हो सकते हैं।

(i) क्रिस्टल जालक में धनायन का रिक्त स्थान–इस प्रकार के दोष में कुछ धनायन क्रिस्टल जालक से बाहर निकल जाते हैं। क्रिस्टल की विद्युत उदासीनता बनाये रखने के लिए निकट के धातु आयन पर अतिरिक्त धनआवेश आ जाता है। यह दोष संक्रमण धातु यौगिकों जिनकी परिवर्तनशील ऑक्सीकरण अवस्था हो, में पाया जाता है। FeS, Cu_2S, NiO आदि यौगिकों में इस प्रकार का दोष पाया जाता है।

(ii) अन्तराकाश में अतिरिक्त ऋणायन की उपस्थिति–इस प्रकार के दोष में कुछ अतिरिक्त ऋणायन क्रिस्टल जालक के अन्तराकाश में स्थान ग्रहण कर लेते हैं। विद्युत उदासीनता बनाये रखने के लिए अन्य धातु आयन उच्च ऑक्सीकरण अवस्था ग्रहण कर लेते हैं। ऋणायन का अपेक्षाकृत बड़ा आकार होने के कारण यह अन्तराकाश में सरलता से स्थान ग्रहण नहीं कर पाता, इसलिए ये दोष बहुत कम पाया जाता है।

16. **चालक**-ग्रेफाइट, सोडियम क्लोराइड, सीसा
कुचालक-सल्फर, फॉस्फोरस, यूरिया।

17. ठोसों में चुम्बकीय गुण इलेक्ट्रॉनों की गतिशीलता के कारण उत्पन्न होते हैं। इलेक्ट्रॉन दो प्रकार की गति करते हैं।
(i) नाभिक के चारों ओर कक्षीय गति। इस गति के कारण कक्षीय चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न होता है।
(ii) अपनी अक्ष के चारों ओर चक्रण गति। इस गति के कारण चक्रण चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न होता है।
इस प्रकार इलेक्ट्रॉन एक छोटे चुम्बक के समान व्यवहार करता है।

18. ठोसों को गर्म करने पर उनमें उपस्थित इलेक्ट्रॉनों का चक्रण अव्यवस्थित

हो जाता है, परिणामस्वरूप लौह चुम्बकीय, प्रतिलौह चुम्बकीय और फेरी चुम्बकीय ठोस अनुचुम्बकीय ठोस में परिवर्तित हो जाते हैं।
उदाहरण के लिए-आयरन का चुम्बकीय ऑक्साइड (Fe_3O_4) फेरी चुम्बकीय है। परन्तु 850K ताप पर ये अनुचुम्बकीय हो जाता है।
इसी प्रकार V_2O_3, NiO जो कि प्रतिलौह चुम्बकीय है तथा CrO_2 जो कि लौह चुम्बकीय है को 395K पर गर्म करने पर अनुचुम्बकीय हो जाते हैं।

1.12 पाठ्यपुस्तक के प्रश्न एवं उत्तर

1. एक काय केन्द्रित घन संकुलन (bcc) व्यवस्था में परमाणुओं की संख्या होती है-
(a) 1 (b) 2
(c) 4 (d) 6 (b)

2. **एक यौगिक A व B के क्रिस्टलीकरण से घनीय संरचना बनाता है जिसमें A परमाणु घन के कार्नर पर स्थित है तथा B परमाणु प्रत्येक फलक के केन्द्रो पर स्थित है। यौगिक का सूत्र है।**
(a) AB_3 (b) A_3B
(c) AB (d) A_2B_3 (b)

3. निम्न में से कौनसा उदाहरण समूह 13–15 का नही हैं?
(a) InSb (b) GaAs
(c) CdSe (d) AlP (c)

4. एक षटकोणीय निबिड़ संकुलन (hcp) की इकाई कोष्ठिका में कुल परमाणुओं की संख्या होगी–
(a) 4 (b) 6
(c) 8 (d) 12 (b)

5. निम्न संरचनाओं में किस ऋणायन की सर्वाधिक समन्वय संख्या है?
(a) NaCl (b) ZnS
(c) CaF_2 (d) Na_2O (d)

6. शॉटकी त्रुटियॉ प्राप्त होती है जबकि–
(a) क्रिस्टल जालक से असमान संख्या मे धनायन एवं ऋणायन पलायन कर जाते है।
(b) क्रिस्टल जालक से समान संख्या में धनायन एवं ऋणायन पलायन कर जाते है।
(c) एक आयन अपनी सामान्य स्थिति छोड़कर अन्तराकाशी स्थल में चला जाता है।
(d) क्रिस्टल का घनत्व बढ़ जाता है। (b)

7. एक P- प्रकार का पदार्थ वैद्युतीय रूप से–
(a) धनात्मक (b) ऋणात्मक
(c) उदासीन (d) P- अशुद्धियों की सान्द्रता पर निर्भर है (c)

8. समन्वयक संख्या 8 निम्न में से किस धनायन के लिए होगी।
(a) CsCl (b) ZnS
(c) NaCl (d) Na_2O (a)

9. निम्न में से कौनसा संक्रमण धातु यौगिक अनुचुम्बकीय (Paramagnetic) प्रवृत्ति का है?
(a) MnO (b) NiO
(c) VO (d) Mn_2O_3 (c)

10. एक षटकोणीय आद्य एकक कोष्ठिका (Primitive unit Cell) में चतुष्फलकीय एवं अष्टफलकीय छिद्रों (Voids) की संख्या क्रमशः होगी–
(a) 8, 4 (b) 6, 6
(c) 2, 1 (d) 12, 6 (d)

(क) अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1 ठोस कठोर क्यों होते हैं?
उत्तर– ठोसों में अवयवी कण प्रबल अन्तराणुविक बलों द्वारा अधिक निकट आ जाते हैं, और एक दूसरे के साथ अनुलग्नित हो जाते हैं। इस प्रकार एक संकुलित, सघन (Compect) संरचना बनती है। इसीलिये असम्पीड्य और कठोर हो जाते है।

प्र.2 ठोसों का आयतन निश्चित क्यों होता है।
उत्तर– ठोसों में अवयवीकण प्रबल अन्तराणुविक बलों द्वारा एक दूसरे के निकट आते हैं जबकि ऊष्मीय ऊर्जा अवयवी कणों को दूर ले जाने का प्रयास करती है। परन्तु निम्न ताप पर ऊष्मीय ऊर्जा निम्न होती है। अतः अवयवी कण अधिक निकट आ जाते हैं और एक दूसरे के साथ अनुलग्नित हो जाते हैं; इसलिए अत्यधिक दाब लगाने पर भी इनका आयतन परिवर्तित नहीं होता; अतः आयतन निश्चित होता है।

प्र.3 ठोस A अत्यधिक कठोर तथा ठोस एवं गलित दोनों अवस्थाओं में विद्युत रोधी है और अत्यंत उच्च ताप पर पिघलता है। यह किस प्रकार का ठोस है।
उत्तर– यह सहसंयोजक ठोस अर्थात् नेटवर्क ठोस है।

प्र.4 किस प्रकार के ठोस विद्युत चालक, आघातवर्ध्य और तन्य होते हैं?
उत्तर– ये धात्विक ठोस होते हैं?

प्र.5 जालक बिन्दु से आप क्या समझते हैं?
उत्तर– क्रिस्टल जालक में जालक बिन्दु, अवयवी कणों को दर्शाता है।

प्र.6 एकक कोष्ठिका में अभिलक्षित करने वाले पैरामीटर के नाम बताइए।
उत्तर– एकक कोष्ठिका के पैरामीटर a, b, c अक्षीय दूरियां तथा α, β, γ अक्षीय कोण के रूप में अभिलक्षित किया जाता है।

प्र.7 एक अणु की वर्ग निबिड़ संकुलित परत में द्विविमीय उपसहसंयोजन संख्या क्या है?
उत्तर– द्विविमीय वर्ग निबिड़ संकुलन में समन्वयी संख्या 4 है।

प्र.8 निम्नलिखित में से किस जालक में उच्चतम संकुलन क्षमता है– (i) सरल घनीय (ii) अंतः केन्द्रित घन (iii) षट्कोणीय निबिड़ संकुलित है।
उत्तर– षट्कोणीय निबिड़ संकुलन, जिसमें संकुलित अवस्था 74% है।

प्र.9 अक्रिस्टलीय पद को परिभाषित कीजिए। अक्रिस्टलीय ठोसों के उदाहरण दीजिए।
उत्तर– अक्रिस्टलीय ठोसों में अवयवी कणों की कोई निश्चित व्यवस्था नहीं होती और न ही कोई निश्चित ज्यामिति और आकृति होती है। उदाहरण कांच, प्लास्टिक, रबर, रेजिन आदि।

(ख) लघुत्तरात्मक प्रश्न–

प्र.1 निम्नलिखित को अक्रिस्टलीय तथा क्रिस्टलीय ठोसों में वर्गीकृत कीजिए।
पॉलिलूरिथेन, नैफ्थलीन, बेन्जोइक अम्ल, टेफ्लॉन, पौटेशियम नाईट्रेट, सेलोफेन, पॉलिवाइनिल क्लोराइड, रेशाकांच, तांबा।
उत्तर– **अक्रिस्टलीय ठोस**–पॉलीयूरेथेन, टेफ्लॉन, सेलोफेन, पॉलीबिनाइल क्लोराइड रेशा काँच।
क्रिस्टलीय ठोस–नेफ्थैलीन, बेंजोइक अम्ल, पोटैशियम नाइट्रेट, ताँबा।

प्र.2 काँच को अतिशीतित द्रव क्यों माना जाता है।

उत्तर– द्रवों के सदृश्य काँच में अवयवी कणों की अनियमित व्यवस्था होती है। द्रवों के समान ही इसमें बहने (प्रवाह) की प्रकृति होती है। इसका प्रमाण पुरानी इमारतों की खिड़कियों में लगे काँच हैं, जिनके नीचे के भाग की मोटाई कुछ अधिक पायी जाती है।

प्र.3 एक ठोस के अपवर्तनांक का सभी दिशाओं में मान समान प्रेक्षित होता है। इस ठोस की प्रकृति पर टिप्पणी कीजिये। क्या यह विदलन गुण प्रदर्शित करेगा?

उत्तर– यह ठोस समदैशिक गुण दर्शाता है, अतः यह अक्रिस्टलीय ठोस है। यह ठोस विदलन गुण नहीं दर्शाता है। अर्थात् तेज धार वाले औजार से काटने पर यह अनियमित सतहों वाले टुकड़ों में कटेगा।

प्र.4 उपस्थित अन्तराणुविक बलों की प्रकृति के आधार पर निम्नलिखित ठोसों को विभिन्न संवर्गों में वर्गीकृत कीजिये।
पोटैशियम सल्फेट, टिन, बेंजीन, यूरिया, अमोनिया, जल, जिंक सल्फाइड, ग्रेफाइट, रूबिडियम, आर्गन, सिलिकन कार्बाइड

उत्तर–**आयनिक ठोस**–पोटैशियम सल्फेट, जिंक सल्फाइड।
धात्विक ठोस–टिन, रूबिडियम
सहसंयोजक ठोस–ग्रेफाइट, सिलिकन कार्बाइड
अध्रुवीय आणुविक ठोस–बेंजीन, यूरिया, आर्गन
हाइड्रोजन बन्धित आणुविक ठोस–जल, अमोनिया

प्र.5 आयनिक ठोस गलित अवस्था में विद्युत चालक होते हैं परन्तु ठोस अवस्था में नहीं, व्याख्या कीजिए।

उत्तर–गलित अवस्था में आयनिक ठोसों के धनायन और ऋणायन मुक्त अवस्था में होते हैं, तथा गतिशील होते हैं। जबकि ठोस अवस्था में आयन प्रबल स्थिर वैद्युत आकर्षण बलों से बंधे होने के कारण गतिशील नहीं होते हैं।

प्र.6 **एक यौगिक षट्कोणीय निबिड़ संकुलित संरचना बनाता है। इसके 0.5 मोल में कुल रिक्तियों की संख्या कितनी है? उनमें से कितनी रिक्तियाँ चतुष्फलकीय हैं?**

उत्तर–0.5 मोल में परमाणुओं की संख्या $= 0.5 \times 6.023 \times 10^{23}$
$= 3.0115 \times 10^{23}$

चूँकि प्रति परमाणु चतुष्फलकीय रिक्तियों की संख्या = 2 और अष्टफलकीय रिक्तियों की संख्या = 1 होती है
अतः कुल रिक्तियों की संख्या = 2 + 1 = 3 प्रति परमाणु
अतः 0.5 मोल में कुल रिक्तियों की संख्या $= 3 \times 3.0115 \times 10^{23}$
$= \mathbf{9.0345 \times 10^{23}}$
चतुष्फलकीय रिक्तियाँ $= 2 \times 3.0115 \times 10^{23}$
$= \mathbf{6.023 \times 10^{23}}$

प्र.7 **एक यौगिक दो तत्व M और N से बना है। तत्व N, ccp संरचना बनाता है और M के परमाणु चतुष्फलकीय रिक्तियों के $\frac{1}{3}$ भाग को अध्यासित करते हैं। यौगिक का सूत्र क्या है?**

उत्तर–ccp संरचना की एकक कोष्ठिका में N परमाणुओं की संख्या = 4
अतः चतुष्फलकीय रिक्तियों की संख्या = 2 × 4 = 8

M परमाणुओं की संख्या $= \frac{1}{3} \times$ चतुष्फलकीय रिक्तियों की संख्या

$$= \frac{1}{3} \times 8$$

अतः यौगिक में $M : N = \frac{8}{3} : 4$

इस प्रकार यौगिक का सूत्र $= \mathbf{M_2 N_3}$

प्र.8 **एक तत्व का मोलर द्रव्यमान 2.7×10^{-2} kg mol^{-1} है। यह 405 pm लम्बाई की भुजा वाली घनीय एकक कोष्ठिका बनाता है। यदि उसका घनत्व 2.7×10^3 kg m^{-3} है तो घनीय एकक कोष्ठिका की प्रकृति क्या है?**

उत्तर–भुजा की लम्बाई (a) = 405 pm = 405×10^{-12} m
एकक कोष्ठिका का घनत्व (d) $= 2.7 \times 10^3$ kg m^{-3}
मोलर द्रव्यमान (M) $= 2.7 \times 10^{-2}$ kg mol^{-1}

चूँकि $d = \frac{nM}{a^3 N_A}$, n = ?

$$2.7 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3} = \frac{n \times 2.7 \times 10^{-2} \text{kgmol}^{-1}}{(405 \times 10^{-12} \text{m})^3 (6.023 \times 23^{23} \text{mol}^{-1})}$$

$\therefore$ n =

$$\frac{2.7 \times 10^3 \text{kgm}^{-3} \times (405 \times 10^{-12} \text{m})^3 \times (6.023 \times 10^{23} \text{mol}^{-1})}{2.7 \times 10^{-2} \text{kgmol}^{-1}}$$

या $n = 4$

एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या = 4 है अतः यह संरचना ccp या fcc है।

प्र.9 निम्नलिखित किस प्रकार का स्टाइक्योमीट्रि दोष दर्शाते हैं
(i) ZnS (ii) AgBr

उत्तर– ZnS फ्रेंकल दोष दर्शाता है।
AgBr शॉटकी और फ्रेंकल दोनों प्रकार के दोष दर्शाता है

प्र.10 समझाइए कि एक उच्च संयोजी धनायन को अशुद्धि की तरह मिलाने पर आयनिक ठोस में रिक्तिकाऐं किस प्रकार प्रविष्ट होती है।

उत्तर– कृपया पाठ्य सामग्री देखिए।

प्र.11 जिन आयनिक यौगिकों में धातु आधिक्य दोष के कारण ऋणायनिक रिक्तिका होती है, उसे उपयुक्त उदाहरण की सहायता से समझाइए।

उत्तर– कृपया पाठ्य सामग्री देखिए।

प्र.12 वर्ग 14 के तत्व को n-प्रकार के अर्द्धचालक में उपयुक्त अशुद्धि द्वारा अपमिश्रित करके रूपान्तरित करना है, यह अशुद्धि किस वर्ग से संबंधित होनी चाहिए।

उत्तर– वर्ग 14 के तत्व को n-प्रकार के अर्द्धचालक में रूपान्तरित करने के लिए वर्ग 15 के तत्व से अपमिश्रित करना चाहिए।

प्र.13 कांच, क्वार्टज जैसे ठोस किस प्रकार भिन्न है? किन परिस्थितियों में क्वार्टज को कांच में परिवर्तित किया जा सकता है

उत्तर– कांच एक अक्रिस्टलीय ठोस है, जबकि क्वार्टज एक क्रिस्टलीय ठोस है। दोनों में अंतर के लिए पाठ्य सामग्री देखिए। क्वार्टज को कांच में रूपान्तरित करने के लिए उसे उच्च ताप पर पिघला कर तुरन्त ठंडा किया जाता है।

प्र.14 सोना (परमाणु = 0.44 nm) फलक केन्द्रित एकक कोष्ठिका में क्रिस्टलीकृत होता है। इसकी कोष्ठिका की कोर लम्बाई ज्ञात कीजिए।

उत्तर– फलक केन्द्रित एकक कोष्ठिका में

$$\gamma = \frac{a}{2\sqrt{2}}$$

या $a = 2\sqrt{2}\gamma$

γ = परमाणु त्रिज्या तथा a = कोर लम्बाई

$a = 2\sqrt{2} \times 0.44 = 2 \times 1.4142 \times 0.44$

$= 1.244$ nm

प्र.15 बैंड सिद्धांत के आधार पर (i) चालक एंव रोधी (ii) चालक एवं अर्द्धचालक में क्या अंतर होता है।

उत्तर– कृपया पाठ्य सामग्री देखिए।

प्र.16 एल्युमीनियम घनीय निविड संकुलित संरचना में क्रिस्टलीकृत होता है, इसका धात्विक अर्द्ध–व्यास 125 pm है *(i)* एकक कोष्ठिका में कोर की लम्बाई ज्ञात कीजिए।

***(ii)* 1.0 cm^3 एल्युमीनियम में कितनी एकक कोष्ठिकाएँ होंगी ?**

उत्तर– **प्रथम चरण**–*एकक कोष्ठिका की भुजा की लम्बाई की गणना*–

fcc एकक कोष्ठिका के लिए, $a = 2\sqrt{2r}$

$= 2\sqrt{2r}\,(125\text{pm}) = 354\text{ pm}$

द्वितीय चरण –*एल्युमीनियम के 1.00 घन सेमी ^{3} में एकक कोष्ठिकाओं की संख्या की गणना*–

एक एकक कोष्ठिका का आयतन $= (354\text{ pm})^3 = (354 \times 10^{-10}\text{ cm}^3)^3 = 44174155 \times 10^{-30}$ cc

Al धातु के 1.00cc में एकक कोष्ठिकाओं की संख्या =

$$\frac{1(\text{cc})}{44174155 \times 10^{-30}(\text{cc})} = \mathbf{2.26 \times 10^{22}}$$

प्र.17 यदि NaCl को $SrCl_2$ के 10^{-3} मोल % से डोपित किया जाता है तो धनायन रिक्तियों का सांद्रण क्या होगा ?

उत्तर : स्ट्रॉन्शियम क्लोराइड मिलाने पर स्ट्रॉन्शियम का प्रत्येक आयन (Sr^{2+}) सोडियम के दो आयनों (Na^+) को प्रतिस्थापित करता है किन्तु Na^+ आयन के स्थान पर जालक में मात्र एक बिन्दु का ही स्थान ग्रहण करता है। इसके एक धनायन रिक्तिका का निर्माण होता है।

NaCl के 100 मोल में धनायन रिक्तिकाओं की संख्या $= 10^{-3}$ mol

एक मोल में धनायन रिक्तिकाओं की संख्या

$$= \frac{10^{-3}}{100} = 10^{-5}\text{ mol}$$

धनायन रिक्तिकाओं की कुल संख्या

$= 10^{-5} \times N_A = (10^{-5}\text{ mol}) \times (6.022 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1})$

$= 6.022 \times 10^{18}$

प्र.18 निम्नलिखित ठोसों का वर्गीकरण आयनिक, धात्विक, आण्विक, सहसंयोजक या अक्रिस्टलीय में कीजिए–

(i) टेट्राफॉस्फोरस डेकॉक्साइड (P_4O_{10}) (ii) अमोनियम फॉस्फेट $(NH_4)_3PO_4$ (iii) SiC (iv) I_2 (v) P_4 (vi) प्लास्टिक (vii) ग्रेफाइट (viii) पीतल (ix) Rb (x) LiBr (xi) Si

उत्तर : आयनिक ठोस : $(NH_4)_3PO_4$ तथा LiBr

धात्विक ठोस : पीतल, Rb

आण्विक ठोस : P_4O_{10}, I_2, P_4

सहसंयोजक ठोस : ग्रेफाइट, SiC, Si

अक्रिस्टलीय : प्लास्टिक

प्र.19 किसी क्रिस्टल की स्थिरता उसके गलनांक के परिमाण द्वारा प्रकट होती है। टिप्पणी कीजिए।

किसी आँकड़ा पुस्तक (data book) से (i) जल (ii) एथिल ऐल्कोहल (iii) डाई एथिल ईथर (iv) मेथेन के गलनांक एकत्र करें। इन अणुओं के मध्य अन्तर आण्विक बलों के बारे में आप क्या कह सकते हैं ?

उत्तर : किसी क्रिस्टल का स्थायित्व उसके संघटक कणों में अन्तर्क्रिया बल के परिमाण पर निर्भर करता है। आकर्षण बल जितना ही अधिक होता है, क्रिस्टल का स्थायित्व भी उतना ही अधिक होता है। उदाहरण के लिए NaCl एवं KCl जैसे आयनिक ठोसों का गलनांक (m.p.) एवं क्वथनांक (b.p.) बहुत उच्च होता है जबकि नैफ्थेलीन एवं आयोडीन आदि जैसे आण्विक ठोसों के गलनांक एवं क्वथनांक का मान कम होता है।

विभिन्न पदार्थों के गलनांक निम्नवत् हैं—

(i) जल = 273 K

(ii) एथिल ऐल्कोहल = 155.7 K

(iii) डाई एथिल ईथर = 156.8 K

(iv) मेथेन = 90.5 K

जल एवं एथिल ऐल्कोहॉल के अणुओं के बीच अन्तर आण्विक बल मुख्यत: हाइड्रोजन आबंधन (hydrogen bonding) होता है। गलनांकों के मानों से यह स्पष्ट है कि इसका परिमाण ऐल्कोहल की अपेक्षा जल में अधिक होता है।

डाई एथिल ईथर के अणुओं के बीच बल द्विध्रुवीय (Dipolar) बल होता है, जबकि मेथेन में यह मुख्यत: वान्डरवाल बल (Vander Waals forces) होता है, जो कि इनके गलनांकों (सूचीबद्ध यौगिकों में न्यूनतम्) से स्पष्ट है।

प्र.20 निम्नलिखित जालकों में से प्रत्येक की एकक कोशिका में कितने जालक बिन्दु होते हैं?

(i) फलक केन्द्रित घनीय

(ii) फलक केन्द्रिता चतुष्कोणीय

(iii) अंतः केन्द्रित

उत्तर– (i) फलक केन्द्रित घनीय = 4

(ii) फलक केन्द्रिता चतुष्कोणीय = 4

(iii) अंतः केन्द्रित = 2

प्र.21 समझाइए

(i) धात्विक एवं आयनिक क्रिस्टलों में समानता एवं विभेद का आधार

(ii) आयनिक ठोस कठोर एवं भंगुर होते हैं।

उत्तर– कृपया पाठ्य सामग्री देखिए।

प्र.22 चाँदी का क्रिस्टलीकरण *fcc* जालक में होता है। यदि इसकी कोष्ठिका के कोरों की लम्बाई 4.077×10^{-8}cm तथा घनत्व 10.5 g cm^{-3} हों तो चाँदी का परमाण्विक द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।

उत्तर : हम जानते हैं कि $\rho = \dfrac{Z \times M}{a^3 \times N_A \times 10^{-30}}$

या, $M = \dfrac{\rho \times a^3 \times N_A \times 10^{-30}}{Z}$

उपलब्ध आँकड़ों के अनुसार

कोर की लम्बाई *(a)* $= 4.077 \times 10^{-8}$ cm

$= 4.077 \times 10^{-8} \times 10^{-10} = 407.7$ pm

प्रति एकक कोष्ठिका परमाणुओं की संख्या (Z) = 4

($\because$ *fcc* संरचना)

सिल्वर का घनत्व = 10.50 g cm^{-3}

आवोगाद्रो संख्या (N_A) $= 6.022 \times 10^{23}$ mol^{-1}

$\therefore$ तत्त्व का परमाणु द्रव्यमान (M)

$$= \frac{(10.50\text{g cm}^{-3}) \times (407.7)^3 \times (6.022 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}) \times (10^{-30}\text{cm}^{3})}{4}$$

$= \mathbf{107.09\text{ g mol}^{-1}}$

प्र.23 एक घनीय ठोस दो तत्त्वों P एवं Q से बना है। घन के कोनों पर Q परमाणु एवं अन्त: केन्द्र पर P परमाणु स्थित हैं। इस यौगिक का सूत्र क्या है ? P एवं Q की उप-सहसंयोजन संख्या क्या है ?

उत्तर : घन के आठों कोनों पर उपस्थित Q परमाणु का योगदान

$$= \frac{1}{8} \times 8 = 1$$

घन के अन्त: केन्द्र में उपस्थित P परमाणु का योगदान = 1

अत: P व Q, 1 : 1 के अनुपात में उपस्थित हैं।

∴ यौगिक का सूत्र PQ है।

P और Q की उप-सहसंयोजन संख्या 8 है।

क्योंकि ठोस की संरचना काय केन्द्रित घनीय (bcc) है।

प्र.24 नायोबियम का क्रिस्टलीकरण अन्त: केन्द्रित घनीय संरचना में होता है। यदि इसका घनत्व 8.55 g cm⁻³ हो तो इसके परमाण्विक द्रव्यमान 93u का प्रयोग करके परमाणु त्रिज्या की गणना कीजिए।

उत्तर : **पद I.** ***एकक कोष्ठिका के कोर की लम्बाई की गणना–***

fcc एकक कोष्ठिका में कणों की संख्या (Z) = 2

तत्त्व का परमाणु द्रव्यमान (M) = 93 g mol⁻¹

एकक कष्ठिका का द्रव्यमान

$$= \frac{Z \times M}{N_A} = \frac{2 \times (93 g\ mol^{-1})}{6.022 \times 10^{23}} = 30.89 \times 10^{-23}\ g$$

एकक कोष्ठिका का घनत्व (ρ) = 8.55 g cm⁻³

एकक कोष्ठिका का आयतन (a^3)

$$= \frac{\text{एकक कोष्ठिका का द्रव्यमान}}{\text{एकक कोष्ठिका का घनत्व}} = \frac{(30.89 \times 10^{-23} g)}{(8.55 g\ cm^{-3})}$$

$$= 3.163 \times 10^{-23} cm^3 = 36.13 \times 10^{-24} cm^3$$

एकक कोष्ठिका के कोर की लम्बाई (a)

$$= (36.13 \times 10^{-24} cm^3)^{1/3} = 3.31 \times 10^{-8} cm^3$$

पद II. ***एकक कोष्ठिका की त्रिज्या की गणना–***

fcc संरचना हेतु,

$$r = \frac{\sqrt{3}a}{4} = \frac{\sqrt{3} \times (3.31 \times 10^{-8} cm)}{4}\ 1.43 \times 10^{-8} cm$$

= 143 pm.

प्र.25 कॉपर *fcc* जालक रूप में क्रिस्टलीकृत होता है जिसके कोर की लम्बाई 3.61 × 10⁻⁸ cm है। यह दर्शाइए कि गणना किए गए घनत्व के मान तथा मापे गए घनत्व 8.92 g cm⁻³ में समानता है।

उत्तर : एकक कोष्ठिका का घनत्व $(\rho) = \frac{Z \times M}{a^3 \times N_0 \times 10^{-30}}$

उपलब्ध आँकड़ों के अनुसार,

कोर की लम्बाई (a) = 3.61 × 10⁻⁸ cm = 361 pm

Cu का परमाणु द्रव्यमान (M) = 63.5 g mol⁻¹

प्रति एकक कोष्ठिका परमाणु की संख्या (Z) = 4

आवोगाद्रो संख्या (N_0) = 6.022 × 10²³ mol⁻¹

एकक कोष्ठिका का घनत्व

$$(\rho) = \frac{4 \times (63.5\ g\ mol^{-1})}{(361)^3 \times (6.022 \times 10^{23}\ mol^{-1}) \times (10^{-30} cm^3)}$$

= 8.97 cm⁻³

गणना द्वारा प्राप्त घनत्व का मान उसके मापे गये मान के लगभग समान है।

प्र.26 विश्लेषण द्वारा ज्ञात हुआ कि निकैल ऑक्साइड का सूत्र $Ni_{0.98}O_{1.00}$ है। निकैल आयनों का कितना अंश Ni^{2+} और Ni^{3+} के रूप में विद्यमान है ?

उत्तर : शुद्ध निकैल ऑक्साइड (NiO) में Ni और O परमाणुओं का अनुपात = 1 : 1

माना कि ऑक्साइड में Ni (III) परमाणुओं द्वारा विस्थापित (replaced) Ni (II) परमाणुओं की संख्या x है।

∴ शेष Ni (II) परमाणुओं की संख्या = (0.98 - x)

चूँकि इस ऑक्साइड की प्रकृति उदासीन है,

Ni परमाणुओं पर कुल आवेश = ऑक्सीजन परमाणुओं का आवेश

$$2(0.98 - x) + 3x = 2$$
$$1.96 - 2x + 3x = 2$$
$$x = 2 - 1.96 = 0.04$$

निकैल ऑक्साइड में Ni(III) परमाणुओं की प्रतिशतता

$$= \frac{\text{Ni (III) परमाणुओं की संख्या}}{\text{Ni परमाणुओं की कुल संख्या}} \times 100$$

$$= \frac{0.04}{0.98} \times 100 = 4.01\%$$

निकैल ऑक्साइड में Ni(II) परमाणुओं की प्रतिशतता

= 100 – 4.01 = **95.99%**

प्र.27 निम्नलिखित को p-प्रकार या n-प्रकार के अर्द्धचालकों में वर्गीकृत कीजिए

(i) In से डोपित Ge

(ii) B से डोपित Si

उत्तर– (i) In से डोपित Ge - n-प्रकार का अर्द्धचालक

(ii) B से डोपित Si - p-प्रकार का अर्द्धचालक

प्र.28. एक तत्व की एकक कोष्ठिका की संरचना bcc है। कोष्ठिका के कोर की लम्बाई 288 pm और तत्व का घनत्व 7.2 gm cm³ है। ज्ञात कीजिए कि 208 gm तत्व में कितने परमाणु हैं?

हल- एकक कोष्ठिका का आयतन $= (288 \times 10^{-10} cm)^3$

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

208 gm तत्व का आयतन $= \frac{\text{द्रव्यमान}}{\text{घनत्व}} = \frac{208 gm}{7.2 gm\ cm^{-3}} = 28.88\ cm^3$

इस आयतन में एकक कोष्ठिकाओं की संख्या

$$= \frac{28.88 cm^{-3}}{2.39 \times 10^{-23} cm^3}$$

$= 12.08 \times 10^{23}$

प्रत्येक bcc कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या = 2

अत: कुल परमाणुओं की संख्या = 2 × 12.08 × 10²³

= 24.16 × 10²³ परमाणु

प्र.29. X-किरण विवर्तन द्वारा पता चला कि ताँबा 3.608 × 10⁻⁸ cm कोष्ठिका कोर के साथ fcc एकक कोष्ठिका में क्रिस्टलीकृत होता है। दूसरे प्रयोग में ताँबे का घनत्व 8.92 gm/cm³ ज्ञात किया गया है। ताँबे का परमाणु द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।

हल- fcc जालक की एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या = 4

$$d = \frac{nM}{N_A a^3}$$

$n = 4, M = ?, N_A = 6.022 \times 10^{23}, a = 3.608 \times 10^{-8}$ cm

$$M = \frac{d.N_A a^3}{n}$$

$$= \frac{8.92 gm\ cm^{-3} \times 6.022 \times 10^{23} \times (3.608 \times 10^{-8})^3}{4}$$

$$= 63.07 \text{ gm mol}^{-1}$$

ताँबे का परमाणुविक द्रव्यमान = 63.07 u

(ग) निबंधात्मक प्रश्न–

प्र.1. निम्नलिखित में विभेद कीजिए।

(i) षट्कोणीय और एकनताक्ष एकक कोष्ठिका।

(ii) फलक केंद्रित और अंत्य-केंद्रिक एकक कोष्ठिका।

हल– (i)

गुण	*षट्कोणीय*	*एकल ताक्ष*
(a) अक्षीय दूरियाँ	$a = b \neq c$	$a \neq b \neq c$
(b) कक्षीय कोण	$\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$	$\alpha = \gamma = 90°$ $\beta = 90°$
(c) त्रिविम जालक	1 (आद्य)	2 (आद्य एवं अंत्य केन्द्रित)
(d) समन्वयी संख्या	12	8
(e) एकक कोष्ठिका में कणों की संख्या	$\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3 = 6$	आद्य $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ अंत्यकेन्द्रित $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 2 = 2$

(ii) **(a) फलक केन्द्रित एकक कोष्ठिका–**अवयवी कण कोनों के अतिरिक्त प्रत्येक कक्षक के केन्द्र पर भी स्थित होते हैं।

(b) समन्वयी संख्या = 12

(c) एकक कोष्ठिका में कणों की संख्या– $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$

(a) अन्त्य केन्द्रित एकक कोष्ठिका–अवयवी कण कोनों के अतिरिक्त किन्हीं दो विपरीत फलकों के केन्द्र पर भी उपस्थिति होते हैं।

(b) समन्वयी संख्या = 8

(c) एकक कोष्ठिका में कणों की संख्या = $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 2 = 2$

प्र.2. स्पष्ट कीजिए कि एक घनीय एकक कोष्ठिका के-
1. कोने और अंतःकेन्द्र पर उपस्थित परमाणु का कितना भाग सन्निकट कोष्ठिका से सहभाजित होता है।

हल– 1. कोने के परमाणु का $\frac{1}{8}$ वाँ भाग सन्निकट कोष्ठिका में सहभाजित होता है। अर्थात् कोने का एक परमाणु सन्निकट 8 एकक कोष्ठिका में सहभाजित होता है। जिनमें 4 एक ही तल की एकक कोष्ठिका है और 4 ऊपर अथवा नीचे के तल की एकक कोष्ठिका है।

2. अन्तः केन्द्र पर उपस्थित परमाणु केवल एक ही एकक कोष्ठिका का भाग होता है।

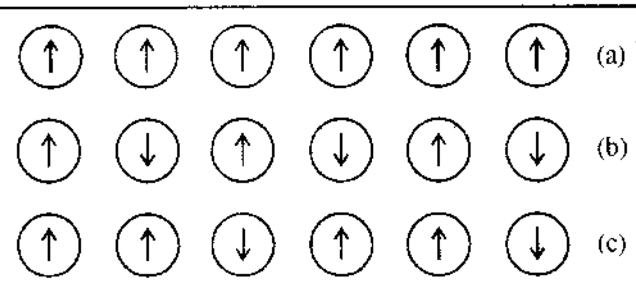
प्र.3. जब एक ठोस को गरम किया जाता है तो किस प्रकार का दोष उत्पन्न हो सकता है। इससे कौन-कौन से भौतिक गुण प्रभावित हो होते है और किस प्रकार?

हल– कृपया पाठ्य सामग्री देखिए।

प्र.4. किस प्रकार के पदार्थो से अच्छे स्थायी चुम्बक बनाए जा सकते है? लोहचुम्बकीय अथवा फेरीचुम्बकीय? अपने उत्तर का औचित्य बताइये।

हल– स्थायी चुम्बक लौह चुम्बकीय पदार्थों से बनाए जाते हैं।

लौह चुम्बकीय ठोस (Ferromagnetic solids)—ऐसे ठोस, जो चुम्बकीय क्षेत्र में प्रबल रूप से आकर्षित होते हैं, लौह चुम्बकीय ठोस कहलाते हैं और उनका यह गुण **लौह चुम्बकत्व** (Ferromagnetism) कहलाता है। चुम्बकीय क्षेत्र में ये स्थायी चुम्बकीय गुण ग्रहण कर लेते हैं। अतः इनसे स्थायी चुम्बक बनाये जा सकते हैं। ठोस अवस्था में लौह चुम्बकीय पदार्थ के धातु आयन छोटे खण्डों में एक साथ समूहित हो जाते हैं, जिन्हें **डोमेन** (Domane) कहते हैं। प्रत्येक डोमेन एक छोटे चुम्बक के समान व्यवहार करता है। चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में ये डोमेन ठोस में अनियमित रूप से अभिविन्यासित रहते हैं और उनका चुम्बकीय आघूर्ण निरस्त हो जाता है। परन्तु चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में सभी डोमेन चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में अभिविन्यासित हो जाते हैं और प्रबल चुम्बकीय प्रभाव उत्पन्न करते हैं। चुम्बकीय क्षेत्र हटा लेने पर भी इनका चुम्बकीय प्रभाव बना रहता है, अतः स्थायी चुम्बकत्व प्रभाव दर्शाते हैं। चित्र (a) में इस संरेखण को दिखाया गया है।



चित्र : (a) लौह चुम्बकीय, (b) प्रति लौह चुम्बकीय, (c) फैरी चुम्बकीय

उदाहरण के लिये Fe, Co, Ni, CrO_2 आदि स्थायी चुम्बकत्व प्राप्त करने के कारण इनका औद्योगिक क्षेत्रों में उपयोग किया जाता है। CrO_2 का उपयोग कैसेट की टेप (Tape) बनाने में किया जाता है।

प्र.5. यदि आपको किसी अज्ञात धातु का घनत्व एवं एकक कोष्ठिका की विमाएं ज्ञात है, तो क्या आप उसके परमाण्विक द्रव्यमान की गणना कर सकते है? स्पष्ट कीजिए।

हल– एकक कोष्ठिका के घनत्व ज्ञात करने के लिए एक घनीय जालक का चयन करते हैं। माना कि घन का किनारा '**a**'

माना कि एकक कोष्ठिका का किनारा (कोर) = a है।

अतः एकक कोष्ठिका का आयतन = a^3

यदि एकक कोष्ठिका में उपस्थित एक कण (परमाणु) का द्रव्यमान m है तो–

एकक कोष्ठिका का द्रव्यमान = एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या × एक परमाणु का द्रव्यमान

$= n \times m$

यहाँ n = एकक कोष्ठिका में परमाणुओं की संख्या है।

एकक कोष्ठिका में उपस्थित एक परमाणु का द्रव्यमान = $\frac{M}{N_A} = m$

M = परमाणु का मोलर द्रव्यमान अर्थात् परमाणुवीय द्रव्यमान
N_A = आवोग्राद्रो संख्या

एकक कोष्ठिका का घनत्व (d) = $\frac{\text{एकक कोष्ठिका का द्रव्यमान}}{\text{एकक कोष्ठिका का आयतन}}$

अतः $d = \frac{n \times m}{a^3}$

या $d = \frac{nM}{a^3 N_A}$

- यहाँ यह ध्यान रखना चाहिये कि–
- एकक कोष्ठिका का घनत्व ही पदार्थ का घनत्व होता है।

प्र.6. निम्नलिखित युग्मों के पदों में कैसे विभेद करोगे?
(i) षट्कोणीय निविड संकुलन एवं घनीय निविड संकुलन।
(ii) क्रिस्टल जालक एवं एकक कोष्ठिका।
(iii) चतुष्फलकीय रिक्ति एवं अष्टफलकीय रिक्ति।

हल– कृपया पाठ्य सामग्री देखिए।

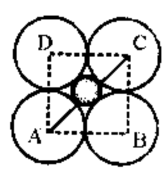
प्र.7. निम्नलिखित में धातु क्रिस्टल में संकुलन क्षमता की गणना कीजिए।
1. सरल घनीय
2. अंतः केन्द्रित घनीय
3. फलक-केन्द्रित घनीय।

हल– उत्तर के लिए कृपया खण्ड 1.6.3, 1.6.4 तथा 1.6.5 देखिए।

प्र.8. यदि अष्टफलकीय रिक्ति की त्रिज्या r हो तथा निविड संकुलन में परमाणुओं की त्रिज्या R हो तो r एवं R में सम्बन्ध स्थापित कीजिए।

हल– **अष्टफलकीय छिद्र की त्रिज्या (r) और गोले की त्रिज्या (R) में सम्बन्ध ज्ञात करना**

चित्र 1.29 में एक अष्टफलक का अनुप्रस्थ काट दर्शाया गया है। यहाँ काला गोला अष्टफलकीय छिद्र को प्रदर्शित करता है। गोलों के केन्द्र A, B, C, D एक वर्ग बनाते हैं। जिसकी प्रत्येक भुजा = a है।



चित्र में–

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{a^2 + a^2} = \sqrt{2}a$$

चूंकि $AC = 2r + 2R$

अतः $2r + 2R = \sqrt{2}a$

चित्र में $AB = 2R$ या $a = 2R$

अतः $2r + 2R = \sqrt{2}.2R$

या $r = R\left(\sqrt{2} - 1\right)$

या $\frac{r}{R} = 1.414 - 1 = 0.414$

अतः $r = 0.414\,R$

प्र.9. अर्धचालक क्या होते है? दो मुख्य अर्धचालकों का वर्णन कीजिए एवं उनकी चालकता-क्रियाविधि में विभेद कीजिए।

हल– उत्तर के लिए कृपया खण्ड 1.10 देखिए।

प्र.10. नानस्टॉइकियोमीट्री क्यूप्रस आक्साइड, Cu_2O, प्रयोगशाला में बनाया जा सकता है। इसमें कॉपर तथा ऑक्सीजन का अनुपात 2 : 1 से कुछ कम है। क्या आप इस तथ्य की व्याख्या कर सकते हैं कि यह पदार्थ p- प्रकार का अर्धचालक है?

हल– कृपया पाठ्य सामग्री देखिए।

11. फेरिक ऑक्साइड, आक्साइड आयन के षट्कोणीय निविड संकुलन में क्रिस्टलीकृत होता है जिसकी तीन अष्टफलकीय रिक्तिओं में से दो पर फेरिक आयन होते है। फेरिक ऑक्साइड का सूत्र ज्ञात कीजिए।

हल– षट्कोणीय निबिड़ संकुलन की एकक कोष्ठिका में कणों की संख्या

$$= \frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3 = 6$$

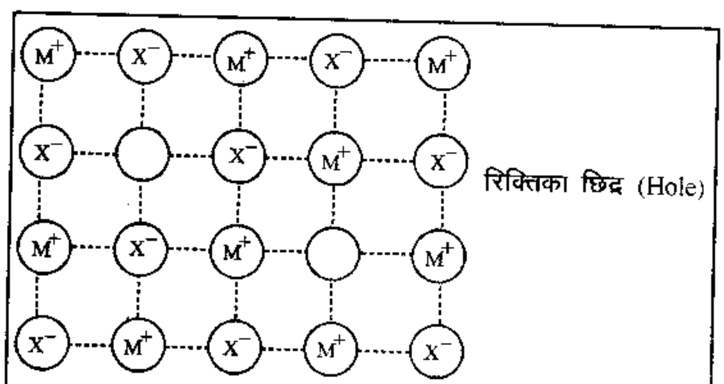
अतः ऑक्साइड आयनों (O^{2-}) की संख्या = 6
अष्टफलकीय रिक्तयों की संख्या = O^{2-} की संख्या = 6

इसलिए फैरिक आयनों (Fe^{3+}) की संख्या $\frac{2}{3} \times 6 = 4$

अतः फैरिक ऑक्साइड में $Fe^{3+} : O^{2-} = 4 : 6$
या $Fe^{3+} : O^{2-} = 2 : 3$
अतः फैरिक ऑक्साइड का सूत्र = Fe_2O_3

प्र.12. उचित उदाहरणों द्वारा निम्नलिखित पदों को परिभाषित कीजिए-
1. शॉटकी दोष, 2. फ्रेन्कले दोष, 3. अन्तराकाशी, 4. F-केन्द्र 5. 12-16 समूह व 13-15 समूह के यौगिक

उत्तर– **1. शॉट्की दोष (Schottky Defect)**–यह आधारभूत रूप से आयनिक ठोसों का **रिक्तिका दोष** है। 1930 में वैज्ञानिक शॉट्की ने बताया की क्रिस्टल निर्माण के समय, कुछ आयन अपना निश्चित स्थान छोड़कर क्रिस्टल जालक से बाहर निकल जाते हैं, जिससे जालक में रिक्तिता रह जाती हैं, जिसे छिद्र कहते है। इसे शॉट्की दोष कहते हैं। क्रिस्टल जालक को छोड़ने वाले धनायनों व ऋणायनों की संख्या समान रहती है, इसलिए क्रिस्टल की विद्युत उदासीनता बनी रहती है।



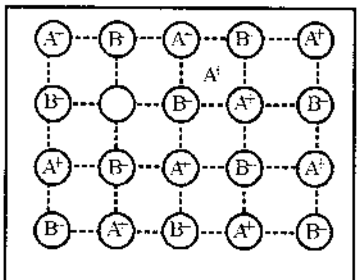
चित्र : शॉट्की दोष

चित्र में एक आयनिक यौगिक M^+X^- दिखाया गया है। एक M^+ आयन और एक X^- आयन अपने निर्धारित स्थान से निकल गये हैं।

धनायन और ऋणायन के इस युग्म को शॉट्की युगल कहते हैं। **यह दोष उन आयनिक यौगिकों के क्रिस्टलों में पाया जाता है, जिनमें आयनों की समन्वयी संख्या अधिक होती है। और आयनों का आकार लगभग समान होता है।** जैसे–NaCl, KCl, CsCl, KBr आदि।

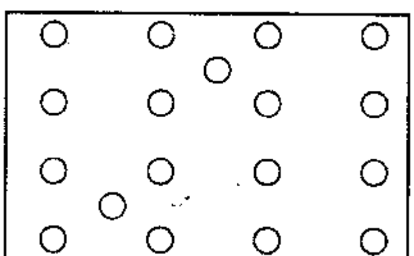
2. फ्रेन्कल दोष (Frenkel defects)–1926 में वैज्ञानिक फ्रेन्कल ने बताया की आयनिक क्रिस्टल में कोई आयन अपने निश्चित स्थान छोड़कर, अन्तराकाशी स्थान में चला जाता है। जिससे उस आयन का स्थान रिक्त हो जाता है, जिसे छिद्र कहते हैं। इसे फ्रेन्कल दोष कहते हैं। आधारभूत रूप से यह दोष अन्तराकाशी दोष है। सामान्यतः यह दोष धनायन के द्वारा उत्पन्न होता है क्योंकि इसका आकार ऋणायन से छोटा होता है। इस दोष में क्रिस्टल में धनायनों और ऋणायनों की संख्या और इनका आवेश बराबर रहता है, अतः क्रिस्टल उदासीन होता है।

यह दोष उन आयनिक यौगिकों के क्रिस्टलों में पाया जाता है, जिनमें आयनों की समन्वयी संख्या कम होती हैं तथा ऋणायनों का आकार, धनायनों से काफी बड़ा होता है। उदा– AgCl, AgBr, ZnS आदि। इस त्रुटि के कारण छिद्र बन जाता है। अतः एक छिद्र, पूर्ण क्रिस्टल में गति कर सकता है। इस कारण क्रिस्टल विद्युत चालकता प्रदर्शित कर सकते हैं।



चित्र : फ्रेन्कल दोष

3. अन्तराकाशी दोष (Interstitial Defects)–क्रिस्टलीय संरचना में जब कुछ अवयवी कण (परमाणु अथवा अणु) अन्तराकाशी स्थानों में आ जाते हैं तो उत्पन्न दोष **अन्तराकाशी दोष** कहलाता है। जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। इस दोष के कारण पदार्थ का घनत्व बढ़ जाता है।



चित्र : अन्तराकाशी दोष

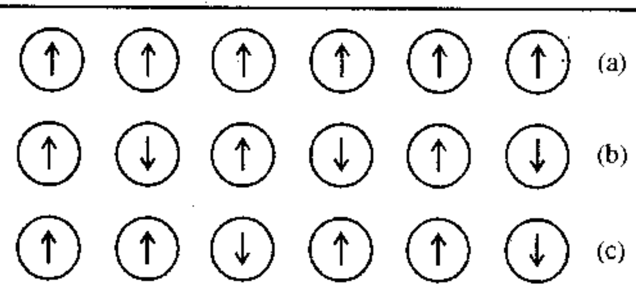
सामान्यतया रिक्तिका दोष और अन्तराकाशी दोष जैसा कि ऊपर समझाया गया है अनआयनिक ठोसों में संभव हैं।

4. F-केन्द्र-ऋणायन के स्थान पर इलेक्ट्रॉन उपस्थित होने से (ऋणानिक रिक्तिका के कारण)–इस दोष में कुछ ऋणायन क्रिस्टल जालक को छोड़कर बाहर निकल जाते हैं तथा इनका स्थान इलेक्ट्रॉन ग्रहण कर लेते हैं। इस प्रकार क्रिस्टल जालक में धातु आयन की सान्द्रता बढ़ जाती है। परन्तु क्रिस्टल की उदासीनता बनी रहती हैं। उदाहरण–जब NaCl की क्रिया Na वाष्प से कराते हैं तो पीला NaCl प्राप्त होता है, जो नॉन स्टाइकियोमितीय होता है। **इसका पीला रंग क्रिस्टल जालक में Cl के स्थान पर इलेक्ट्रॉन उपस्थित होने के कारण होता है। इसी प्रकार KCl को पोटैशियम वाष्प से क्रिया करने पर, यह बैंगनी अथवा लाइलैक हो जाता है। LiCl की क्रिया, Li वाष्प से कराने पर, यह गुलाबी हो जाता है।** यहाँ इलेक्ट्रॉन उपस्थिति वाले केन्द्र को F-केन्द्र (जर्मन शब्द Ferbe = रंग) या रंग केन्द्र कहते हैं। इनकी संख्या बढ़ने पर रंग गहरा हो जाता है। अयुग्मित इलेक्ट्रॉन के कारण, ये अनुचुम्बकीय और विद्युत चालक होते हैं। यह दोष शॉटकी दोष के समान है और शॉटकी दोष वाले क्रिस्टलों में पाया जाता है।

5. Cd Se एवं In-Sb यौगिक

प्र.13. निम्नलिखित को उचित उदाहरणों से समझाइए।
1. लोह चुम्बकत्व, 2. अनुचुम्बकत्व, 3. फेरी चुम्बकत्व, 4. प्रतिलोहचुम्बकत्व

उत्तर- 1. लोह चुम्बकत्व–ऐसे ठोस, जो चुम्बकीय क्षेत्र में प्रबल रूप से आकर्षित होते हैं, लौह चुम्बकीय ठोस कहलाते हैं और उनका यह गुण **लौह चुम्बकत्व** (Ferromagnetism) कहलाता है। चुम्बकीय क्षेत्र में ये स्थायी चुम्बकीय गुण ग्रहण कर लेते हैं। अतः इनसे स्थायी चुम्बक बनाये जा सकते हैं। ठोस अवस्था में लौह चुम्बकीय पदार्थ के धातु आयन छोटे खण्डों में एक साथ समूहित हो जाते हैं, जिन्हें **डोमेन** (Domane) कहते हैं। प्रत्येक डोमेन एक छोटे चुम्बक के समान व्यवहार करता है। चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में ये डोमेन ठोस में अनियमित रूप से अभिविन्यासित रहते हैं और उनका चुम्बकीय आघूर्ण निरस्त हो जाता है। परन्तु चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में सभी डोमेन चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में अभिविन्यासित हो जाते हैं और प्रबल चुम्बकीय प्रभाव उत्पन्न करते हैं। चुम्बकीय क्षेत्र हटा लेने पर भी इनका चुम्बकीय प्रभाव बना रहता है, अतः स्थायी चुम्बकत्व प्रभाव दर्शाते हैं। चित्र 1.36 (a) में इस संरेखण को दिखाया गया है।



चित्र : (a) लौह चुम्बकीय, (b) प्रति लौह चुम्बकीय, (c) फैरी चुम्बकीय

उदाहरण के लिये Fe, Co, Ni, CrO_2 आदि स्थायी चुम्बकत्व प्राप्त करने के कारण इनका औद्योगिक क्षेत्रों में उपयोग किया जाता है। CrO_2 का उपयोग कैसेट की टेप (Tape) बनाने में किया जाता है।

2. अनुचुम्बकत्व—ऐसे ठोस, जो चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर, दुर्बल रूप से आकर्षित होते हैं, वे अनुचुम्बकीय ठोस कहलाते हैं। यह

गुण **अनुचुम्बकत्व** (Paramagnetism) कहलाता है। इनमें अयुग्मित इलेक्ट्रॉन उपस्थित होते हैं। अत: ये चुम्बकीय क्षेत्र की ओर आकर्षित होते हैं। ये चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बक की तरह व्यवहार प्रदर्शित करते हैं। ये ठोस चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में चुम्बकीय गुण खो देते हैं। अत: इनमें चुम्बकीय गुण अस्थायी होता है। उदाहरण के लिये—Co, Ni, Fe, Cu, Cu^{+2}, Fe^{+3}, TiO, CuO, VO_2, O_2 आदि।

3. फेरी चुम्बकत्व–इन ठोसों की संरचना लौह चुम्बकीय पदार्थों के समान ही होती है। परन्तु डोमेनों का चुम्बकीय आघूर्ण एक-दूसरे के विपरीत परन्तु असमान होता है (चित्र 1.51(c))। इसलिये ये लौह चुम्बकीय पदार्थों की तुलना में चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा दुर्बल रूप से आकर्षित होते हैं। ठोसों के इस गुण को **लघु लौह चुम्बकत्व** भी कहा जाता है। Fe_3O_4 (मेग्नेटाइट) और फैराइट, जैसे—$MgFe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$ आदि इन ठोसों के उदाहरण हैं।

फैराइट का सामान्य सूत्र—$M^{2+}Fe_2O_4^{2-}$ होता है। यहाँ M^{2+} = Mg^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} आदि है।

4. प्रतिलोहचुम्बकत्व—इन ठोसों की संरचना लौह चुम्बकीय ठोसों के समान ही होती है। अयुग्मित इलेक्ट्रॉन होते हैं। परन्तु उनके डोमेन एक-दूसरे के विपरीत अभिविन्यासित होते हैं और एक-दूसरे के चुम्बकीय अघूर्ण को निरस्त कर देते हैं। इन ठोसों का यह गुण **प्रति लौह चुम्बकत्व** (Anti ferromagnetism) कहलाता है। इसके उदाहरण हैं—MnO_2, Mn_2O_3, Cr_2O_3, V_2O_3, FeO, NiO आदि।

1.13 प्रमुख प्रश्न

प्रश्न 1. बर्फ की प्रकृति छिद्रयुक्त (Porous) क्यों होती है ?

उत्तर : क्योंकि H_2O अणुओं में अन्तर-आण्विक हाइड्रोजन आबंधन के कारण बर्फ की संरचना पिंजड़े (Cage) की तरह होती है।

प्रश्न 2. क्रिस्टलीय एवं अक्रिस्टलीय ठोसों में से किसकी प्रकृति समदैशिक होती है ?

उत्तर : अक्रिस्टलीय ठोसों की प्रकृति समदैशिक होती है। इसका आशय यह है कि वैद्युत् चालकता, ऊष्मीय चालकता, यांत्रिक प्रबलता आदि जैसे इनके भौतिक गुण दिक्‌स्थान में सभी दिशाओं में समान होते हैं।

प्रश्न 3. आण्विक ठोसों में आबंधन बलों (binding forces) की प्रकृति क्या होती है ? दो उदाहरण दीजिए।

उत्तर : आण्विक ठोसों में आबंधन बल वाण्डरवाल का आकर्षण बल होता है जो कि प्राय: दुर्बल बल होता है। नैफ़्थैलीन, आयोडीन आदि आण्विक ठोसों के उदाहरण हैं।

प्रश्न 4. एकक कोष्ठिका में बिन्दु सभी कोनों एवं सभी फलकों पर स्थित हैं। आप इसे क्या नाम देंगे ?

उत्तर : यह कोष्ठिका फलक केन्द्रित घनीय (*fcc*) कोष्ठिका कहलाएगी।

प्रश्न 5. आद्य (Primitive) एकक कोष्ठिका क्या है ?

उत्तर : आद्य एकक कोष्ठिका वह कोष्ठिका है, जिसके सभी कोनों पर बिन्दु स्थित होते हैं।

प्रश्न 6. निविड संकुलित N गोलों में कितने चतुष्फलकीय एवं अष्टफलकीय छिद्र होते हैं ?

उत्तर : चतुष्फलकीय छिद्रों की संख्या = 2N

अष्टफलकीय छिद्रों की संख्या = N.

प्रश्न 7. AgI का क्रिस्टलीकरण जिंक सल्फाइड (ZnS) के प्रकार की घनीय निविड संकुलित संरचना में होता है। चतुष्फलकीय स्थलों का कितना प्रतिशत Ag^+ आयनों द्वारा अध्यासित (occupied) होगा ?

उत्तर : Ag^+ आयनों द्वारा अध्यासित चतुष्फलकीय स्थल 50 प्रतिशत है।

प्रश्न 8. उच्च दाब डालने पर NaCl प्रकार की संरचना पर क्या प्रभाव पड़ता है ?

उत्तर : उच्च दाब डालने पर NaCl संरचना (6 : 6 उप-सहसंयोजन) CsCl संरचना (8 : 8 उप-सहसंयोजन) में परिवर्तित हो जाती है।

प्रश्न 9. NaCl क्रिस्टल में Cl^- आयन, *fcc* व्यवस्था में होते हैं। एकक कोष्ठिका में Cl^- आयनों की संख्या कितनी है ?

उत्तर : NaCl की एकक कोष्ठिका में प्रति एकक कोष्ठिका चार Cl^- आयन है।

प्रश्न 10. फ्रेंकेल एवं शॉट्‌की दोषों में से कौन-सा दोष क्रिस्टल का घनत्व घटा देता है ?

उत्तर : शॉट्‌की दोष क्रिस्टल का घनत्व घटा देता है, क्योंकि जालक से आयन लुप्त हो जाते हैं। फ्रेंकेल दोष में आयन जालक में केवल अपनी स्थिति परिवर्तित करते हैं।

प्रश्न 11. n-प्रकार के अर्द्ध-चालक वैद्युत् चालन कैसे करते हैं ?

उत्तर : n-प्रकार के अर्द्ध-चालकों में वैद्युत् चालन उन इलेक्ट्रॉनों की उपलब्धता के कारण होता है जो आबंधन में भाग नहीं लेते हैं।

प्रश्न 12. सोडियम क्लोराइड के क्रिस्टल का रंग हल्का पीला क्यों होता है ?

उत्तर : आसानी से उत्तेजित होने वाले F-केन्द्र नामक इलेक्ट्रॉनों की उपस्थिति के कारण NaCl क्रिस्टल का रंग हल्का पीला होता है।

प्रश्न 13. अति चालकों की वैद्युत् चालकता ताप के साथ कैसे परिवर्तित होती है ?

उत्तर : ताप में वृद्धि के साथ यह घटती है।

प्रश्न 14. क्या AgCl क्रिस्टल में फ्रेंकेल दोष इसका घनत्व घटाता है ?

उत्तर : फ्रेंकेल दोष AgCl क्रिस्टल का घनत्व नहीं घटाता है, क्योंकि आयन क्रिस्टल जालक को छोड़ते नहीं हैं वरन् किसी अन्य स्थिति पर स्थान ग्रहण कर लेते हैं।

प्रश्न 15. 12-16 यौगिक का एक उदाहरण दीजिए।

उत्तर : यह वर्ग-12 एवं वर्ग-16 के तत्त्वों के संयोजन से बना यौगिक होता है। उदाहरण के लिए—जिंक सल्फाइड (ZnS)।

प्रश्न 16. फलक केन्द्रित घनीय जालक का संकुलन भिन्न (Packing fraction) कितना होता है ?

उत्तर : घनीय निविड संकुलन में अध्यासित दिक्‌स्थान का आयतन या संकुलन भिन्न 0.74 (या, 74%) होता है।

प्रश्न 17. उस क्रिस्टलीय यौगिक का सूत्र क्या है जिसमें सभी आठों कोनों पर परमाणु A होता है और सभी छ: फलकों के केन्द्र पर परमाणु B होता है ?

उत्तर : इसका सूत्र AB_3 है।

प्रश्न 18. सरल घनीय, अन्त: केन्द्रित घनीय एवं फलक केन्द्रित घनीय

जालकों को अध्यासित दिक्स्थान के भिन्न के आरोही (increasing, बढ़ते हुए) क्रम में व्यवस्थित कीजिए।

उत्तर : सरल घनीय < अन्त: केन्द्रित घनीय < फलक केन्द्रित घनीय।

प्रश्न 19. एक ठोस AB में सेंधा नमक (Rock Salt) की संरचना है। एकक कोष्ठिका में A और B के कितने परमाणु उपस्थित हैं ?

उत्तर : प्रति एकक कोष्ठिका A और B दोनों के चार-चार परमाणु हैं।

प्रश्न 20. अष्टफलकीय रिक्ति की उप-सहसंयोजन संख्या (C.N.) कितनी होती है ?

उत्तर : अष्टफलकीय रिक्ति की उप-सहसंयोजन संख्या छ: होती है।

प्रश्न 21. प्रकाश वोल्टीय (Photo-Voltaic) यौगिक क्या है ?

उत्तर : वे यौगिक जो प्रकाश के सामने रखने पर (विद्युत्) धारा उत्पन्न करते हैं, प्रकाश वोल्टीय यौगिक कहलाते हैं।

प्रश्न 22. दाब वैद्युत् (Piezo-electric) क्रिस्टल क्या हैं ?

उत्तर : ये ऐसे क्रिस्टल होते हैं जो यांत्रिक प्रतिबल (mechanical stress) डालने पर वैद्युत् धारा उत्पन्न करते हैं।

प्रश्न 23. $CdCl_2$ एवं NaCl में से कौन-सा AgCl क्रिस्टल में मिलाने पर शॉट्की दोष उत्पन्न करेगा ?

उत्तर : $CdCl_2$ शॉट्की दोष उत्पन्न करेगा।

प्रश्न 24. घनीय क्रिस्टलों में सामान्यत: पाये जाने वाले त्रिविमीय संकुलन के प्रकार बताइए।

उत्तर : सामान्यत: तीन प्रकार के संकुलन होते हैं। ये हैं—सरल, फलक केन्द्रित और अन्त: केन्द्रित।

प्रश्न 25. अन्त: केन्द्रित निविड संकुलित संरचना में प्रत्येक गोले की उप-सहसंयोजन संख्या (C.N.) कितनी होती है ?

उत्तर : प्रत्येक गोले की उप-सहसंयोजन संख्या 8 होती है।

प्रश्न 26. ताप वैद्युत् (Pyroelectricity) कैसे उत्पन्न होता है ?

उत्तर : यह सूक्ष्म वैद्युत् धारा होती है जो ध्रुवीय क्रिस्टलों को गर्म करके उत्पन्न की जाती है।

प्रश्न 27. क्रिस्टलों में कितने प्रकार के स्टाइकियोमिट्री दोष पाये जाते हैं ?

उत्तर : ये दो प्रकार के होते हैं—फ्रेंकेल एवं शॉट्की दोष।

प्रश्न 28. सिलिकॉन को आरसेनिक से डोपित करने पर किस प्रकार का अर्द्ध-चालक बनता है ?

उत्तर : यह n-प्रकार का अर्द्ध-चालक होता है, क्योंकि प्रत्येक सिलिकॉन परमाणु का एक इलेक्ट्रॉन ऐसा होता है, जो आबंधन में भाग नहीं लेता है।

प्रश्न 29. क्षारकीय धातु हैलाइडों को, जो कि अन्यथा (otherwise) रंगहीन होती हैं, कभी-कभी रंगीन कैसे बनाता है ?

उत्तर : इलेक्ट्रॉनों द्वारा भरी जाने वाली ऋणायन रिक्तियों के कारण उत्पन्न धातु आधिक्य दोष के कारण ऐसा होता है।

प्रश्न 30. क्रिस्टलीय ठोसों की वैद्युत् चालकता पर फ्रेंकेल दोष का क्या प्रभाव पड़ता है ?

उत्तर : उत्पन्न हुई रिक्तियों के कारण यह (चालकता) बढ़ जाती है।

प्रश्न 31. क्रिस्टलों में उत्पन्न होने वाली दो प्रकार की नॉन-स्टॉइकियोमीट्री दोषों का नाम बताइए।

उत्तर : ये धातु आधिक्य एवं धातु न्यूनता दोष हैं।

प्रश्न 32. क्रिस्टलों में विस्थापन (dislocation) क्या है ?

उत्तर : ये वे दोष होते हैं जो क्रिस्टल जालक में विभिन्न तलों के अशुद्ध अभिविन्यास (improper orientation) से उत्पन्न होते हैं।

प्रश्न 33. अन्तराकाशी ठोस कैसे बनते हैं ?

उत्तर : जब क्रिस्टल जालक के रिक्त स्थान, जिसे अन्तराकाश कहते हैं। हाइड्रोजन (H), बोरान (B), कार्बन (C), नाइट्रोजन (N) आदि जैसे लघु परमाणुओं से पूरित (filled) होते हैं तब अन्तराकाशी ठोस बनते हैं।

प्रश्न 34. किस तापक्रम पर अधिकांश धातुएँ अतिचालक बन जाती हैं? (Haryana Board 2005)

उत्तर : 0.1K से 10K ताप के बीच।

प्रश्न 35. किसी तत्त्व की *hcp* क्रिस्टल संरचना के इकाई सैल में परमाणुओं की अधिकतम संख्या कितनी होती है ? (D.S.B. 2005)

उत्तर : बारह होती है।

प्रश्न 36. CaF_2 क्रिस्टल जालक में Ca^{2+} एवं F^- आयनों की उप-सहसंयोजन संख्या कितनी होती है ?

उत्तर : Ca^{2+} आयन की उप-सहसंयोजन संख्या = 8 एवं F^- आयन की उप-सहसंयोजन संख्या = 4 होती है।

प्रश्न 37. फलक केन्द्रित एकक कोष्ठिका में कितने कण होते हैं ?

उत्तर : प्रत्येक एकक कोष्ठिका में चार कण होते हैं।

प्रश्न 38. क्षारकीय धातुओं को रंगीन बनाने के लिए उत्तरदायी नॉन-स्टॉइकियोमीट्री बिन्दु दोष का नाम बताइए।

उत्तर : इसे धातु आधिक्य दोष कहते हैं। क्षारकीय धातुओं को रंगीन बनाने के लिए उत्तरदायी इलेक्ट्रॉन F-केन्द्र कहलाते हैं।

प्रश्न 39. उस घनीय एकक कोष्ठिका में कितने परमाणु होते हैं जिसके प्रत्येक कोने पर एक परमाणु और प्रत्येक अन्त: विकर्ण पर दो परमाणु होते हैं ?

उत्तर : घनीय एकक कोष्ठिका के चार अन्त: विकर्णों पर स्थित परमाणुओं का कुल योगदान $8(4 \times 2 = 8)$ एवं कोनों पर स्थित परमाणुओं का योगदान 1 होता है। अत: उपस्थित परमाणुओं की कुल संख्या 9 होती है।

प्रश्न 40. शॉट्की दोष के कारण किसी क्रिस्टल का घनत्व कैसे परिवर्तित होता है ?

उत्तर : क्रिस्टल का घनत्व घटता है, क्योंकि जालक से कुछ आयन लुप्त हो जाते हैं।

प्रश्न 41. NaCl के क्रिस्टल का रंग पीला दिखाई दे रहा है, इसका कारण लिखिए।

उत्तर: NaCl क्रिस्टल को जब Na वाष्प के साथ गर्म किया जाता है तो उसमें धातु आधिक्य दोष उत्पन्न होता है, इस कारण उसका रंग पीला दिखाई दे रहा है।

प्रश्न 42. घनीय निबिड़ संकुलित संरचना (ccp) की संकुलन क्षमता लिखिए।

उत्तर: ccp संरचना में संकुलन क्षमता = 74%

प्रश्न 43. n- प्रकार के अर्धचालक को परिभाषित कीजिए।

उत्तर: यदि किसी अचालक पदार्थ में उसके परमाणु से अधिक संयोजकता के परमाणु का अपमिश्रण (डोपिंग) किया जाता है तो जालक में अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन के कारण ऋणआवेशित (negative) छिद्र

बन जाता है, जिससे उसमें कुछ चालकता उत्पन्न हो जाती है, यह पदार्थ n- प्रकार का अर्द्धचालक कहलाता है।
Si में P का अपमिश्रण इसका उदाहरण है।

प्रश्न 44. एक परमाणु की त्रिज्या 220pm है। यदि इसका क्रिस्टल फलक केन्द्रित घनीय (fcc) एकक कोष्ठिका में होता है तो इकाई सैल की भुजा क्या होगी?

उत्तर: फलक केन्द्रित घनीय (fcc) एकक कोष्ठिका में

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

$$a = 2\sqrt{2}\, r$$
$$= 2 \times 1.414 \times 220\,\text{pm}$$
$$= 622.16\,\text{pm}$$

प्रश्न 45. एक क्रिस्टल में उपस्थित अष्टफलकीय और चतुष्फलकीय रिक्तियों की त्रिज्या का अनुपात क्या होगा?

उत्तर: यदि क्रिस्टल में उपस्थित परमाणु की त्रिज्या R हो तो
अष्टफलकीय रिक्ति की त्रिज्या $r_1 = 0.414\,R$
चतुष्फलकीय रिक्ति की त्रिज्या $r_2 = 0.225R$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{0.414R}{0.225R} = 1.84$$

प्रश्न 46. सौर सैल (Photo cell) क्या है?

उत्तर: प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलने के लिए फोटो सैल (सौर सेल) का उपयोग किया जाता है। अक्रिस्टलीय सिलिकॉन (Amorphous Silicon) एक सौर सैल की तरह कार्य करता है।

प्रश्न 47. फॉस्फोरस अपमिश्रित और गैलियम अपमिश्रित सिलिकॉन अर्द्धचालकों में क्या अन्तर है?

उत्तर: फास्फोरस अपमिश्रित सिलिकॉन n- प्रकार का अर्द्धचालक है, जबकि गैलियम अपमिश्रित सिलिकॉन p- प्रकार का अर्द्धचालक है।

प्रश्न 48. एक निबिड़ संकुलित संरचना में N गोले हैं। इस संरचना में कितनी चतुष्फलकीय और अष्टफलकीय रिक्तियाँ होगी?

उत्तर: चतुष्फलकीय रिक्तियाँ = 2N
अष्टफलकीय रिक्तियाँ = N

प्रश्न 49. पुरानी इमारतों की खिड़कियों के काँच दूधिया दिखाई देते हैं। क्यों?

उत्तर: पुरानी इमारतों में खिड़कियों के काँच बरसों तक दिन में धूप के कारण गर्म होते हैं और रात्रि में ठंडे। इस प्रकार गर्म ठंडे होने का कारण काँच में कुछ क्रिस्टलन हो जाता है, और वे दूधिया दिखाई देने लगते हैं।

प्रश्न 50. एक यौगिक घनीय जालक के रूप में XYZ परमाणुओं से बना है। X परमाणु एक कोने को छोड़कर सभी कोनों पर उपस्थित हैं, जबकि Y परमाणु इस एक कोने पर स्थित है। Z परमाणु सभी फलक केन्द्रों पर उपस्थित हैं। इस यौगिक का सूत्र क्या होगा?

उत्तर: X परमाणुओं की संख्या = $7 \times \frac{1}{8} = \frac{7}{8}$

Y परमाणुओं की संख्या = $1 \times \frac{1}{8} = \frac{1}{8}$

Z परमाणुओं की संख्या = $6 \times \frac{1}{2} = 3$

अत: यौगिक का सूत्र = $X_{7/8}Y_{1/8}Z_3$
$= X_7YZ_{24}$