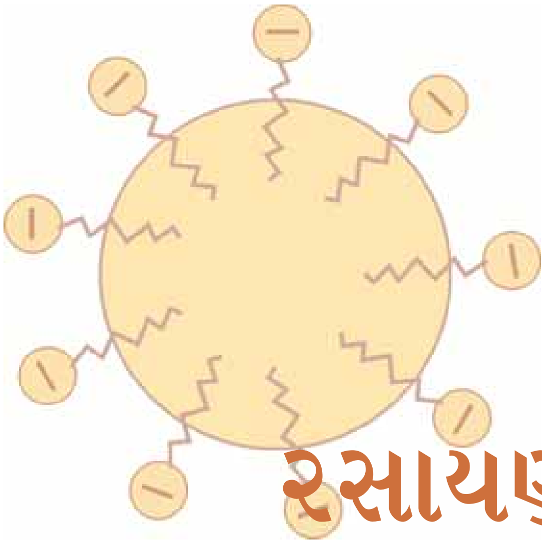


રસાયણવિજ્ઞાન

ભાગ I

ધોરણ XII

ગુજરાત રાજ્યના શિક્ષણવિભાગના પત્ર-ક્રમાંક
મશબ/1219/119-125/છ, તા.16/02/2019–થી મંજૂર

રસાયણવિજ્ઞાન

ભાગ I

ધોરણ XII

પ્રતિજ્ઞાપત્ર

ભારત મારો દેશ છે.
બધાં ભારતીયો મારાં ભાઈબહેન છે.
હું મારા દેશને ચાહું છું અને તેના સમૃદ્ધ અને
વૈવિધ્યપૂર્ણ વારસાનો મને ગર્વ છે.
હું સદાય તેને લાયક બનવા પ્રયત્ન કરીશ.
હું મારાં માતાપિતા, શિક્ષકો અને વડીલો પ્રત્યે આદર રાખીશ
અને દરેક જણ સાથે સભ્યતાથી વર્તીશ.
હું મારા દેશ અને દેશબાંધવોને મારી નિષ્ઠા અર્પું છું.
તેમનાં કલ્યાણ અને સમૃદ્ધિમાં જ મારું સુખ રહ્યું છે.

કિંમત : ₹ 153.00

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्
NATIONAL COUNCIL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND TRAINING

ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ
'વિદ્યાયન', સેક્ટર 10-એ, ગાંધીનગર-382010

© NCERT, નવી દિલ્લી તથા ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ, ગાંધીનગર
આ પાઠ્યપુસ્તકના સર્વ હક NCERT, નવી દિલ્લી તથા ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળને હસ્તક છે. આ પાઠ્યપુસ્તકનો કોઈ પણ ભાગ કોઈ પણ રૂપમાં NCERT, નવી દિલ્લી અને ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળની લેખિત પરવાનગી વગર પ્રકાશિત કરી શકાશે નહિ.

અનુવાદ

ડૉ. આઇ. એમ. ભટ્ટ
ડૉ. મયૂર સી. શાહ

સમીક્ષા

પ્રો. ડી. પી. પટેલ
શ્રી સી. આઈ. પટેલ
શ્રી એ. આઈ. પટેલ
શ્રી એ. એસ. પટેલ
શ્રી જયદેવ વાય. મહેતા
શ્રી આઈ. એચ. કુરેશી
શ્રી એચ. એમ. પટેલ
શ્રી મુકેશ બી. પટેલ
શ્રી નીરવ એન. શાહ
શ્રી શેખર બી. ગોર
શ્રી નરેશ પી. બોહરા
શ્રી કિરણ કે પુરોહિત
શ્રી દિપક એમ. પટેલ
શ્રી મિતેષ એચ. પંચોલી

ભાષાશુદ્ધિ

ડૉ. અજય એમ. રાવલ

સંયોજન

ડૉ. ચિરાગ એચ. પટેલ
(વિષય-સંયોજક : ભૌતિકવિજ્ઞાન)

નિર્માણ-સંયોજન

શ્રી હરેન શાહ
(નાયબ નિયામક : શૈક્ષણિક)

મુદ્રણ-આયોજન

શ્રી હરેશ એસ. લીમ્બાચીયા
(નાયબ નિયામક : ઉત્પાદન)

પ્રસ્તાવના

રાષ્ટ્રીય સ્તરે સમાન અભ્યાસક્રમ રાખવાની સરકારશ્રીની નીતિના અનુસંધાને ગુજરાત સરકાર તથા ગુજરાત માધ્યમિક અને ઉચ્ચતર માધ્યમિક શિક્ષણ બોર્ડ દ્વારા તા. 25/10/2017ના ઠરાવ ક્રમાંક મશભ/1217/1036/છ થી શાળા કક્ષાએ NCERTના પાઠ્યપુસ્તકોનો સીધો જ અમલ કરવાનો નિર્ણય કરવામાં આવ્યો. તેને અનુલક્ષીને NCERT, નવી દિલ્હી દ્વારા પ્રકાશિત **ધોરણ XII**ના **રસાયણવિજ્ઞાન (ભાગ I)** વિષયના પાઠ્યપુસ્તકનો ગુજરાતીમાં અનુવાદ કરીને વિદ્યાર્થીઓ સમક્ષ મૂકતાં ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ આનંદ અનુભવે છે.

આ પાઠ્યપુસ્તકનો અનુવાદ તથા તેની સમીક્ષા નિષ્ણાત પ્રાધ્યાપકો અને શિક્ષકો પાસે કરાવવામાં આવ્યા છે અને સમીક્ષકોનાં સૂચનો અનુસાર હસ્તપ્રતમાં યોગ્ય સુધારા-વધારા કર્યા પછી આ પાઠ્યપુસ્તક પ્રસિદ્ધ કરતાં પહેલા આ પાઠ્યપુસ્તકની મંજૂરી માટે એક સ્ટેટ લેવલની કમિટીની રચના કરવામાં આવી. આ કમિટીની સાથે NCERTના પ્રતિનિધિ તરીકે RIE, ભોપાલથી ઉપસ્થિત રહેલા નિષ્ણાતોની સાથે એક દ્વિદિવસીય કાર્યશિબિરનું આયોજન કરવામાં આવ્યું અને પાઠ્યપુસ્તકને અંતિમ સ્વરૂપ આપવામાં આવ્યું. જેમાં, ડૉ. એસ. કે. મકવાણા (RIE, ભોપાલ), ડૉ. કલ્પના મસ્કી (RIE, ભોપાલ), ડૉ. આઇ. એમ. ભટ્ટ, ડૉ. મયૂર સી. શાહ, શ્રી સી. આઇ. પટેલ, શ્રી નરેશ પી. બોહરા, શ્રી નીરવ એન. શાહ અને શ્રી દિપક એમ. પટેલે ઉપસ્થિત રહી પોતાના કીમતી સૂચનો અને માર્ગદર્શન પૂરા પાડ્યા છે.

પ્રસ્તુત પાઠ્યપુસ્તકને રસપ્રદ, ઉપયોગી અને ક્ષતિરહિત બનાવવા માટે મંડળ દ્વારા પૂરતી કાળજી લેવામાં આવી છે, તેમ છતાં શિક્ષણમાં રસ ધરાવનાર વ્યક્તિઓ પાસેથી ગુણવત્તા વધારે તેવાં સૂચનો આવકાર્ય છે.

NCERT, નવી દિલ્લીના સહકાર બદલ તેમના આભારી છીએ.

અવંતિકા સિંઘ (IAS)	કાર્યવાહક પ્રમુખ
નિયામક	ગાંધીનગર

તા. 03-04-2019

પ્રથમ આવૃત્તિ : 2019

પ્રકાશક : ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ, 'વિદ્યાયન', સેક્ટર 10-એ, ગાંધીનગર વતી, અવંતિકા સિંઘ, નિયામક

મુદ્રક :

FOREWORD

The National Curriculum Framework (NCF), 2005 recommends that children's life at school must be linked to their life outside the school. This principle marks a departure from the legacy of bookish learning which continues to shape our system and causes a gap between the school, home and community. The syllabi and textbooks developed on the basis of NCF signify an attempt to implement this basic idea. They also attempt to discourage rote learning and the maintenance of sharp boundaries between different subject areas. We hope these measures will take us significantly further in the direction of a child-centred system of education outlined in the National Policy on Education (1986).

The success of this effort depends on the steps that school principals and teachers will take to encourage children to reflect on their own learning and to pursue imaginative activities and questions. We must recognise that, given space, time and freedom, children generate new knowledge by engaging with the information passed on to them by adults. Treating the prescribed textbook as the sole basis of examination is one of the key reasons why other resources and sites of learning are ignored. Inculcating creativity and initiative is possible if we perceive and treat children as participants in learning, not as receivers of a fixed body of knowledge.

These aims imply considerable change in school routines and mode of functioning. Flexibility in the daily time-table is as necessary as rigour in implementing the annual calender so that the required number of teaching days are actually devoted to teaching. The methods used for teaching and evaluation will also determine how effective this textbook proves for making children's life at school a happy experience, rather than a source of stress or boredom. Syllabus designers have tried to address the problem of curricular burden by restructuring and reorienting knowledge at different stages with greater consideration for child psychology and the time available for teaching. The textbook attempts to enhance this endeavour by giving higher priority and space to opportunities for contemplation and wondering, discussion in small groups, and activities requiring hands-on experience.

The National Council of Educational Research and Training (NCERT) appreciates the hard work done by the textbook development committee responsible for this book. We wish to thank the Chairperson of the advisory group in science and mathematics, Professor J.V. Narlikar and the Chief Advisor for this book, Professor B. L. Khandelwal for guiding the work of this committee.

Several teachers contributed to the development of this textbook; we are grateful to their principals for making this possible. We are indebted to the institutions and organisations which have generously permitted us to draw upon their resources, material and personnel. As an organisation committed to systemic reform and continuous improvement in the quality of its products, NCERT welcomes comments and suggestions which will enable us to undertake further revision and refinement.

Director
National Council of Educational
Research and Training

New Delhi
20 November 2006

PREFACE

Chemistry has made a profound impact on the society. It is intimately linked to the well-being of human kind. The rate of advancements in chemistry is so high that curriculum developers continuously look for strategies to cope with these advancements. Also, the students have to be inspired to be the future leaders who would make fundamental contributions. The present textbook is a sincere effort in this direction.

The structure of the textbook, presented in two parts, comprises of sixteen Units. Although the titles of various Units indicate a sort of compartmentalisation into physical, inorganic and organic chemistry, readers will find that these sub-disciplines have been intermingled, at least to a certain extent, to have a unified approach to the subject. The approach of presentation of the subject matter discourages students from rote memorisation. The subject has in fact, been organised around the laws and principles of chemistry. As students master these laws and principles, they will soon get to the point where they can predict much of what will come.

Efforts have been directed towards making the subject stimulating and exciting by references to the historical developments and its usefulness to our lives, wherever appropriate. The text is well illustrated with examples from surrounding environment to facilitate grasping of the qualitative and quantitative aspects of the concept easily. Physical data are given in SI units throughout the book to make comparison of various properties easier. IUPAC system of nomenclature has been followed along with the common system. Structural formulae of chemical compounds showing functional/coordinating groups in different colours are drawn using electronic system. Each Unit has a good number of examples, as illustrations, with their solutions and some intext questions, the answers of some of which are given at the end of the Unit. The end of Unit exercises are designed to apply important principles and provoke thinking process to solve them. Answers of some of these exercises are given at the end of the book.

A variety of materials, e.g., biographical sketches of some scientists, additional information related to a particular topic, etc., is given in boxes with a deep yellow coloured bar. This boxed material with a 'deep yellow bar' is to bring additional life to the topic. However, it is non-evaluative. The structures of some of the more complex compounds incorporated in the book are for understanding their chemistry. As their reproduction would lead to memorisation, it is also a non-evaluative portion of the text.

The information part has been significantly reduced and, wherever possible, it has been substantiated with facts. However, it is necessary for students to

be aware of commercially important chemicals, their process of manufacture and sources of raw materials. This leads to descriptive material in the book. Attempts have been made to make descriptions of such compounds interesting by considering their structures and reactivity. Thermodynamics, kinetics and electrochemical aspects have been applied to chemical reactions which should be beneficial to students for understanding why a particular reaction happened and why a particular property is exhibited by the product. There is currently great awareness of environmental and energy issues which are directly related to chemistry. Such issues have been highlighted and dealt with at appropriate places in the book.

A team of experts constituted by the NCERT has developed the manuscript of the book. It gives me great pleasure to acknowledge the valuable contribution of all the members of this team. I also acknowledge the valuable and relentless contribution of the editors in bringing the book to the present shape. I also acknowledge with thanks the dedicated efforts and valuable contribution of Professor Brahm Parkash, who not only coordinated the entire programme but also actively involved in writing and editing of this book. Thanks are also due to the participating teachers and subject experts of the review workshop for their contribution, which has helped us to make the book learner friendly. Also, I thank the technical and administrative staff of the NCERT for their support in the entire process.

The team of this textbook development programme hopes that the book stimulates its readers and makes them feel the excitement and fascination for this subject. Efforts have been made to bring out this book error-free. Nevertheless, it is recognised that in such a book of complexity, there could inevitably be occasional errors. It will always be a pleasure to hear about them from readers to take necessary steps to rectify them.

B.L. KHANDELWAL

Textbook Development Committee

Chairman, Advisory Group for Textbooks in Science and Mathematics

J.V. Narlikar, *Professor Emeritus*, Chairman, Advisory Committee, Inter University Centre for Astronomy and Astrophysics (IUCAA), Ganeshkhind, Pune University Campus, Pune

Chief Advisor

B.L. Khandelwal, *Professor*, *Director*, Disha Institute of Management and Technology, Raipur, Chhattisgarh. Formerly *Chairman*, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology, New Delhi

Members

A.S. Brar, *Professor*, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology, New Delhi

A.Q. Contractor, *Professor*, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology, Powai, Mumbai

Alka Mehrotra, *Reader*, DESM, NCERT, New Delhi

Anjni Koul, *Lecturer*, DESM, NCERT, New Delhi

Brahm Parkash, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

I.P. Agarwal, *Professor*, DESM, Regional Institute of Education, NCERT, Bhopal, M.P.

K.K. Arora, *Reader*, Department of Chemistry, Zakir Hussain College, University of Delhi, New Delhi

K.N. Upadhayaya, *Head* (Retired), Department of Chemistry, Ramjas College, Delhi University, Delhi

Kavita Sharma, *Lecturer*, DEE, NCERT, New Delhi

M.P. Mahajan, *Professor*, Department of Chemistry, Guru Nanak Dev University, Amritsar, Punjab

M.L. Agarwal, *Principal* (Retired), Kendriya Vidyalaya, Jaipur, Rajasthan

Puran Chand, *Professor*, *Joint Director* (Retired), CIET, NCERT, New Delhi

R.A. Verma, *Vice Principal*, Shaheed Basant Kumar Biswas Sarvodaya Vidyalaya, Civil Lines, New Delhi

R.K. Verma, *Professor*, Department of Chemistry, Magadh University, Bihar

R.K. Prashar, *Lecturer*, DESM, NCERT, New Delhi

R.S. Sindhu, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

S.K. Gupta, *Reader*, School of Studies in Chemistry, Jiwaji University, Gwalior, M.P.

S.K. Dogra, *Professor*, Dr B.R. Ambedkar Centre for Biomedical Research, University of Delhi, Delhi

Sarabjeet Sachdeva, *PGT*, (Chemistry), St. Columbas School, New Delhi

S. Badhwar, *Lecturer*, The Daly College, Indore, M.P.

V.N. Pathak, *Professor*, Department of Chemistry, University of Rajasthan, Jaipur, Rajasthan

Vijay Sarda, *Reader*, Department of Chemistry, Zakir Hussain College, University of Delhi, New Delhi

V.K. Verma, *Professor*, (Retired), Institute of Technology, Banaras Hindu University, Varanasi, U.P.

V.P. Gupta, *Professor*, DESM, Regional Institute of Education, NCERT, Bhopal, M.P.

EDITORIAL COMMITTEE

B.L. Khandelwal

Brahm Parkash

K.N. Upadhayaya

K.K. Arora

R.S. Sindhu

Vijay Sarda

MEMBER-COORDINATOR

Brahm Parkash, *Professor*, DESM, NCERT, New Delhi

ACKNOWLEDGEMENTS

The National Council of Educational Research and Training (NCERT) gratefully acknowledges the valuable contributions of the individuals and organisations involved in the development of Chemistry textbook for Class XII. The acknowledgements are also due to the following practicing teachers and subject experts for reviewing the draft manuscript and giving useful suggestions for its improvement in a workshop: Dr D.S. Rawat, Department of Chemistry, University of Delhi, Delhi; Dr Mahendra Nath, *Reader,* Chemistry Department, University of Delhi, Delhi; Dr Sulekh Chandra, *Reader,* Zakir Hussain College, New Delhi; Ms Ameeta K., *PGT* (Chemistry), Vidyalaya No. 3, Patiala Cantt (Pb.); Dr G.T. Bhandge, *Professor and Head,* DESM, Regional Institute of Education, Mysore; Dr Neeti Mishra, *Senior Lecturer,* Department of Chemistry, Acharya Narendra Dev College, New Delhi; Dr. S.P.S. Mehta, Department of Chemistry, Kumaun University, Nainital (UA); Dr N.V.S. Naidu, *Assistant Professor* (Chemistry), SVU College of Mathematics and Physical Sciences, S.V. University, Tirupati (A.P.); Dr A.C. Handa, Hindu College, Delhi University, Delhi; Dr A.K. Vashishtha, G.B.S.S.S. Jafrabad, Delhi; Dr Charanjit Kaur, *Head,* Department of Chemistry, Sri Sathya Sai College for Women, Bhopal, P.O. Habibganj; Ms Alka Sharma, *PGT* (Chemistry), S.L.S. DAV Public School, Mausam Vihar, Delhi; Dr H.H. Tripathy, *Reader* (Retired), Regional Institute of Education, Bhubaneswar; Shri C.B. Singh, *PGT* (Chemistry), Kendriya Vidyalaya No. 2, Delhi Cantt, Delhi; Dr Neeti Mishra and Dr Sunita Hooda, Acharya Narendra Dev College, Delhi University, New Delhi.

The Council also thanks the Members of Editorial Committee for their unrelenting efforts in editing the manuscript and bringing it to the present shape.

The Council also acknowledges the contribution of Shri Vijay Singh, *Shri Narender Kr. Verma, DTP Operator;* Dr K.T. Chitralekha, *Copy Editor;* Shri Abhimanyu Mohanty, *Proof Reader;* Shri Deepak Kapoor, *Incharge,* Computer Station in shaping this book.

THE CONSTITUTION OF INDIA

PREAMBLE

WE, THE PEOPLE OF INDIA, having solemnly resolved to constitute India into a [1][**SOVEREIGN SOCIALIST SECULAR DEMOCRATIC REPUBLIC**] and to secure to all its citizens :

JUSTICE, social, economic and political;

LIBERTY of thought, expression, belief, faith and worship;

EQUALITY of status and of opportunity; and to promote among them all

FRATERNITY assuring the dignity of the individual and the [2][unity and integrity of the Nation];

IN OUR CONSTITUENT ASSEMBLY this twenty-sixth day of November, 1949 do **HEREBY ADOPT, ENACT AND GIVE TO OURSELVES THIS CONSTITUTION.**

---

1. Subs. by the Constitution (Forty-second Amendment) Act, 1976, Sec.2, for "Sovereign Democratic Republic" (w.e.f. 3.1.1977)
2. Subs. by the Constitution (Forty-second Amendment) Act, 1976, Sec.2, for "Unity of the Nation" (w.e.f. 3.1.1977)

અનુક્રમણિકા

	Foreword		v
	Preface		vii
એકમ-1 :	**ઘન અવસ્થા**		**1**
	1.1	ઘન અવસ્થાની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ	2
	1.2	અસ્ફટિકમય અને સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો	2
	1.3	સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોનું વર્ગીકરણ	4
	1.4	સ્ફટિક લેટિસ અને એકમ કોષ	7
	1.5	એકમ કોષમાં પરમાણુઓની સંખ્યા	12
	1.6	સંવૃત સંકુલિત રચનાઓ	14
	1.7	સંકુલન ક્ષમતા	20
	1.8	એકમ કોષ પરિમાણ સમાવિષ્ટ ગણતરીઓ	22
	1.9	ઘનમાં અપૂર્ણતા	24
	1.10	વિદ્યુતીય ગુણધર્મો	26
	1.11	ચુંબકીય ગુણધર્મો	29
એકમ-2 :	**દ્રાવણો**		**35**
	2.1	દ્રાવણોના પ્રકાર	35
	2.2	દ્રાવણોની સાંદ્રતાની અભિવ્યક્તિ	36
	2.3	દ્રાવ્યતા	39
	2.4	પ્રવાહી દ્રાવણોનું બાષ્પદબાણ	43
	2.5	આદર્શ અને બિનઆદર્શ દ્રાવણો	47
	2.6	સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો અને મોલરદળનું નિર્ધારણ	49
	2.7	અસામાન્ય મોલરદળ	57
એકમ-3 :	**વિદ્યુત-રસાયણવિજ્ઞાન**		**65**
	3.1	વિદ્યુતરસાયણિક કોષ	66
	3.2	ગેલ્વેનિક કોષ	67
	3.3	નર્ન્સ્ટ સમીકરણ	70
	3.4	વિદ્યુતવિભાજ્યનાં દ્રાવણોની વાહકતા	75
	3.5	વિદ્યુતવિભાજ્ય કોષ અને વિદ્યુતવિભાજન	85
	3.6	બૅટરી	88

	3.7 બળતણ કોષ	90
	3.8 ક્ષારણ	91
એકમ-4 :	**રાસાયણિક ગતિકી**	**95**
	4.1 રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ	96
	4.2 પ્રક્રિયા વેગને અસર કરતાં પરિબળો	100
	4.3 સંકલિત વેગ સમીકરણ	105
	4.4 પ્રક્રિયા વેગનો તાપમાન પર આધાર	112
	4.5 રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો સંઘાત (અથડામણ) સિદ્ધાંત	116
એકમ-5 :	**પૃષ્ઠ રસાયણ વિજ્ઞાન**	**123**
	5.1 અધિશોષણ	124
	5.2 ઉદ્દીપન	129
	5.3 કલિલ	136
	5.4 કલિલનું વર્ગીકરણ	136
	5.5 પાયસ (ઇમલ્ઝન)	145
	5.6 આપણી આસપાસ (ચોપાસ) કલિલ	145
એકમ-6 :	**તત્ત્વોના અલગીકરણ માટેના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પ્રક્રમો**	**149**
	6.1 ધાતુઓના પ્રાપ્તિસ્થાન	152
	6.2 અયસ્કનું સંકેન્દ્રણ	153
	6.3 સંકેન્દ્રિત અયસ્કમાંથી અપરિષ્કૃત (અશુદ્ધ) ધાતુનું નિષ્કર્ષણ	155
	6.4 ધાતુકર્મ વિધિના ઉષ્માગતિય સિદ્ધાંતો	156
	6.5 ધાતુકર્મ વિધિના વિદ્યુતરાસાયણિક સિદ્ધાંતો	162
	6.6 ઑક્સિડેશન - રિડક્શન	163
	6.7 શુધ્ધીકરણ (પરિષ્કરણ)	164
	6.8 ઍલ્યુમિનિયમ, કૉપર, ઝિંક અને આયર્નના ઉપયોગો	166
એકમ-7 :	***p*-વિભાગનાં તત્ત્વો**	**170**
	7.1 સમૂહ 15નાં તત્ત્વો	170
	7.2 ડાયનાઇટ્રોજન	174
	7.3 એમોનિયા	175
	7.4 નાઇટ્રોજનના ઑક્સાઇડ સંયોજનો	177
	7.5 નાઇટ્રિક ઍસિડ	179
	7.6 ફૉસ્ફરસ - અપરરૂપો	180
	7.7 ફોસ્ફીન	181
	7.8 ફૉસ્ફરસ હેલાઇડ સંયોજનો	182
	7.9 ફૉસ્ફરસના ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો	184

	7.10	સમૂહ 16નાં તત્ત્વો	185
	7.11	ડાયઑક્સિજન	189
	7.12	સાદા ઑક્સાઇડ સંયોજનો	190
	7.13	ઓઝોન	191
	7.14	સલ્ફર-અપરરૂપો	192
	7.15	સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ	193
	7.16	સલ્ફરના ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો	194
	7.17	સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ	195
	7.18	સમૂહ17નાં તત્ત્વો	197
	7.19	ક્લોરિન	202
	7.20	હાઈડ્રોજન ક્લોરાઇડ	204
	7.21	હેલોજન તત્ત્વોના ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો	205
	7.22	આંતરહેલોજન સંયોજનો	206
	7.23	સમૂહ 18નાં તત્ત્વો	208
એકમ-8 :	***d* અને *f* વિભાગનાં તત્ત્વો**		**215**
	8.1	આવર્તકોષ્ટકમાં સ્થાન	216
	8.2	*d*-વિભાગનાં તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના	216
	8.3	સંક્રાંતિ તત્ત્વોના (*d*-વિભાગ) સામાન્ય ગુણધર્મો	218
	8.4	સંક્રાંતિ તત્ત્વોના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો	231
	8.5	લેન્થેનોઇડ્સ	234
	8.6	ઍક્ટિનોઇડ્સ	237
	8.7	*d* અને *f*-વિભાગનાં તત્ત્વોના કેટલાક અનુપ્રયોગો	239
એકમ-9 :	**સવર્ગ સંયોજનો**		**244**
	9.1	સવર્ગ સંયોજનોનો વર્નરનો સિદ્ધાંત	244
	9.2	સવર્ગ સંયોજનોને લગતા કેટલાક અગત્યના પર્યાયોની વ્યાખ્યાઓ	247
	9.3	સવર્ગ સંયોજનોનું નામકરણ	248
	9.4	સવર્ગ સંયોજનોમાં સમઘટકતા	251
	9.5	સવર્ગ સંયોજનોમાં બંધન	254
	9.6	ધાતુ કાર્બોનિલમાં બંધન	261
	9.7	સવર્ગ સંયોજનોની ઉપયોગિતા અને અનુપ્રયોગો	262
પરિશિષ્ટ			**268**
સ્વાધ્યાયમાંના કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો			**281**
પારિભાષિક શબ્દો			**285**

Constitution of India

Part IV A (Article 51 A)

Fundamental Duties

It shall be the duty of every citizen of India —

(a) to abide by the Constitution and respect its ideals and institutions, the National Flag and the National Anthem;

(b) to cherish and follow the noble ideals which inspired our national struggle for freedom;

(c) to uphold and protect the sovereignty, unity and integrity of India;

(d) to defend the country and render national service when called upon to do so;

(e) to promote harmony and the spirit of common brotherhood amongst all the people of India transcending religious, linguistic and regional or sectional diversities; to renounce practices derogatory to the dignity of women;

(f) to value and preserve the rich heritage of our composite culture;

(g) to protect and improve the natural environment including forests, lakes, rivers, wildlife and to have compassion for living creatures;

(h) to develop the scientific temper, humanism and the spirit of inquiry and reform;

(i) to safeguard public property and to abjure violence;

(j) to strive towards excellence in all spheres of individual and collective activity so that the nation constantly rises to higher levels of endeavour and achievement;

*(k) who is a parent or guardian, to provide opportunities for education to his child or, as the case may be, ward between the age of six and fourteen years.

Note: The Article 51A containing Fundamental Duties was inserted by the Constitution (42nd Amendment) Act, 1976 (with effect from 3 January 1977).

*(k) was inserted by the Constitution (86th Amendment) Act, 2002 (with effect from 1 April 2010).

એકમ

1

ઘન અવસ્થા (The Solid State)

હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

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

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

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

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

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

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

(i) તેમને નિશ્ચિત દળ, કદ અને આકાર હોય છે.

(ii) આંતરઆણ્વીય અંતર ટૂંકા હોય છે.

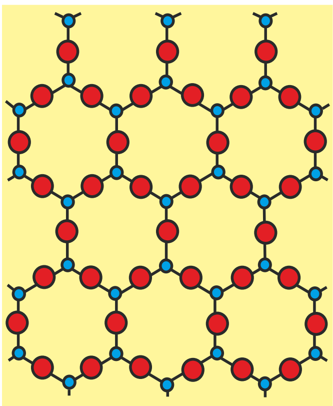
(iii) આંતરઆણ્વીય બળ પ્રબળ હોય છે.

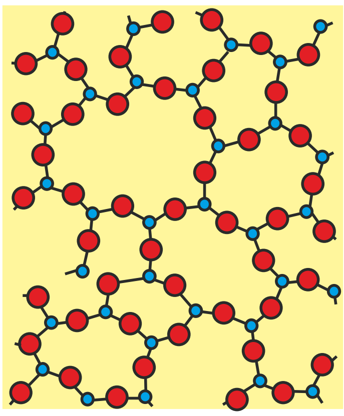
(iv) તેમના ઘટક કણો(પરમાણુ, અણુ અથવા આયન)ને નિશ્ચિત સ્થાન હોય છે અને તેમની મધ્ય (સરેરાશ) સ્થિતિની આસપાસ દોલન કરે છે.

(v) તે અસંકોચનીય (incompressible) અને દૃઢ હોય છે.

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

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


(a)

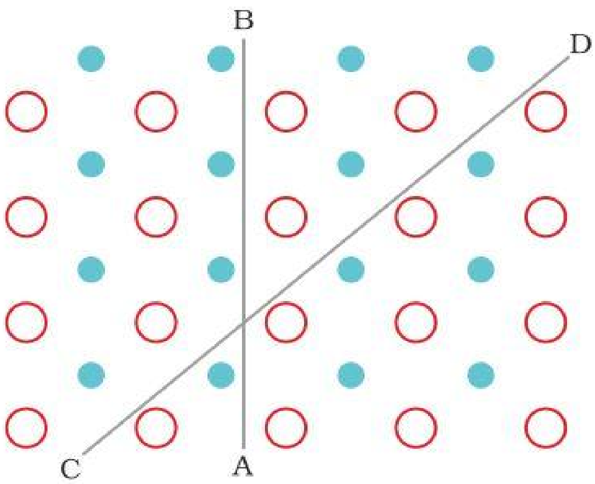

(b)

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

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

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

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



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

કોષ્ટક 1.1 : સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘનપદાર્થો વચ્ચે તફાવત

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

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

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

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

લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

1.1 ઘન પદાર્થો શા માટે દૃઢ હોય છે ?

1.2 ઘન પદાર્થોને શા માટે નિશ્ચિત આકાર હોય છે ?

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

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

1.3 સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થનું વર્ગીકરણ (Classification of Crystalline Solids)

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

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

1.3.1 આણ્વીય ઘનપદાર્થો (Molecular Solids)

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

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

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

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

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

1.3.2 આયનીય ઘન પદાર્થો (Ionic Solids)

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

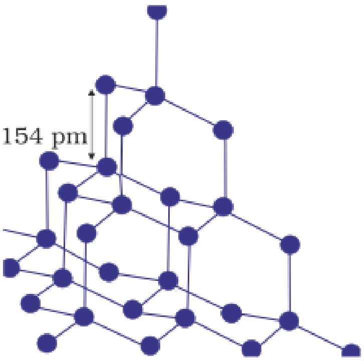
1.3.3 ધાત્વીય ઘનપદાર્થો (Metallic Solids)

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

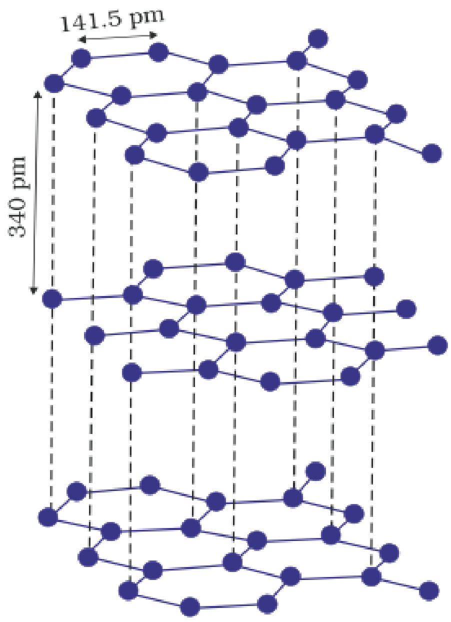
1.3.4 સહસંયોજક અથવા જાળીદાર ઘન પદાર્થો (Covalent or Network Solids)

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

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



આકૃતિ 1.3 : હીરાની(ડાયમન્ડ) જાળીદાર રચના



આકૃતિ 1.4 : ગ્રેફાઈટની રચના

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

કોષ્ટક 1.2 : જુદા જુદા પ્રકારના ઘન પદાર્થો

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

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

લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

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

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

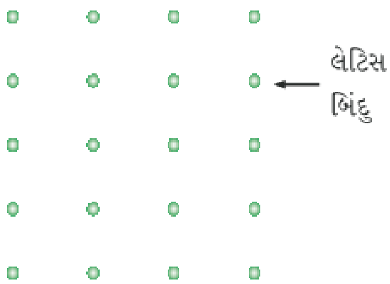
1.7 આયનીય ઘન પદાર્થો પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે પરંતુ ઘન અવસ્થામાં નહિ. સમજાવો.

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

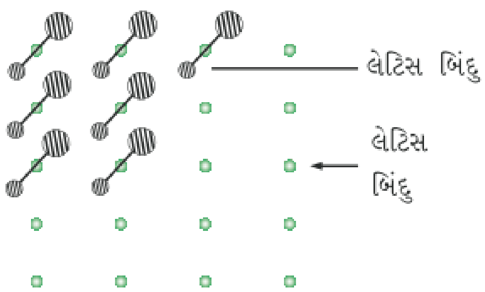
1.4 સ્ફટિક લેટિસ અને એકમકોષો (Crystal Lattices and Unit Cells)

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

(a) સ્ફટિકની રચના કરવા માટે મોટિફ



(b) અવકાશ લેટિસ અથવા સ્ફટિક લેટિસ (દ્વિપરિમાણીય)

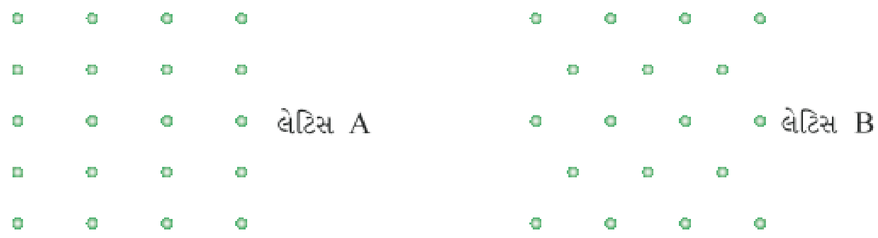


(c) કાલ્પનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક

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

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

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



આકૃતિ 1.6 : બે જુદા જુદા લેટિસમાં બિંદુઓની ગોઠવણી

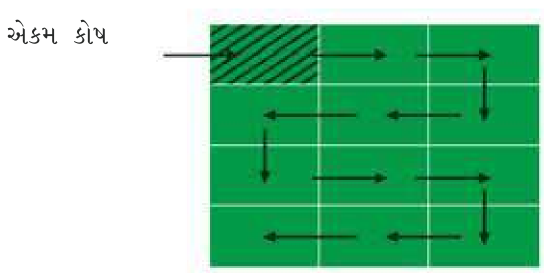
સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોના કિસ્સામાં અવકાશ લેટિસ બિંદુઓની ત્રિપરિમાણીય ગોઠવણી છે. બંધારણીય મોટિફને લેટિસ બિંદુઓ સાથે સાંકળતા સ્ફટિકની રચના પ્રાપ્ત થાય છે. સ્ફટિકમાં પુનરાવર્તિત પાયા અથવા મોટિફની રચના તથા અવકાશીય દિક્‌વિન્યાસ સમાન હોય છે. સપાટી સિવાય સમગ્ર સ્ફટિકમાં પ્રત્યેક મોટિફનું પર્યાવરણ એક સમાન હોય છે.

સ્ફટિક લેટિસની લાક્ષણિકતાઓ નીચે મુજબ છે :

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

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

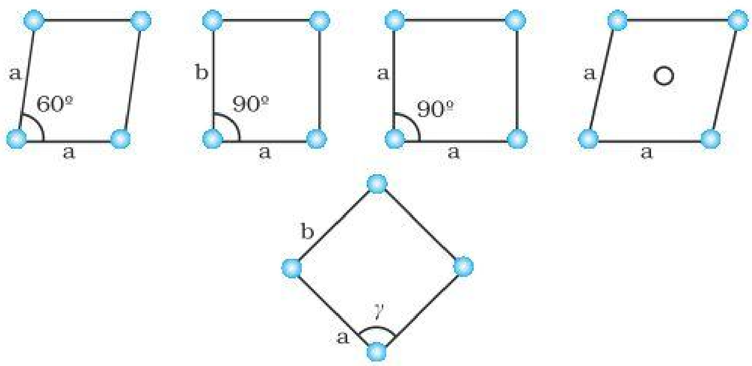
(c) લેટિસનો ભૌમિતિક આકાર (geometry) વ્યક્ત કરવા લેટિસ બિંદુઓને સીધી લીટીઓથી જોડવામાં આવે છે.



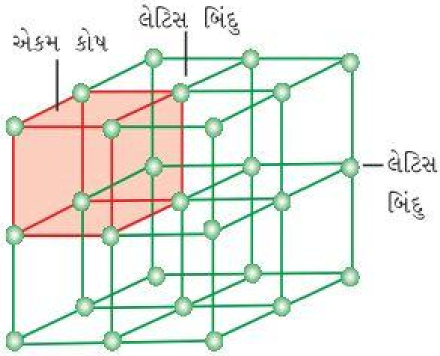
આકૃતિ 1.7 : તીરની દિશામાં ચોરસના સ્થાનાંતરથી કાલ્પનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક રચના બનાવવી

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

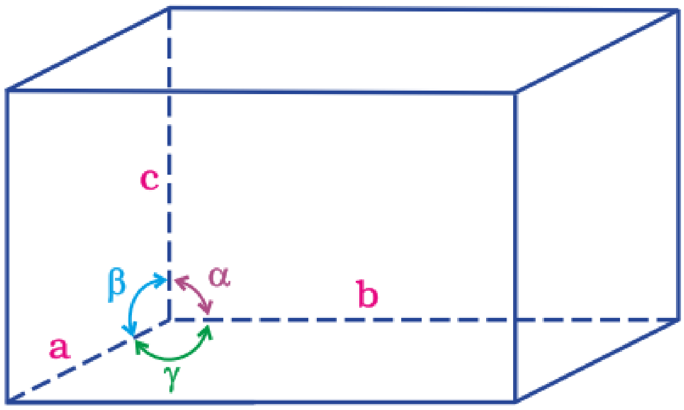
દ્વિપરિમાણમાં બાજુની લંબાઈ ‘a’ અને ‘b’ તથા આ બાજુઓ વચ્ચેનો ખૂણો γ ધરાવતા સમાંતરબાજુ ચતુષ્કોણને એકમ કોષ તરીકે પસંદ કરવામાં આવે છે. દ્વિપરિમાણોમાં શક્ય એકમ કોષો આકૃતિ 1.8માં દર્શાવેલા છે.



આકૃતિ 1.8 : દ્વિપરિમાણમાં શક્ય એકમ કોષો



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



આકૃતિ 1.10 : એકમ કોષના પ્રાચલોનું દૃષ્ટાંત

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

ત્રિપરિમાણીય સ્ફટિક રચનામાં એકમ કોષની લાક્ષણિકતાઓ :

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

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

એક વિશિષ્ટ એકમકોષના આ પ્રાચલો આકૃતિ 1.10માં દર્શાવેલ છે.

1.4.1 આદિમ અને કેન્દ્રિત એકમ કોષો

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

(a) આદિમ એકમ કોષો :

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

(b) કેન્દ્રિત એકમકોષો :

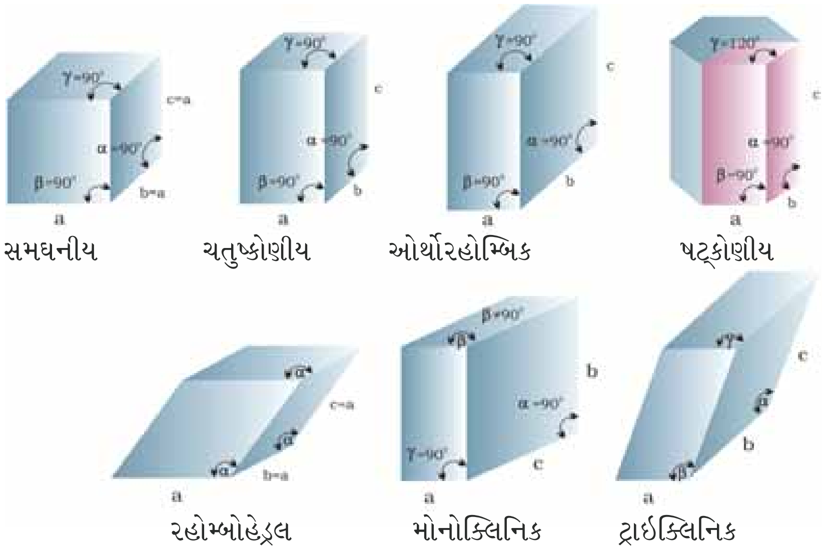
જ્યારે એકમ કોષ એક કે વધુ ઘટક કણો ખૂણાઓ ઉપરાંતના અન્ય સ્થાનો પર પણ ધરાવતો હોય તો તેને કેન્દ્રિત એકમ કોષ કહે છે. કેન્દ્રિત એકમ કોષ ત્રણ પ્રકારના હોય છે.

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

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

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

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



આકૃતિ 1.11 : સાત સ્ફટિક પ્રણાલીઓ

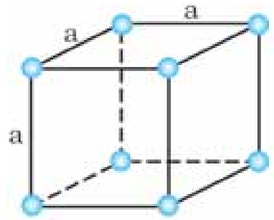
ફ્રેન્ચ ગણિતશાસ્ત્રી બ્રેવિસે (Bravais) દર્શાવ્યુ કે માત્ર 14 જ શક્ય ત્રિપરિમાણીય લેટિસો છે. તેઓને બ્રેવિસ લેટિસ કહે છે. આવા લેટિસના એકમ કોષોને નીચેના ખાના (box)માં દર્શાવ્યા છે. તેમના આદિમ એકમ કોષોની તથા તેઓ બનાવી શકતા હોય તેવા કેન્દ્રિય એકમ કોષોની લાક્ષણિકતાઓની યાદી કોષ્ટક 1.3માં દર્શાવી છે.

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

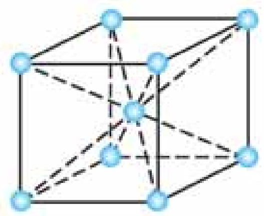
સ્ફટિક પ્રણાલી	શક્ય વિચલન	અક્ષીય અંતર અથવા ધારની લંબાઈ	અક્ષીય ખૂણા	ઉદાહરણ
સમઘનીય	આદિમ, અંતઃકેન્દ્રિત, ફલક કેન્દ્રિત	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	NaCl, ઝિંક બ્લેન્ડ, Cu
ચતુષ્કોણીય	આદિમ, અંતઃકેન્દ્રિત	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	સફેદ ટિન, SnO_2, TiO_2, $CaSO_4$
ઓર્થોરહોમ્બિક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

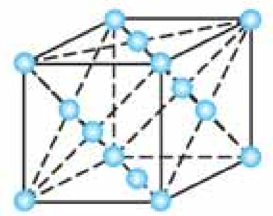
મોનોક્લિનિક	આદિમ અંત (છેડો) કેન્દ્રિત	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^0$ $\beta \neq 90^0$	મોનોક્લિનિક સલ્ફર, $Na_2SO_4.10H_2O$
ટ્રાઇક્લિનિક	આદિમ	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^0$	$K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4.5H_2O$, H_3BO_3

બ્રેવિસ લેટિસના 14 પ્રકારના એકમ કોષો

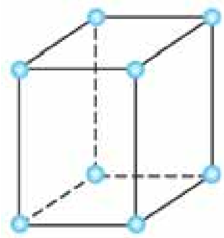


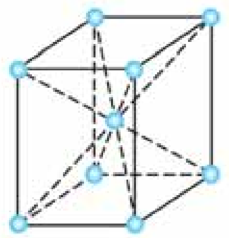
આદિમ (અથવા સાદો)


અંતઃકેન્દ્રિત

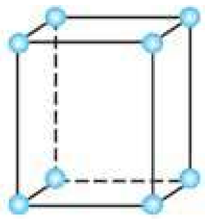

ફલક કેન્દ્રિત

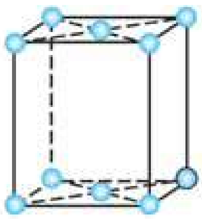
સમઘનીય લેટિસના એકમ કોષો : બધી બાજુઓ સરખી લંબાઈની અને ફલક વચ્ચેના બધા ખૂણા 90^0

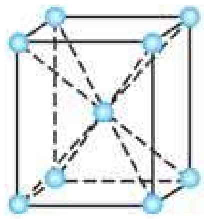

આદિમ

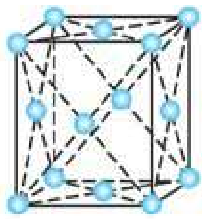

અંતઃકેન્દ્રિત

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

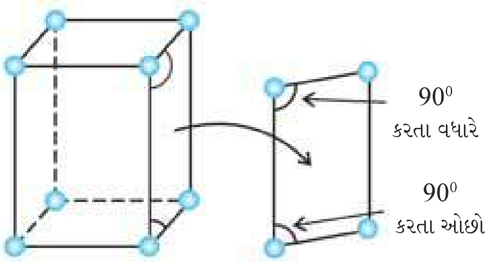

આદિમ


અંત (છેડો) કેન્દ્રિત

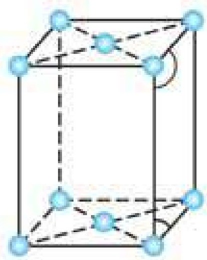

અંતઃકેન્દ્રિત


ફલક કેન્દ્રિત

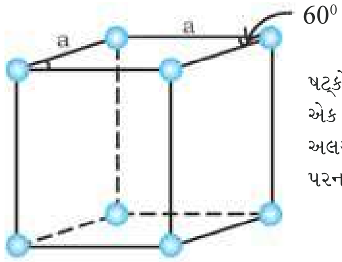
ચાર ઓર્થોરહોમ્બિક લેટિસના એકમ કોષો : બિનસરખી બાજુઓ, ફલક વચ્ચેના બધા ખૂણા 90^0



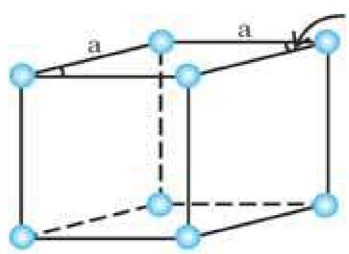
આદિમ


અંત (છેડો) કેન્દ્રિત

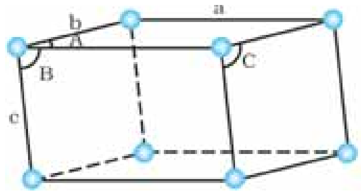
બે મોનોક્લિનિક લેટિસના એકમ કોષો : બિનસરખી બાજુઓ, બે ફલકોને ખૂણા 90^0 કરતાં અલગ હોય છે.



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



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



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

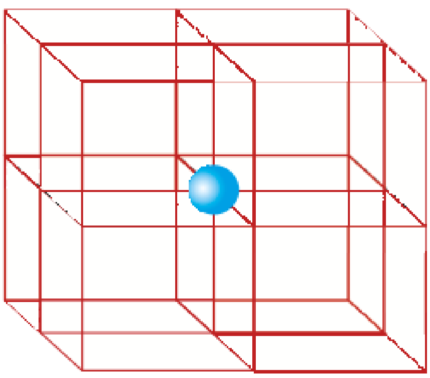
1.5 એકમ કોષમાં પરમાણુઓની સંખ્યા (Number of Atoms in a Unit Cell)

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

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

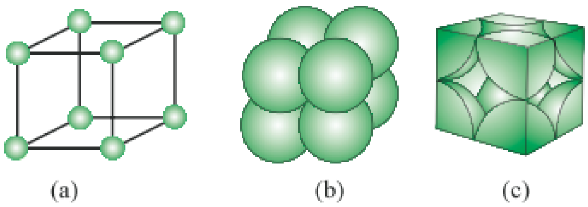
1.5.1 આદિમ ઘન એકમ કોષ (Primitive Cubic Unit Cell)

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



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

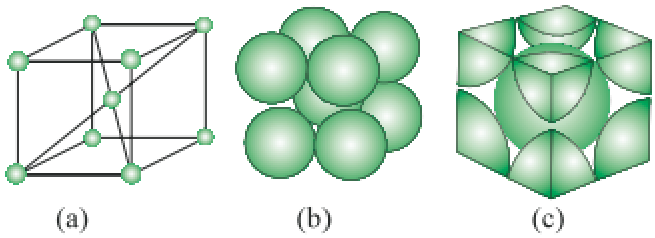
એકંદરે દરેક સમઘનીય એકમ કોષમાં ખૂણાઓ પર 8 પરમાણુઓ હોય છે તેથી એક એકમ કોષમાં પરમાણુની કુલ સંખ્યા $8 \times \frac{1}{8} = 1$ પરમાણુ થશે.



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

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

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



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

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

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

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

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

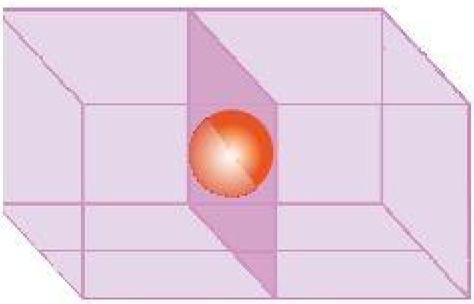
1.5.3 ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (Face Centred Cubic Unit Cell)

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

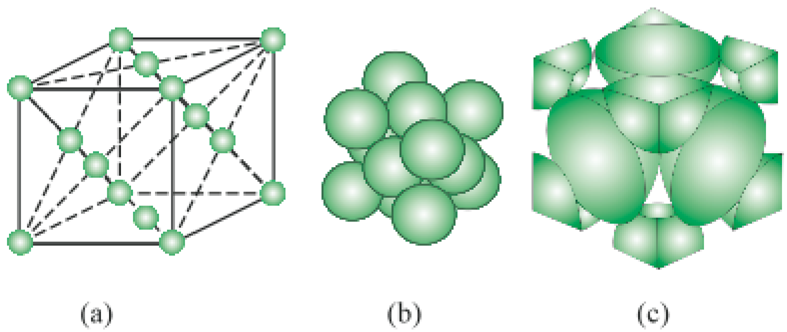
(i) 8 ખૂણાના પરમાણુઓ $\times \frac{1}{8}$ પરમાણુ પ્રતિ એકમ $= 8 \times \frac{1}{8}$ $= 1$ પરમાણુ

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

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



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



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

લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

1.9 'લેટિસ બિંદુ'ની સાર્થકતા જણાવો.

1.10 એકમ કોષને લાક્ષણિક બનાવતા પ્રાચલોનાં નામ લખો.

1.11 તફાવત દર્શાવો (વિભેદિત કરો) :

(i) ષટ્કોણીય અને મોનોક્લિનિક એકમ કોષો

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

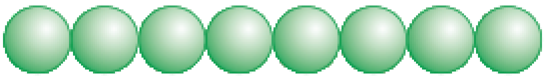
1.12 સમજાવો કે સમઘનીય એકમ કોષના (i) ખૂણા પર અને (ii) અંતઃકેન્દ્રિત સ્થાન પર રહેલા પરમાણુનો કેટલો ભાગ તેના પડોશી એકમ કોષનો ભાગ રોકે છે ?

1.6 સંવૃત સંકુલિત રચનાઓ (Close Packed Structures)

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

(a) એક પરિમાણમાં સંવૃત સંકુલન

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



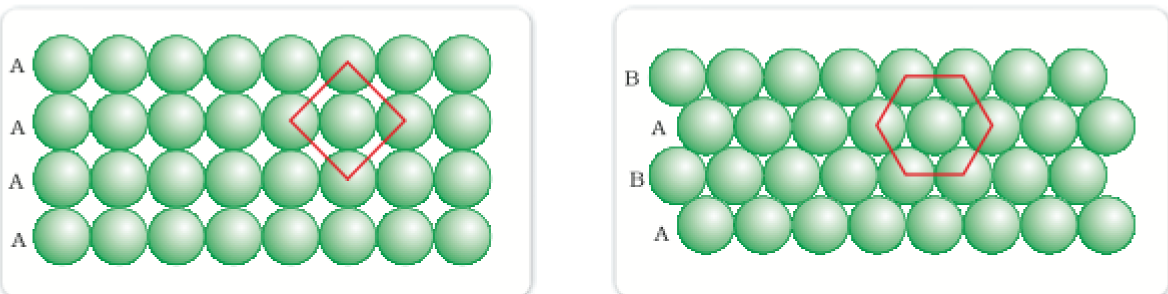
આકૃતિ 1.17 : એક પરિમાણમાં ગોળાઓનું સંવૃત સંકુલન

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

(b) દ્વિ-પરિમાણમાં સંવૃત સંકુલન

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

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



(a) (b)

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

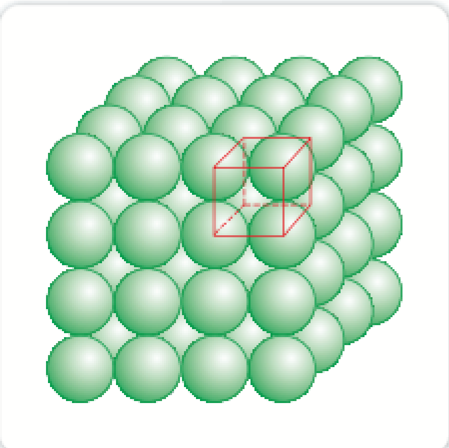
આ ગોઠવણમાં દરેક ગોળો તેના ચાર પડોશીના દરેક ગોળા સાથે સંપર્કમાં હોય છે. આથી દ્વિ-પરિમાણીય સવર્ગ આંક 4 છે. વળી, ચારેય તદ્દન નજીકના પડોશી ગોળાના કેન્દ્રોને જોડીએ, તો એક ચોરસ રચાશે. આથી આ સંકુલનને **દ્વિ-પરિમાણમાં ચોરસ સંવૃત સંકુલન** કહે છે.

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

(c) ત્રિ-પરિમાણમાં સંવૃત સંકુલન

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

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

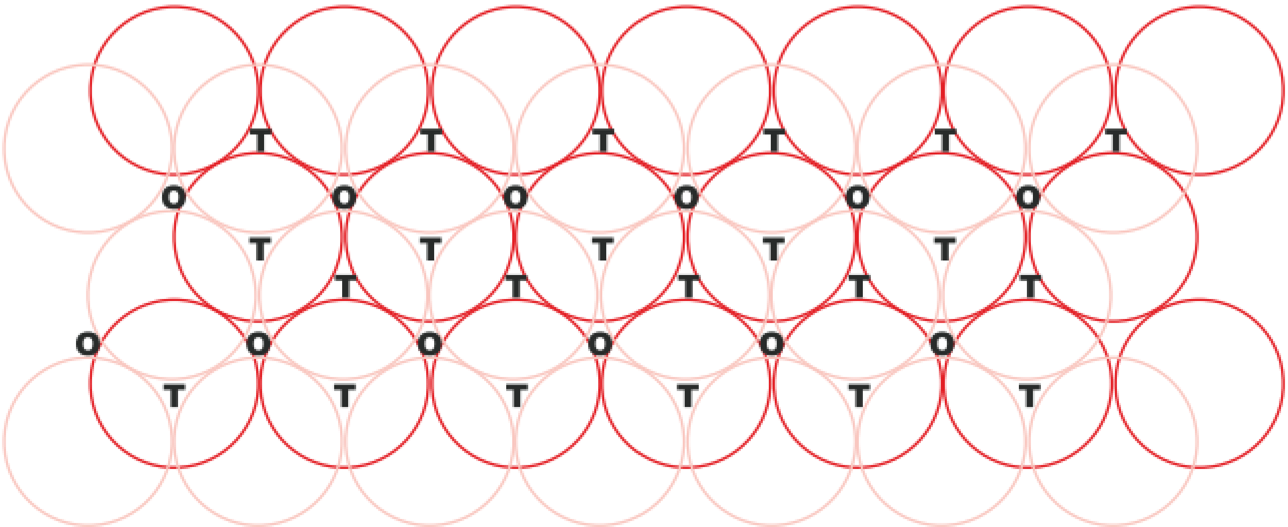


આકૃતિ 1.19 : AAA ...... ગોઠવણથી રચાયેલ સાદી ઘન લેટિસ

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

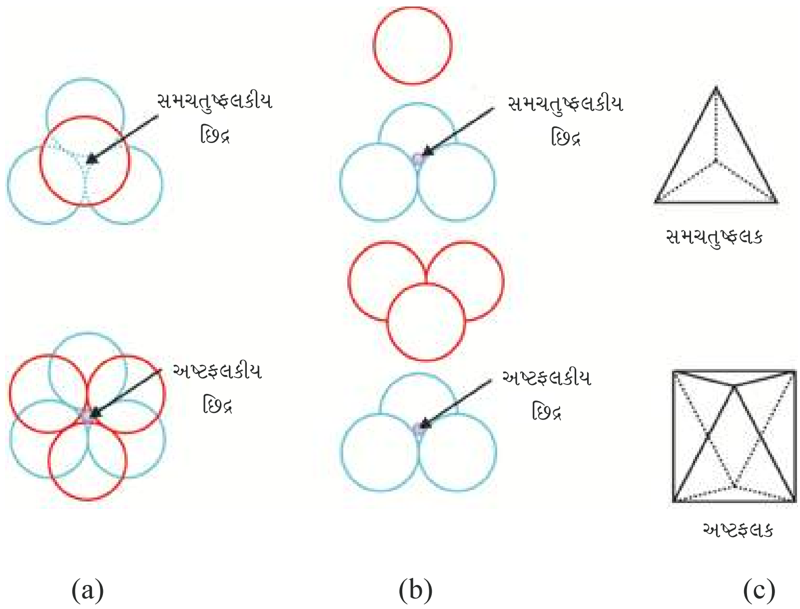
(a) બીજા સ્તરને પ્રથમ સ્તર પર ગોઠવીને

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



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

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



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

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

ધારો કે સંવૃત સંકુલિત ગોળાઓની સંખ્યા N છે;

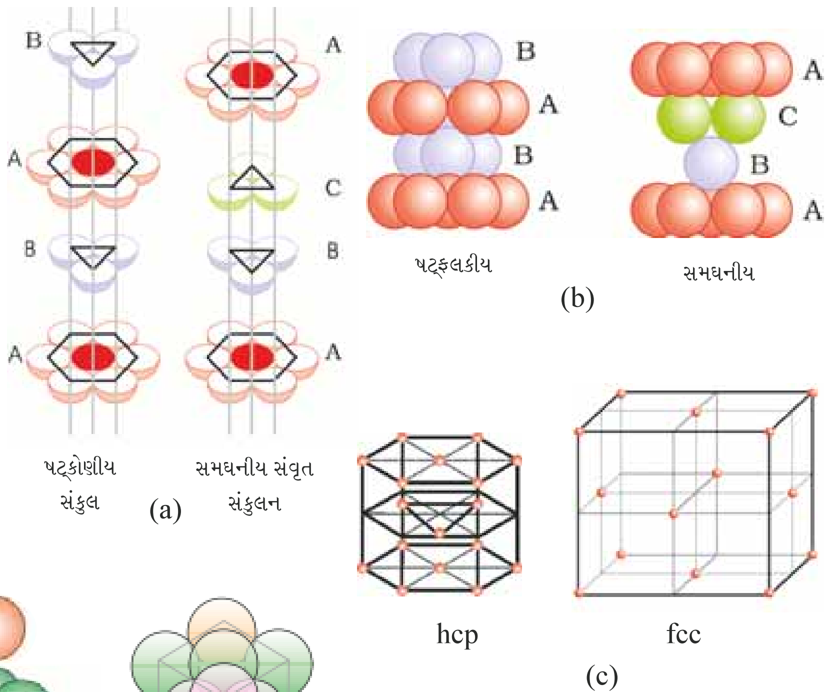
પછી, સર્જિત અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = N

સર્જિત સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = 2N

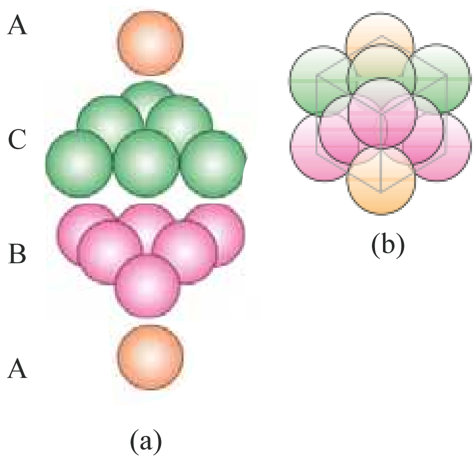
(b) બીજા સ્તર પર ત્રીજું સ્તર મૂકવું

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

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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

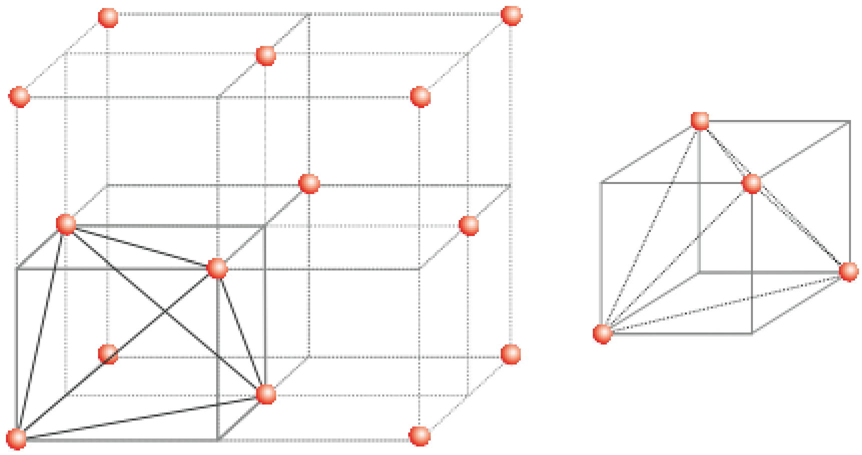
ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રોના સ્થાન દર્શાવવા

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

(a) ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર દર્શાવવા

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

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



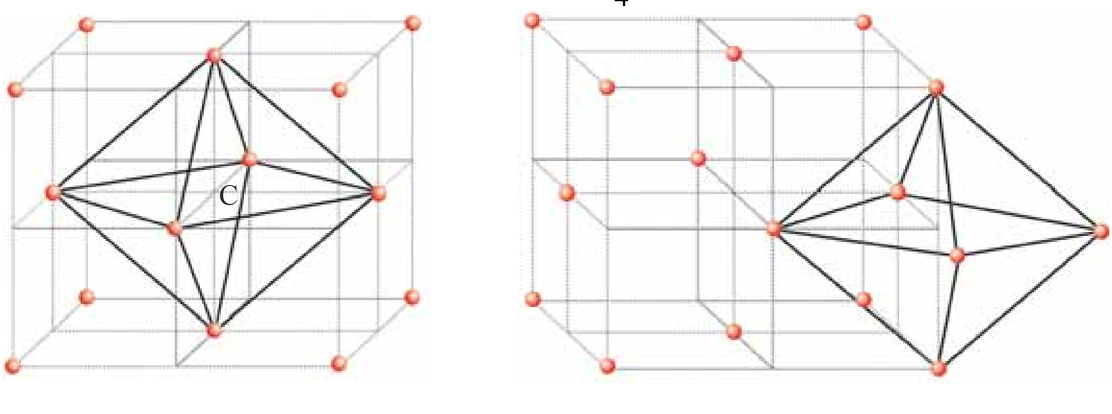
(a) (b)

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

(b) અષ્ટફલકીય છિદ્રના સ્થાન દર્શાવવા

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

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



(a) (b)

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

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

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

$\therefore$ કુલ અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = 4

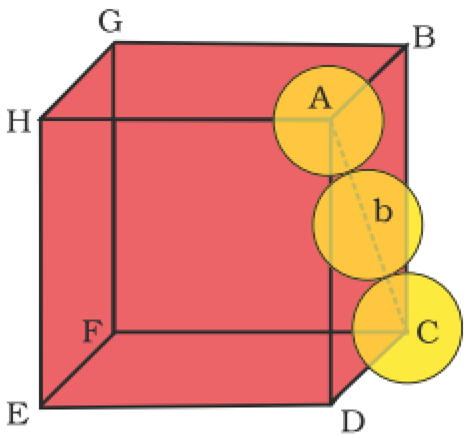
આપણે જાણીએ છીએ કે ccp રચનામાં દરેક એકમ કોષને 4 પરમાણુઓ છે. આથી અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા આ સંખ્યા જેટલી જ છે.

1.7 સંકુલન ક્ષમતા (Packing Efficiency)

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

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

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



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

Δ ABC માં,

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

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

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

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

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

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

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

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

તેથી,

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

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

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

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

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

Δ EFDમાં

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

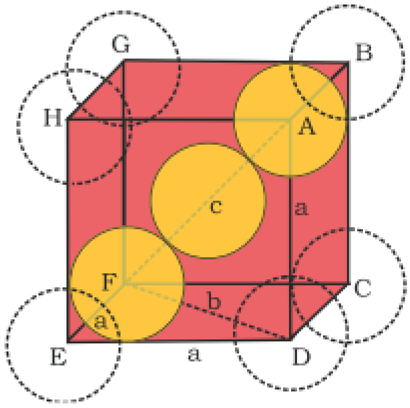
$b = \sqrt{2}a$

હવે, Δ AFDમાં,

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

$c = \sqrt{3}a$

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



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

તેથી, $\sqrt{3}a = 4r$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

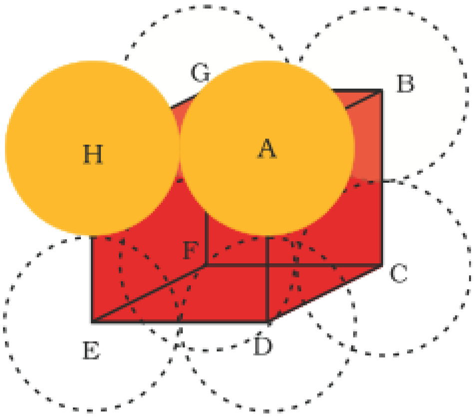
આમ, ધારની લંબાઈ અથવા સમઘનની બાજુ 'a' અને દરેક કણની ત્રિજ્યા r નીચે પ્રમાણે સંબંધિત છે.

$a = 2r$

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

સાદો સમઘનીય એકમ કોષ 1 જ પરમાણુ ધરાવતો હોઈ,

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



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

∴ સંકુલન ક્ષમતા

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

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

= 52.36 % = 52.4 %

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

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

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

એકમ કોષનું કદ = a^3,

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

એકમ કોષમાં રહેલા પરમાણુનું દળ

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

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

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

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

કોયડો 1.3 એક તત્ત્વની રચના અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) છે અને તેના કોષની ધાર 288 pm છે. તત્ત્વની ઘનતા 7.2 g/cm^3 છે. તત્ત્વના 208 ગ્રામમાં કેટલા પરમાણુ રહેલા હશે ?

ઉકેલ : એકમ કોષનું કદ = $(288\ pm)^3$

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

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

તત્ત્વના 208 g નું કદ

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

આ કદમાં એકમ કોષની સંખ્યા

$$= \frac{28.88\ cm^3}{2.39 \times 10^{-23}\ cm^3 / \text{એકમ કોષ}} = 12.08 \times 10^{23}\ \text{એકમ કોષ}$$

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

$= 24.16 \times 10^{23}$ પરમાણુ

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

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

માટે, $M = \frac{dN_A a^3}{z}$

$$= \frac{8.92\ g\ cm^{-3} \times 6.022 \times 10^{23}\ \text{પરમાણુ}\ mol^{-1} \times (3.608 \times 10^{-8}\ cm)^3}{4\ \text{પરમાણુ}}$$

= 63.1 g / mol.

કૉપરનું પરમાણ્વીય દળ = 63.1u

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

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

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

એકમકોષની ધાર લંબાઈ = a = 408.6 pm = 408.6×10^{-12} m.

ઘનતા, $d = \frac{z.M}{a^3.N_A}$

$$= \frac{4 \times (109.7 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1})}{(408.6 \times 10^{-12}\ m)^3\ (6.022 \times 10^{23}\ mol^{-1})} = 10.5 \times 10^3\ kg\ m^{-3}$$

= 10.5 g cm^{-3}

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

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

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

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

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

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

1.9 ઘન પદાર્થોમાં અપૂર્ણતા (Imperfections in Solids)

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

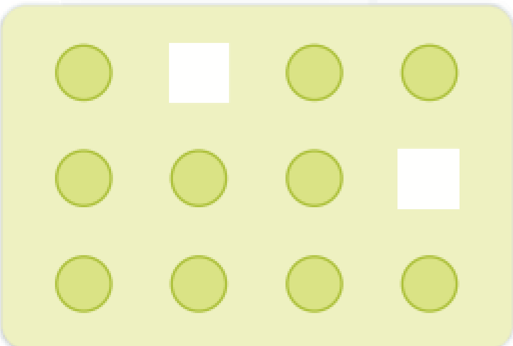
1.9.1 બિંદુ ક્ષતિના પ્રકાર (Types of Point Defects)

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

(a) તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ

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

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

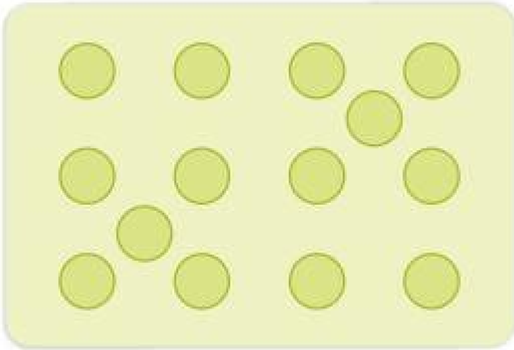


આકૃતિ 1.27 : રિક્ત (ખાલી) ક્ષતિ

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

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

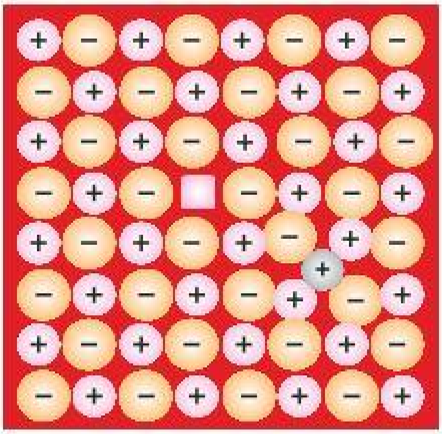
(iii) *ફ્રેન્કલ ક્ષતિ :* આ ક્ષતિ આયનીય ઘન પદાર્થ દ્વારા દર્શાવાય છે વધુ નાનો આયન (સામાન્ય રીતે ધનાયન) પોતાના સામાન્ય સ્થાનમાંથી આંતરાલય સ્થાનમાં વિસ્થાપન અથવા સ્થાનભ્રંશ (dis-location) થયેલ હોય છે (આકૃતિ 1.29). તે રિક્ત ક્ષતિ તેના મૂળ સ્થાને ઉપજાવે છે અને આ નવા સ્થાને આંતરાલીય ક્ષતિ ઉપજાવે છે.



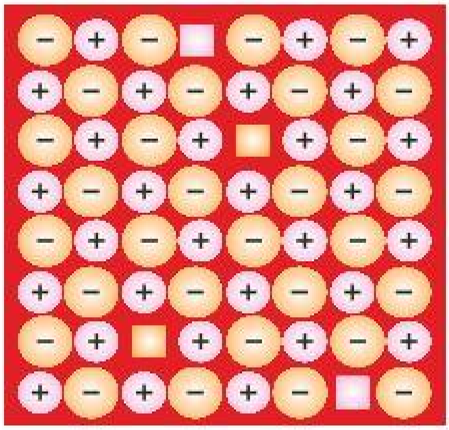
આકૃતિ 1.28 : આંતરાલીય ક્ષતિ

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

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

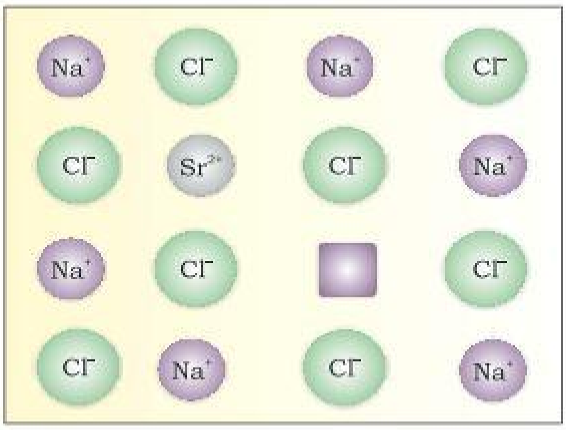


આકૃતિ 1.29 : ફ્રેન્કલ ક્ષતિ



આકૃતિ 1.30 : શૉટ્કી ક્ષતિ

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



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

(b) અશુદ્ધિ ક્ષતિ

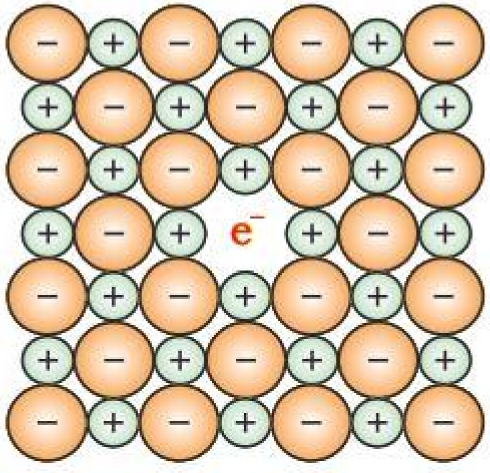
જો પિગલિત NaCl જેમાં થોડો જથ્થો $SrCl_2$નો રહેલો છે અને તેનું સ્ફટિકીકરણ કરવામાં આવે તો Na^{+}ના કેટલાક સ્થાનો Sr^{2+} આયનો વડે મેળવી લેવાય છે (આકૃતિ 1.31). દરેક Sr^{2+} બે Na^{+} આયનને ફેરબદલે છે. તે એક આયનનું સ્થાન મેળવે છે અને બીજું સ્થાન ખાલી રહે છે. આ રીતે ઉત્પન્ન થયેલી ધનાયનીય રિક્ત સ્થાનો Sr^{2+}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

(c) બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ

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

(i) ધાતુ વધારો ક્ષતિ

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



આકૃતિ 1.32 : સ્ફટિકમાં F કેન્દ્ર

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

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

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

(ii) ધાતુ ઊણપ ક્ષતિ

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

1.10 વિદ્યુતીય ગુણધર્મો (Electrical Properties)

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

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

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

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

1.10.1 ધાતુઓમાં વિદ્યુતનું વહન (Conduction of Electricity in Metals)

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

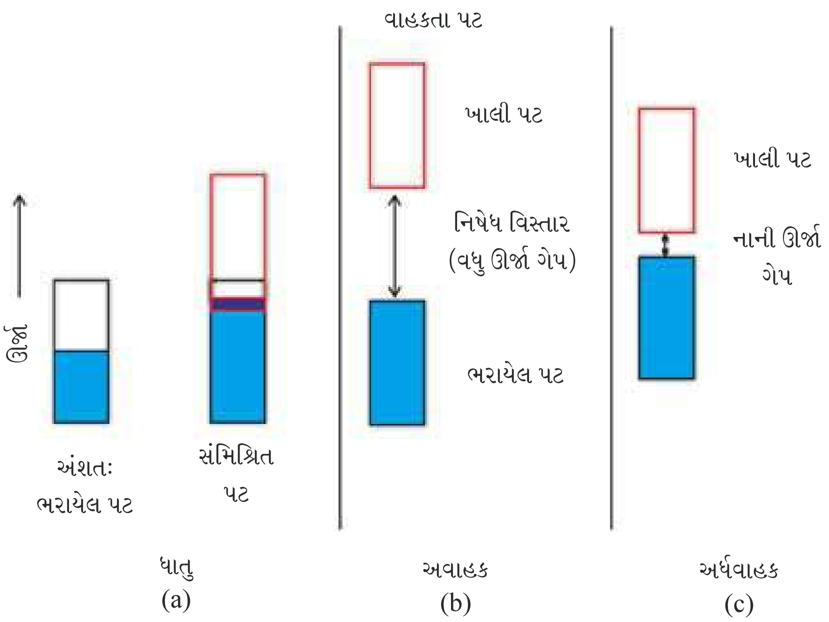
ધાતુઓ ઘન તેમજ પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે. ધાતુઓની વાહકતા પ્રતિ પરમાણુ મળતા સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે. ધાતુ પરમાણુની પરમાણ્વીય કક્ષકો - આણ્વીય કક્ષકો રચે છે જેમની ઊર્જા એકબીજાની એટલી નજીક હોય છે કે જેથી પટની રચના કરે છે. જો આ પટ અંશતઃ ભરાયેલા હોય અથવા તે ઊંચી ઊર્જાવાળા નહિ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

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

1.10.2 અર્ધવાહકોમાં વિદ્યુતનું વહન (Conduction of Electricity in Semiconductors)

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

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



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

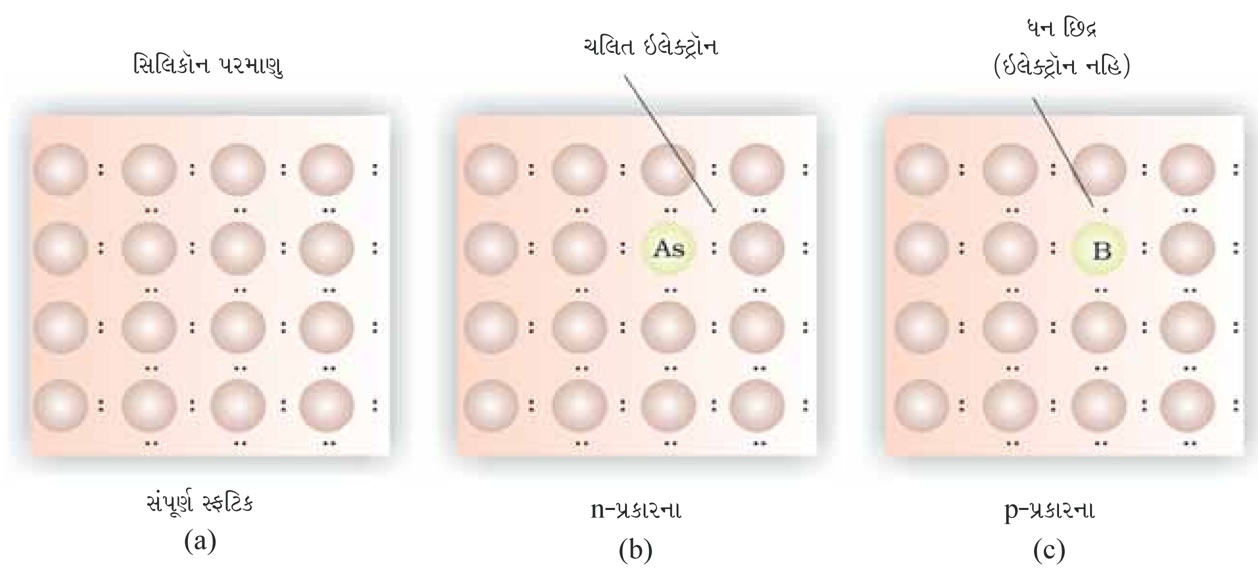
અર્ધવાહક કરતાં વધુ ઇલેક્ટ્રૉન સમૃદ્ધિ અથવા ઇલેક્ટ્રૉન ઊણપ અશુદ્ધિઓનો ઉપયોગ કરીને કરી શકાય છે. આવી અશુદ્ધિઓ ઇલેક્ટ્રૉનીય ક્ષતિ દાખલ કરે છે.

(a) ઇલેક્ટ્રૉન સમૃદ્ધ અશુદ્ધિ :

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

(b) ઇલેક્ટ્રૉન - ઊણપ અશુદ્ધિ :

સિલિકૉન અથવા જર્મેનિયમને સમૂહ 13ના તત્ત્વો જેવા કે B, A1 અથવા Ga જે ત્રણ સંયોજતા ઇલેક્ટ્રૉન ધરાવે છે તેમની સાથે ડોપ કરી શકાય છે. તે જગ્યા જ્યાં ચોથો ઇલેક્ટ્રૉન ગૂમ થયેલો છે તેને ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર (hole) અથવા ઇલેક્ટ્રૉન રિક્તતા (vacancy) કહે છે (આકૃતિ 1.34 c). પડોશી પરમાણુમાંથી ઇલેક્ટ્રૉન આવીને આ ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્રને ભરી દે છે પણ આમ કરવામાં તેના પોતાના મૂળ સ્થાનમાં ઇલેક્ટ્રૉન **છિદ્ર** છોડી દે છે. જો આ પ્રમાણે બને તો એવું દેખાશે કે ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર નહિ ભરાયેલા ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્રની વિરુદ્ધ દિશામાં જશે. વિદ્યુતીય ક્ષેત્રની અસર હેઠળ, ઇલેક્ટ્રૉન ધનભાર ધરાવતી પ્લેટ તરફ ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર દ્વારા જશે પણ એમ દેખાશે કે ઇલેક્ટ્રૉન છિદ્ર ધનભાર વડે રોકાયેલા છે અને તે ઋણભારિત પ્લેટ તરફ ખસશે આ પ્રકારના અર્ધવાહક *p*-પ્રકારના અર્ધવાહક કહેવાય છે.



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

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

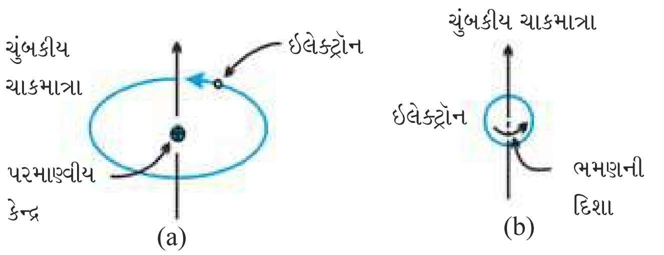
ઈલેક્ટ્રૉનિક સંઘટકો બનાવવા માટે n-પ્રકાર અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોના જુદા જુદા સંયોગીકરણ વપરાય છે. ડાયોડ n-પ્રકાર અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોનું સંયોગીકરણ છે અને તે રેક્ટિફાયર તરીકે વપરાય છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટર એક પ્રકારના અર્ધવાહક બીજા પ્રકારના બે અર્ધવાહક વચ્ચેના સ્તરમાં સેન્ડવિચ (sandwich) કરીને બનાવવામાં આવે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

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

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

1.11 ચુંબકીય ગુણધર્મો (Magnetic Properties)

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



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

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

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

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

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

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

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

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

લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

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

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

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

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

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

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

સારાંશ

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

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

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

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

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

સ્વાધ્યાય

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

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

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

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

1.4 (i) 'સવર્ગ આંક' પર્યાયનો અર્થ શું છે ?
(ii) પરમાણુઓનો સવર્ગ આંક કેટલો છે ?
(a) સમઘનીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં (b) અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય રચનામાં

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

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

1.7 નીચેના પર્યાયોની જોડને તમે કેવી રીતે વિભેદિત કરશો ?

(i) ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન અને સમઘનીય સંવૃત સંકુલન

(ii) સ્ફટિક લેટિસ અને એકમ કોષ

(iii) ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર અને અષ્ટફલકીય છિદ્ર

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

(i) ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય

(ii) ફલક કેન્દ્રિત ચતુષ્ફલકીય

(iii) અંતઃકેન્દ્રિત

1.9 સમજાવો.

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

(ii) આયનીય ઘન પદાર્થો સખત અને બરડ છે.

1.10 નીચેના કિસ્સામાં ધાતુ સ્ફટિકમાં સંકુલન ક્ષમતા ગણો.

(i) સાદો સમઘનીય

(ii) અંતઃ કેન્દ્રિત સમઘનીય

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(i) In વડે ડોપ (dope) કરેલું Ge

(ii) B વડે ડોપ કરેલું Si

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

1.22 પટ સિદ્ધાંતના પર્યાયના સંદર્ભમાં શું તફાવત છે ?

(i) વાહક અને અવાહક વચ્ચે

(ii) વાહક અને અર્ધવાહક વચ્ચે

1.23 યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે નીચેના પર્યાયો સમજાવો :

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

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

(i) એકમ કોષની ધારની લંબાઈ કેટલી છે ?

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

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

1.26 યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે નીચેના શબ્દો સમજાવો :

(i) લોહચુંબકત્વ

(ii) અનુચુંબકત્વ

(iii) ફેરિમૅગ્નેટિઝમ

(iv) પ્રતિલોહચુંબકત્વ

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

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નોના જવાબો

1.13 4

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

સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = 6.022×10^{23}

1.15 M_2N_3

1.17 ccp

એકમ

2

દ્રાવણો (Solutions)

હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- જુદા જુદા પ્રકારના દ્રાવણોની રચના (બનાવટ) વર્ણવી શકશો.
- જુદા જુદા એકમોમાં દ્રાવણની સાંદ્રતા અભિવ્યક્ત કરી શકશો.
- હેન્રીના નિયમ અને રાઉલ્ટના નિયમનું નિવેદન કરી શકશો અને સમજાવી શકશો.
- આદર્શ અને બિનઆદર્શ દ્રાવણો વચ્ચે ભેદ પાડી શકશો.
- વાસ્તવિક (સાચા) દ્રાવણોનું રાઉલ્ટના નિયમથી વિચલન સમજાવી શકશો.
- દ્રાવણના સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો વર્ણવી શકશો અને આને દ્રાવણોના મોલર દળ સાથે સુસંબંધિત કરી શકશો.
- દ્રાવણોમાં કેટલાક દ્રાવ્યો દ્વારા દર્શાવાતા અસામાન્ય સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો સમજાવી શકશો.

લગભગ શરીરમાં થતી બધી જ પ્રક્રિયાઓ પ્રવાહી દ્રાવણોના કોઈક પ્રકાર મારફતે થાય છે.

સામાન્ય જીવનમાં આપણે ભાગ્યે જ શુદ્ધ પદાર્થોના સંપર્કમાં આવીએ છીએ. આમાંના મોટા ભાગના બે કે વધારે શુદ્ધ પદાર્થો ધરાવતું મિશ્રણ હોય છે. તેમની ઉપયોગિતા અથવા અગત્ય તેમના સંઘટન પર આધાર રાખે છે. ઉદાહરણ તરીકે, બ્રાસના (પિત્તળ) (જે કૉપર અને ઝિંકનું મિશ્રણ છે) ગુણધર્મો, જર્મન સિલ્વર (કૉપર, ઝિંક અને નિકલનું મિશ્રણ છે) અથવા બ્રોન્ઝના (કાંસુ) (જે કૉપર અને ટિનનું મિશ્રણ છે) ગુણધર્મોથી તદ્દન જુદા હોય છે. પાણીમાં 1 પાર્ટ પર મિલિયન (ppm) ફ્લોરાઇડ આયન દાંતનો ક્ષય રોકે છે; જ્યારે 1.5 ppm દાંત પર ડાઘા પાડે છે અને ફ્લોરાઇડની વધારે સાંદ્રતા ઝેરી નીવડે છે (ઉદાહરણ તરીકે સોડિયમ ફ્લોરાઇડ ઉંદર માટે ઝેર તરીકે વર્તે છે). નસમાં અપાતા ઇંજેક્શન હંમેશાં અમુક આયનીય સાંદ્રતાએ ક્ષાર ધરાવતા પાણીમાં ઓગળેલા હોય છે જે લોહીમાંના પ્લાઝમાની સાંદ્રતા સાથે સુમેળ સાધે છે.

આ એકમમાં આપણે મુખ્યત્વે પ્રવાહી દ્રાવણોને અને તેમની બનાવટને ધ્યાનમાં લઈશું. આ બાબતોને દ્રાવણોના ગુણધર્મો જેવાં કે બાષ્પદબાણ અને સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોના અભ્યાસ દ્વારા અનુસરીશું. આપણે દ્રાવણોના પ્રકારથી શરૂઆત કરીશું અને પછી પ્રવાહી દ્રાવણોમાં રહેલા દ્રાવ્યની સાંદ્રતાને દર્શાવવા માટે જુદા-જુદા વિકલ્પોને જાણીશું.

2.1 દ્રાવણોના પ્રકાર (Types of Solutions)

દ્રાવણો બે કે વધારે ઘટકોનું સમાંગ મિશ્રણ છે. સમાંગ મિશ્રણનો અર્થ એમ સમજીએ છીએ કે તેમનું સંઘટન અને ગુણધર્મો સમગ્ર મિશ્રણમાં એકસરખાં હોય છે. સામાન્ય રીતે જે ઘટક સૌથી વધારે પ્રમાણમાં હોય તે દ્રાવક તરીકે ઓળખાય છે. દ્રાવણ જે ભૌતિક અવસ્થામાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે તે દ્રાવક નક્કી કરે છે. દ્રાવક સિવાયના એક અથવા વધારે ઘટકો જે દ્રાવણમાં હાજર હોય છે તેમને દ્રાવ્યો કહે છે. આ એકમમાં આપણે માત્ર દ્વિઅંગી દ્રાવણોને (એટલે કે બે ઘટકો ધરાવતા) ધ્યાનમાં લઈશું.

આમાં દરેક ઘટક ઘન, પ્રવાહી અથવા વાયુમય અવસ્થામાં હોઈ શકે છે અને તેમને સંક્ષેપમાં કોષ્ટક 2.1માં આપેલ છે.

કોષ્ટક **2.1** દ્રાવણના પ્રકાર

દ્રાવણનો પ્રકાર	દ્રાવ્ય	દ્રાવક	સામાન્ય ઉદાહરણો
વાયુમય દ્રાવણો	વાયુ	વાયુ	ઑક્સિજન અને નાઇટ્રોજન વાયુઓનું મિશ્રણ
	પ્રવાહી	વાયુ	નાઇટ્રોજન વાયુ સાથે મિશ્ર કરેલ ક્લોરોફૉર્મ
	ઘન	વાયુ	નાઇટ્રોજન વાયુમાં કપૂર
પ્રવાહી દ્રાવણો	વાયુ	પ્રવાહી	પાણીમાં દ્રાવ્ય થયેલ ઑક્સિજન
	પ્રવાહી	પ્રવાહી	પાણીમાં દ્રાવ્ય થયેલ ઈથેનોલ
	ઘન	પ્રવાહી	પાણીમાં દ્રાવ્ય થયેલ ગ્લુકોઝ
ઘન દ્રાવણો	વાયુ	ઘન	પેલેડિયમમાં હાઈડ્રોજનનું દ્રાવણ
	પ્રવાહી	ઘન	સોડિયમ સાથે પારાનો સંરસ
	ઘન	ઘન	ગોલ્ડમાં(સોનું) દ્રાવ્ય થયેલ કૉપર

2.2 દ્રાવણની સાંદ્રતાની અભિવ્યક્તિ (Expressing Concentration of Solutions)

દ્રાવણનું સંઘટન તેની સાંદ્રતા અભિવ્યક્ત કરીને વર્ણવી શકાય. સાંદ્રતાને ગુણાત્મક અથવા જથ્થાત્મક રીતે અભિવ્યક્ત કરી શકાય છે. ઉદાહરણ તરીકે ગુણાત્મક રીતે આપણે કહી શકીએ કે દ્રાવણ મંદ (એટલે કે સાપેક્ષ રીતે દ્રાવ્યનો ઘણો ઓછો જથ્થો) અથવા સાંદ્ર (એટલે કે સાપેક્ષ રીતે દ્રાવ્યનો ઘણો વધારે જથ્થો) છે. પરંતુ વાસ્તવિક જીવનમાં આ પ્રકારનું વર્ણન ઘણા બધા ગૂંચવાડા ઊભા કરે અને તેથી એ જરૂરી છે કે દ્રાવણની સાંદ્રતા જથ્થાત્મક રીતે દર્શાવી શકાય.

દ્રાવણની સાંદ્રતા જથ્થાત્મક રીતે વર્ણવી શકીએ તે માટે ઘણી રીતો છે.

(i) *દળ ટકાવારી (w/w) :* દ્રાવણના ઘટકની દળ ટકાવારી આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

$$\text{ઘટકના દળ \%} = \frac{\text{દ્રાવણમાં ઘટકનું દળ}}{\text{દ્રાવણનું કુલ દળ}} \times 100 \qquad (2.1)$$

ઉદાહરણ તરીકે, જો 10 % ગ્લુકોઝ દળથી પાણીમાં દર્શાવેલ હોય તો તેનો અર્થ થાય છે કે 10 g ગ્લુકોઝ 90 g પાણીમાં ઓગાળેલ છે જેથી 100g દ્રાવણ બન્યું છે. દળ ટકાવારી વડે દર્શાવાયેલ સાંદ્રતા સામાન્ય રીતે ઔદ્યોગિક રાસાયણિક અનુપ્રયોગમાં ઉપયોગી છે. ઉદાહરણ તરીકે, બજારુ બ્લીચિંગ દ્રાવણ 3.62 દળ ટકા સોડિયમ હાઈપોક્લોરાઈટ પાણીમાં ધરાવે છે.

(ii) *કદ ટકાવારી (V/V) :* કદ ટકાવારી આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

$$\text{ઘટકના કદ \%} = \frac{\text{ઘટકનું કદ}}{\text{દ્રાવણનું કુલ કદ}} \times 100 \qquad (2.2)$$

ઉદાહરણ તરીકે, પાણીમાં 10 % ઈથેનોલ દ્રાવણનો અર્થ થાય છે કે 10 mL ઈથેનોલ પાણીમાં ઓગાળવામાં આવેલ છે જેથી કુલ કદ 100 mL થાય. પ્રવાહી ધરાવતા દ્રાવણોને સામાન્ય રીતે આ એકમમાં અભિવ્યક્ત કરવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે 35 % (V/V) ઈથીલીન ગ્લાયકોલનું દ્રાવણ જે એક પ્રતિહિમ (હિમનિરોધી) છે તે કારમાં (મોટરોમાં) એન્જિનના શીતન માટે વપરાય છે. આ સાંદ્રતા એ પ્રતિહિમ પાણીનું ઠારણબિંદુ ઘટાડીને 255.4 K (-17.6 ^{0}C) લાવે છે.

(iii) *દળ / કદ ટકાવારી (w/V) :* અન્ય એક એકમ જે સામાન્ય રીતે ઔષધિ અને ઔષધિનિર્માણ વિજ્ઞાનમાં(Pharmacy) વપરાય છે, તે દળ / કદ ટકાવારી છે. તે 100 mL દ્રાવણમાં ઓગાળેલ દ્રાવ્યનું દળ છે.

(iv) *પાર્ટસ પર મિલિયન :* જ્યારે દ્રાવ્ય **અતિઅલ્પ** (trace) જથ્થામાં હોય ત્યારે તેની સાંદ્રતા **પાર્ટસ પર મિલિયન(ppm)**માં દર્શાવવી વધુ અનુકૂળ રહે છે અને તેને આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

પાર્ટસ પર મિલિયન

$$= \frac{\text{ઘટકના પાર્ટસની સંખ્યા}}{\text{દ્રાવણમાંના બધા જ ઘટકોના પાર્ટસની કુલ સંખ્યા}} \times 10^6 \qquad (2.3)$$

ટકાવારીમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સાંદ્રતા પાર્ટસ પર મિલિયનને દળથી દળ, કદથી કદ અને દળથી કદમાં પણ દર્શાવી શકાય. એક લિટર દરિયાનું પાણી (જેનું વજન 1030 g છે.) 6 × 10^{-3} g દ્રાવ્ય ઑક્સિજન (O_2) ધરાવે છે. આટલી ઓછી સાંદ્રતાને 5.8 g પ્રતિ 10^6 g (5.8 ppm) દરિયાના પાણી તરીકે અભિવ્યક્ત કરી શકાય. પાણીમાં અથવા વાતાવરણમાં પ્રદૂષકોની સાંદ્રતા સામાન્ય રીતે µg mL^{-1} અથવા ppm પર્યાયમાં અભિવ્યક્ત કરાય છે.

(v) *મોલ અંશ :* મોલ અંશ માટે સામાન્ય રીતે વપરાતી સંજ્ઞા x છે અને xની જમણી બાજુ દર્શાવાતો પાદાક્ષર ઘટક સૂચવે છે. તેને આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

$$\text{ઘટકનો મોલ અંશ} = \frac{\text{ઘટકના મોલની સંખ્યા}}{\text{બધા જ ઘટકોના મોલની કુલ સંખ્યા}} \qquad (2.4)$$

ઉદાહરણ તરીકે, એક દ્વિઅંગી મિશ્રણમાં જો Aની મોલ સંખ્યા અને Bની મોલ સંખ્યા અનુક્રમે n_A અને n_B હોય, તો Aનો મોલ અંશ થશે,

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \qquad (2.5)$$

i સંખ્યાના ઘટકો ધરાવતા દ્રાવણ માટે આપણને મળશે,

$$x_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + ... + n_i} = \frac{n_i}{\sum n_i} \qquad (2.6)$$

એ દર્શાવી શકાય કે આપેલા દ્રાવણમાં બધા જ મોલ અંશનો સરવાળો એક થાય એટલે કે,

$$x_1 + x_2 + ... + x_i = 1 \qquad (2.7)$$

મોલ અંશ એકમ દ્રાવણોના કેટલાક ભૌતિક ગુણધર્મોને સંબંધિત કરવામાં ઘણો ઉપયોગી છે. જેમ કે દ્રાવણની સાંદ્રતા અને બાષ્પદબાણ અને વાયુમિશ્રણો સમાવિષ્ટ દ્રાવણની સાંદ્રતાનું વર્ણન કરવામાં ઘણો જ ઉપયોગી છે.

કોયડો 2.1 20 % દળથી ઈથીલીન ગ્લાયકોલ ($C_2H_6O_2$) ધરાવતા દ્રાવણમાં ઈથીલીન ગ્લાયકોલનો મોલ અંશ ગણો.

ઉકેલ : ધારો કે આપણી પાસે 100 g દ્રાવણ છે (કોઈ પણ જથ્થાથી શરૂ કરી શકાય કારણ કે, મળેલા પરિણામો સરખા જ હશે). આ દ્રાવણમાં 20 g ઈથીલીન ગ્લાયકોલ અને 80 g પાણી હશે.

$C_2H_6O_2$ નું મોલર દળ = $12 \times 2 + 1 \times 6 + 16 \times 2 = 62 \text{ g mol}^{-1}$

$$C_2H_6O_2\text{ના મોલ} = \frac{20 \text{ g}}{62 \text{ g mol}^{-1}} = 0.322 \text{ mol}$$

$$\text{પાણીના મોલ} = \frac{80 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 4.444 \text{ mol}$$

$$X_{glycol} = \frac{C_2H_6O_2\text{નો મોલ}}{C_2H_6O_2\text{ના મોલ} + H_2O\text{ના મોલ}}$$

$$= \frac{0.322 \text{ mol}}{0.322 \text{ mol} + 4.444 \text{ mol}} = 0.068$$

એ જ પ્રમાણે $X_{water} = \dfrac{4.444 \text{ mol}}{0.322 \text{ mol} + 4.444 \text{ mol}} = 0.932$

પાણીના મોલ અંશ આ રીતે પણ ગણી શકાય : 1 - 0.068 = 0.932

(vi) *મોલારિટી* : મોલારિટી (M)ને દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા જે એક લિટર (અથવા એક ક્યુબિક ડેસિમીટર) દ્રાવણમાં ઓગાળેલ છે. તે પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

$$\text{મોલારિટી} = \frac{\text{દ્રાવ્યના મોલ}}{\text{દ્રાવણનું કદ લિટરમાં}} \quad (2.8)$$

ઉદાહરણ તરીકે 0.25 mol L^{-1} (અથવા 0.25 M) NaOHનું દ્રાવણ એટલે 0.25 mol NaOH 1 લિટર (એક ક્યુબિક ડેસિમીટર) દ્રાવણમાં ઓગાળેલ છે.

કોયડો 2.2 450 mL દ્રાવણમાં 5 g NaOH ધરાવતા દ્રાવણની મોલારિટી ગણો.

ઉકેલ : $$\text{NaOHના મોલ} = \frac{5 \text{ g}}{40 \text{ g mol}^{-1}} = 0.125 \text{ mol}$$

દ્રાવણનું કદ લિટરમાં = 450 mL / 1000 mL L^{-1}

સમીકરણ (2.8)નો ઉપયોગ કરીને

$$\text{મોલારિટી} = \frac{0.125 \text{ mol} \times 1000 \text{ mL L}^{-1}}{450 \text{ mL}} = 0.278 \text{ M}$$

$= 0.278 \text{ mol L}^{-1}$

$= 0.278 \text{ mol dm}^{-3}$

(vii) *મોલાલિટી :* મોલાલિટી (m) આ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય. તે દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા જે એક કિલોગ્રામ (kg) દ્રાવકમાં ઓગાળેલ છે. તેને આ રીતે અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

$$\text{મોલાલિટી (m)} = \frac{\text{દ્રાવ્યના મોલ}}{\text{દ્રાવકનું દળ kg માં}} \quad (2.9)$$

ઉદાહરણ તરીકે 1.00 mol kg^{-1} (અથવા 1.00 m) KClનું દ્રાવણ એટલે 1 મોલ KCl (74.5 g) 1 kg પાણીમાં ઓગાળેલ છે.

દ્રાવણની સાંદ્રતા અભિવ્યક્ત કરવાની દરેક પદ્ધતિને તેના ફાયદા અને ગેરફાયદા હોય છે. દળ %, ppm, મોલ અંશ અને મોલાલિટી તાપમાનથી સ્વતંત્ર છે; જ્યારે મોલારિટી તાપમાન આધારિત પરિબળ છે. આનું કારણ એ છે કે કદ તાપમાન પર આધાર રાખે છે પરંતુ દળ નથી રાખતું.

કોયડો 2.3 75 g બેન્ઝિનમાં 2.5 g ઈથેનોઇક ઍસિડ (CH_3COOH)ની મોલાલિટી ગણો.

ઉકેલ $C_2H_4O_2$નું મોલર દળ = $12 \times 2 + 1 \times 4 + 16 \times 2 = 60$ g mol^{-1}

$$C_2H_4O_2\text{ના મોલ} = \frac{2.5\text{ g}}{60\text{ g mol}^{-1}} = 0.0417\text{ mol}$$

બેન્ઝિનનું દળ kg માં = 75 g / 1000 g kg^{-1} = 75×10^{-3} kg

$$C_2H_4O_2\text{ની મોલાલિટી} = \frac{C_2H_4O_2\text{ના મોલ}}{\text{બેન્ઝિનના kg}} = \frac{0.0417\text{ mol} \times 1000\text{ g kg}^{-1}}{75\text{ g}}$$

$$= 0.556\text{ mol kg}^{-1}$$

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

2.1 જો 22 g બેન્ઝિન (C_6H_6) 122 g કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ (CCl_4)માં ઓગાળવામાં આવે તો બેન્ઝિન અને કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડની દળ ટકાવારી ગણો.

2.2 30 % દળથી બેન્ઝિન ધરાવતા કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ દ્રાવણમાં બેન્ઝિનનો મોલ અંશ ગણો.

2.3 નીચેના દરેક દ્રાવણની મોલારિટી ગણો : (a) 4.3 L દ્રાવણમાં 30 g $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (b) 30 mL 0.5 M H_2SO_4નું મંદન કરી 500 mL બનાવવામાં આવ્યું.

2.4 2.5 kg 0.25 મોલલ યૂરિયા (NH_2CONH_2)નું દ્રાવણ બનાવવા માટે યૂરિયાનું દળ ગણો.

2.5 જો 20 % (દળ / દળ) જલીય KI દ્રાવણની ઘનતા 1.202 g mL^{-1} હોય, તો KIની (a) મોલાલિટી (b) મોલારિટી અને (c) મોલ અંશ ગણો.

2.3 દ્રાવ્યતા (Solubility)

નિર્દિષ્ટ તાપમાને દ્રાવકના નિર્દિષ્ટ જથ્થામાં પદાર્થનો મહત્તમ જથ્થો ઓગળી શકે તેને તેની દ્રાવ્યતા કહે છે. તે દ્રાવ્ય અને દ્રાવકના સ્વભાવ પર તથા તાપમાન અને દબાણ પર આધાર રાખે છે. આપણે આ પરિબળોની ઘન અથવા વાયુની પ્રવાહીના દ્રાવણ પર અસર ધ્યાનમાં લઈએ.

2.3.1 ઘનની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા (Solubility of a Solid in a Liquid)

દરેક પદાર્થ આપેલ પ્રવાહીમાં ઓગળતો નથી. સોડિયમ ક્લોરાઇડ અને ખાંડ ઝડપથી પાણીમાં ઓગળે છે. જ્યારે નેપ્થેલીન અને એન્થ્રેસીન ઓગળતાં નથી. બીજી બાજુ પર નેપ્થેલીન અને એન્થ્રેસીન બેન્ઝિનમાં ઓગળે છે પણ સોડિયમ ક્લોરાઇડ અને ખાંડ ઓગળતા નથી. એવું અવલોકન કરવામાં આવેલ છે કે ધ્રુવીય દ્રાવ્ય ધ્રુવીય દ્રાવકમાં ઓગળે છે અને અધ્રુવીય દ્રાવ્ય અધ્રુવીય દ્રાવકમાં ઓગળે છે. સામાન્ય રીતે, દ્રાવ્ય દ્રાવકમાં ઓગળશે, જો આંતરઆણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયાઓ બંનેમાં સરખી હશે તો અથવા આપણે કહી શકીએ કે **સરખા (like), સરખા(like)માં ઓગળે છે.**

જ્યારે ઘન દ્રાવ્યને દ્રાવકમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે કેટલોક દ્રાવ્ય ઓગળે છે અને દ્રાવણમાં તેની સાંદ્રતા વધે છે. આ પ્રક્રિયાને વિલયન અથવા દ્રવીકરણ (dissolution) કહે છે. દ્રાવણમાં કેટલાક દ્રાવ્ય કણો ઘન દ્રાવ્ય સાથે અથડાય છે અને દ્રાવણમાં અલગ પડી જાય છે. આ પ્રક્રિયા સ્ફટિકીકરણ તરીકે ઓળખાય છે. એક એવા તબક્કે પહોંચીએ જ્યારે બંને પ્રક્રિયાઓ સરખા વેગથી થાય છે. આ પરિસ્થિતિમાં દ્રાવ્યના દ્રાવણમાં જતા ઘન કણોની સંખ્યા દ્રાવણમાંથી અલગ પડતા દ્રાવ્યના ઘન કણોની સંખ્યા સરખી હશે અને તેથી ગતિશીલ સંતુલન અવસ્થા પ્રાપ્ત થાય છે.

$$\text{દ્રાવ્ય} + \text{દ્રાવક} \rightleftharpoons \text{દ્રાવણ} \quad (2.10)$$

આ તબક્કે દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની સાંદ્રતા આપેલ શરતોએ (તાપમાન અને દબાણ) અચળ રહેશે. આ જ પ્રમાણેની પ્રક્રિયા જ્યારે વાયુને પ્રવાહી દ્રાવકમાં ઓગાળીએ ત્યારે બને છે. એવું દ્રાવણ કે જેમાં આપેલ તાપમાન અને દબાણે વધુ દ્રાવ્યને ઓગાળી શકાય નહિ તેને **સંતૃપ્ત દ્રાવણ** કહે છે. અસંતૃપ્ત દ્રાવણ એને કહે છે જેમાં એ જ તાપમાને વધુ દ્રાવ્ય ઓગાળી શકાય છે. દ્રાવણ કે જે નહિ ઓગળેલા દ્રાવ્ય સાથે ગતિશીલ સંતુલનમાં હોય છે તે સંતૃપ્ત દ્રાવણ છે અને તે દ્રાવ્યનો દ્રાવણના આપેલા જથ્થામાં મહત્તમ જથ્થો છે. આમ, આવા દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની સાંદ્રતા તેની દ્રાવ્યતા છે.

આપણે અગાઉ જોયું કે એક પદાર્થની બીજામાં દ્રાવ્યતા પદાર્થના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. આ ચલ (variable) ઉપરાંત બે બીજા પરિબળો એટલે કે તાપમાન અને દબાણ આ પરિઘટનાનું નિયંત્રણ કરે છે.

તાપમાનની અસર :

ઘનની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા તાપમાનના ફેરફાર સાથે સૂચક રીતે અસર પામે છે. સમીકરણ (2.10) દ્વારા રજૂ કરેલ સંતુલનને ધ્યાનમાં લઈએ. આ ગતિશીલ સંતુલન હોવાથી તે **લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત**ને અનુસરશે. સામાન્ય રીતે જો લગભગ સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં વિલયન પ્રક્રિયા ઉષ્માશોષક છે ($\Delta_{sol} H > 0$), તો તાપમાનના વધારા સાથે દ્રાવ્યતા વધશે અને જો પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક હશે, તો ($\Delta_{sol} H < 0$) દ્રાવ્યતા ઘટશે. આ વલણનું પ્રાયોગિક રીતે અવલોકન કરી શકાય.

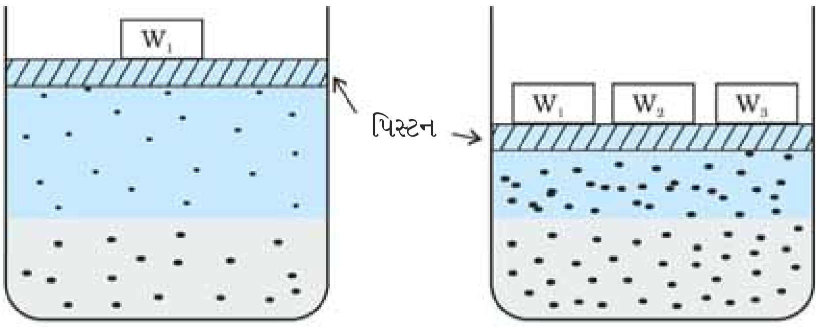
દબાણની અસર :

દબાણની ઘનની દ્રાવ્યતા પર કોઈ સૂચક અસર હોતી નથી. આ એટલા માટે કે ઘન અને પ્રવાહી ખૂબ જ અસંકોચનીય હોય છે અને પ્રાયોગિક રીતે દબાણના ફેરફારથી બિનઅસરકારક રહેશે.

2.3.2 વાયુની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા (Solubility of a Gas in a Liquid)

ઘણા વાયુઓ પાણીમાં ઓગળે છે. ઑક્સિજન પાણીમાં ઘણી ઓછી માત્રામાં ઓગળે છે. આ એ ઓગળેલો ઑક્સિજન છે જે જળચરના જીવનને ટકાવી રાખે છે. બીજી બાજુ પર હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ (HCl) પાણીમાં ખૂબ જ દ્રાવ્ય છે. વાયુની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા દબાણ અને તાપમાનથી વધારે અસર પામે છે. વાયુની દ્રાવ્યતા

દબાણના વધારા સાથે વધે છે. પ્રવાહી દ્રાવકમાં વાયુના દ્રાવણ માટે આકૃતિ 2.1 (a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણેની પ્રણાલી લઈએ. નીચેનો ભાગ દ્રાવણ છે અને ઉપરનો ભાગ P દબાણે અને T તાપમાને વાયુમય પ્રણાલીનો ભાગ છે. આ પ્રણાલીને ગતિશીલ સંતુલન અવસ્થામાં હોવાનું ધારો. એટલે કે આ પરિસ્થિતિમાં દ્રાવણમાં દાખલ થતા અને દ્રાવણ કલાને છોડી દેતા વાયુના કણોના વેગ સરખા છે. હવે, આકૃતિ 2.1 (b)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે દ્રાવણ કલાની ઉપર વાયુને દબાવીને દબાણ વધારો. આથી દ્રાવણના પ્રતિ એકમ કદના વાયુમય કણોની સંખ્યા વધશે અને વેગ જેમાં વાયુમય કણો દ્રાવણની સપાટીને અથડાય છે તે પણ વધશે. વાયુની દ્રાવ્યતા નવું સંતુલન સ્થપાશે નહિ ત્યાં સુધી વધશે. આને પરિણામે દ્રાવણની ઉપર વાયુનું દબાણ વધશે અને તેથી દ્રાવ્યતા વધશે.

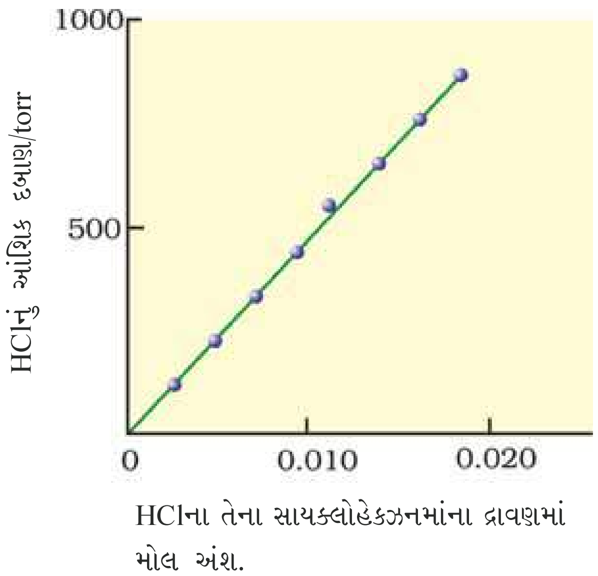


(a) (b)

આકૃતિ 2.1 : વાયુની દ્રાવ્યતા પર દબાણની અસર. ઓગળેલા વાયુની સાંદ્રતા દ્રાવણ પરના વાયુના દબાણના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

હેન્રી (Henry) સૌપ્રથમ વૈજ્ઞાનિક હતા. જેમણે દબાણ અને વાયુની દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા વચ્ચે જથ્થાત્મક સંબંધ આપ્યો જે હેન્રીના નિયમ તરીકે ઓળખાય છે. આ નિયમ નિવેદિત કરે છે કે, અચળ તાપમાને પ્રવાહીમાં વાયુની દ્રાવ્યતા દ્રાવણની સપાટી પર રહેલા વાયુના આંશિક દબાણના સમપ્રમાણમાં હોય છે. ડાલ્ટન જે હેન્રીનો સમકાલીન હતો તેણે પણ સ્વતંત્ર રીતે તારવ્યું હતું કે પ્રવાહી દ્રાવણમાં વાયુની દ્રાવ્યતા વાયુના આંશિક દબાણનો અવયવ (factor) છે. જો આપણે દ્રાવણમાંના વાયુના મોલ અંશનો ઉપયોગ માપન તરીકે કરીએ, તો એમ કહી શકાય કે, દ્રાવણમાંના વાયુના મોલ અંશ દ્રાવણ ઉપરના વાયુના આંશિક દબાણને સમપ્રમાણ હોય છે. હેન્રીના નિયમનું ખૂબ જ સામાન્ય રીતે વપરાતું સ્વરૂપ નિવેદિત કરે છે કે 'બાષ્પ કલામાં વાયુનું આંશિક દબાણ (*p*) દ્રાવણમાંના વાયુના મોલ અંશ (*x*)ને સમપ્રમાણ હોય છે.' અને તેને આ પ્રમાણે અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

$$p = K_H x \qquad (2.11)$$



આકૃતિ 2.2 : 293 K તાપમાને HCl વાયુની સાયક્લોહેક્ઝેનમાં દ્રાવ્યતા માટેનાં પ્રાયોગિક પરિણામ. રેખાનો ઢાળ હેન્રીના નિયમનો અચળાંક K_H છે.

અહીંયા K_H હેન્રીના નિયમનો અચળાંક છે. જો આપણે વાયુના આંશિક દબાણ વિરુદ્ધ દ્રાવણમાં વાયુના મોલ અંશનો આલેખ દોરીએ, તો આપણે આકૃતિ 2.2માં દર્શાવ્યા પ્રમાણેના પ્રકારનો આલેખ મળવો જોઈએ.

સમાન તાપમાને જુદા જુદા વાયુઓને K_Hના મૂલ્યો અલગ અલગ હોય છે. આ સૂચવે છે કે K_H વાયુના સ્વભાવનું વિધેય (function) છે.

સમીકરણ (2.11)માંથી એ સ્વભાવિક છે કે આપેલ દબાણે K_Hનું ઊંચું મૂલ્ય પ્રવાહીમાં વાયુની ઓછી દ્રાવ્યતા સૂચવે છે. કોષ્ટક 2.2 પરથી જોઈ શકાશે કે N_2 અને O_2 બંને માટે K_Hના મૂલ્યો તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે જે સૂચવે છે કે વાયુની દ્રાવ્યતા તાપમાનના ઘટાડા સાથે વધે છે. આ કારણને લીધે જ

કોષ્ટક 2.2 : કેટલાક પસંદ કરેલા વાયુના પાણીમાં હેન્રી નિયમના અચળાંકના મૂલ્યો

વાયુ	તાપમાન/K	K_H / kbar	વાયુ	તાપમાન/K	K_H / kbar
He	293	144.97	આર્ગોન	298	40.3
H_2	293	69.16	CO_2	298	1.67
N_2	293	76.48	ફોર્માલ્ડિહાઇડ	298	1.83×10^{-5}
N_2	303	88.84			
O_2	293	34.86	મિથેન	298	0.413
O_2	303	46.82	વિનાઇલ એસિટેટ	298	0.611

જળચર સ્પિસીઝ ગરમ પાણી કરતાં ઠંડા પાણીમાં વધુ સગવડપૂર્વક રહે છે.

કોયડો 2.4 જો નાઇટ્રોજન વાયુને 293 K તાપમાને પાણીમાંથી પસાર કરવામાં આવે, તો 1 લિટર પાણીમાં કેટલા મિલિમોલ N_2 વાયુ ઓગળશે ? એવું ધારો કે N_2 0.987bar આંશિક દબાણ સર્જે છે. N_2 માટે 293 તાપમાને હેન્રીના નિયમનો અચળાંક 76.48 kbar આપેલ છે.

ઉકેલ : વાયુની દ્રાવ્યતા જલીય દ્રાવણમાં તેના મોલ અંશ સાથે સંબંધિત છે. વાયુના દ્રાવણમાં મોલ અંશ ગણીને હેન્રીનો નિયમ લાગુ પાડી દ્રાવ્યતા ગણી શકાય.

$$x(\text{nitrogen}) = \frac{\text{p (nitrogen)}}{K_H} = \frac{0.987\text{bar}}{76480\text{bar}} = 1.29 \times 10^{-5}$$

1 લિટર પાણી તેના 55.5 મોલ ધરાવે છે, તેથી જો N_2 વાયુના દ્રાવણમાં n મોલ હોય, તો

$$x(\text{nitrogen}) = \frac{\text{n mol}}{\text{n mol} + 55.5\text{ mol}} = \frac{\text{n}}{55.5} = 1.29 \times 10^{-5}$$

(છેદમાંનો n અવગણ્ય ગણીએ છીએ કારણ કે તે $<< 55.5$ છે.)

આમ, $n = 1.29 \times 10^{-5} \times 55.5 \text{ mol} = 7.16 \times 10^{-4} \text{ mol}$

$$= \frac{7.16 \times 10^{-4}\text{ mol} \times 1000\text{m mol}}{1\text{ mol}} = 0.716\text{ mmol.}$$

હેન્રીના નિયમના ઘણા અનુપ્રયોગો ઉદ્યોગમાં થાય છે અને કેટલીક જીવશાસ્ત્રીય પરિઘટનાઓ સમજાવે છે. આમાંના નોંધવાપાત્ર આ પ્રમાણે છે :

- હળવા પીણા અને સોડાવૉટરમાં CO_2ની સાંદ્રતા વધારવા માટે બૉટલને ઊંચા દબાણ હેઠળ બંધ કરવામાં આવે છે.
- સ્કુબા (scuba) ડાઈવર અંતર્જલમાં (underwater) ઊંચા દબાણે જ્યારે શ્વસન કરે છે ત્યારે ઓગળેલા વાયુઓની ઊંચી સાંદ્રતા સાથે મેળ પાડવો પડે છે. દબાણનો વધારો લોહીમાં વાતાવરણીય વાયુઓની દ્રાવ્યતા વધારે છે. જ્યારે મરજીવા સપાટી પર આવે છે ત્યારે દબાણ ધીમે ધીમે ઘટે છે. આ ઓગળેલા વાયુઓને મુક્ત કરે છે અને લોહીમાં નાઇટ્રોજનના પરપોટા પેદા કરે છે. આ કેશનળીઓને બંધ (block) કરે છે અને વૈદકીય રીતે જાણીતી પરિસ્થિતિ બેન્ડ્સ (bends) રચે છે જે પીડાકારી અને જીવનને ભયરૂપ હોય છે.

આવા બેન્ડ્સને દૂર રાખવા અને લોહીમાં નાઇટ્રોજનની ઊંચી સાંદ્રતાની વિષાલુ અસરોને પણ દૂર રાખવા માટે સ્કુબા મરજીવા હિલિયમ વડે મંદ કરેલી હવા (11.7 % હિલિયમ, 56.2 % નાઇટ્રોજન અને 32.1 % ઑક્સિજન) ભરેલી ટાંકીઓનો ઉપયોગ કરે છે.

- વધુ ઊંચાઈએ ઑક્સિજનનું આંશિક દબાણ ભૂમિ સ્તર કરતાં ઓછું હોય છે. આ વધુ ઊંચાઈએ રહેતા લોકો અથવા પર્વતારોહકોના લોહી અને ઉત્તક (પેશી) (tissue)માં ઑક્સિજનની ઓછી સાંદ્રતા તરફ દોરી જાય છે. ઓછો રક્ત ઑક્સિજન પર્વતારોહકો માટે નબળા બનવા, સ્પષ્ટ રીતે વિચારી નહિ શકવાના કારણરૂપ બને છે. આ ચિહ્નો 'એનોક્સિયા' (anoxia) તરીકે ઓળખાતી બીમારીના છે.

તાપમાનની અસર :

વાયુઓની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા તાપમાનના વધારા સાથે ઘટે છે. જ્યારે ઓગળેલા હોય છે ત્યારે વાયુના અણુઓ પ્રવાહી કલામાં હોય છે અને વિલયનની પ્રક્રિયાને સંઘનન (condensation) સાથે સરખાવી શકીએ અને આ પ્રક્રિયામાં ઉષ્મા ઉદ્ભવે છે. આપણે છેલ્લા વિભાગમાં અભ્યાસ કર્યો કે વિલયન પ્રક્રિયા ગતિશીલ સંતુલનને સમાવિષ્ટ કરે છે અને તેથી તેણે **લ શેટેલીયરના નિયમ**ને અનુસરવું જોઈએ. વિલયન ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા હોવાથી તાપમાનના વધારા સાથે દ્રાવ્યતા ઘટવી જોઈએ.

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

2.6 H_2S એક વિષાલુ વાયુ જે સડેલા ઈંડાં જેવી વાસ ધરાવે છે તેનો ઉપયોગ ગુણાત્મક પૃથક્કરણમાં કરવામાં આવે છે. જો H_2Sની પાણીમાં દ્રાવ્યતા STP એ 0.195 m હોય, તો હેન્રી અચળાંકની ગણતરી કરો.

2.7 પાણીમાં CO_2 માટેનો હેન્રીનો અચળાંક 298 K તાપમાને 1.67×10^8 Pa છે. 298 K તાપમાને 2.5 atm CO_2 દબાણ હેઠળ સંકુલિત કરેલા 500 mL સોડાવૉટરમાંના CO_2ના જથ્થાની ગણતરી કરો.

2.4 પ્રવાહી દ્રાવણોના બાષ્પ દબાણ (Vapour Pressure of Liquid Solutions)

પ્રવાહી દ્રાવણો જ્યારે દ્રાવક પ્રવાહી હોય ત્યારે રચાય છે. દ્રાવ્ય વાયુ, પ્રવાહી કે ઘન હોઈ શકે. પ્રવાહીમાં વાયુઓના દ્રાવણોની ચર્ચા વિભાગ 2.3.2માં કરી ચૂક્યા છીએ. આ વિભાગમાં, આપણે પ્રવાહીના અને ઘનના પ્રવાહીમાં દ્રાવણોની ચર્ચા કરીશું. આવા દ્રાવણો એક અથવા વધુ બાષ્પશીલ ઘટક ધરાવતા હોય છે. સામાન્યરીતે, પ્રવાહી દ્રાવક બાષ્પશીલ હોય છે. દ્રાવ્ય બાષ્પશીલ હોય કે ન પણ હોય. આપણે માત્ર દ્વિઅંગી દ્રાવણોની એટલે કે બે ઘટકો ધરાવતા દ્રાવણો જેમ કે (i) પ્રવાહીમાં પ્રવાહી અને (ii) પ્રવાહીમાં ઘનની ચર્ચા કરીશું.

2.4.1 પ્રવાહી-પ્રવાહી દ્રાવણના બાષ્પ દબાણ (Vapour Pressure of Liquid-Liquid Solutions)

આપણે બે બાષ્પશીલ પ્રવાહીના દ્વિઅંગી દ્રાવણને ધ્યાનમાં લઈએ અને બે ઘટકોને 1 અને 2 તરીકે દર્શાવીએ. જો બંધ પાત્રમાં લઈએ તો બંને ઘટકો બાષ્પીભવન પામશે અને સંજોગવશાત્ બાષ્પકલા અને પ્રવાહીકલા વચ્ચે સંતુલન સ્થપાશે. આ તબક્કે ધારો કે કુલ બાષ્પદબાણ P_{total} છે અને P_1 અને P_2 ઘટક 1 અને 2ના અનુક્રમે આંશિક બાષ્પદબાણ છે. આ બંને આંશિક બાષ્પદબાણ ઘટક 1 અને 2ના મોલ અંશ અનુક્રમે x_1 અને x_2 સાથે સંબંધિત છે.

ફ્રેન્ચ રસાયણશાસ્ત્રી ફ્રેન્કોઈસ માર્ટે રાઉલ્ટ (Francois Marte Raoult) (1886) તેમની વચ્ચે જથ્થાત્મક સંબંધ દર્શાવ્યો. આ સંબંધને રાઉલ્ટનો નિયમ કહે

છે જે નિવેદિત કરે છે કે બાષ્પશીલ પ્રવાહીના દ્રાવણ માટે દ્રાવણના દરેક ઘટકનું **આંશિક બાષ્પદબાણ દ્રાવણમાં રહેલા તેના મોલ અંશના સમપ્રમાણમાં હોય છે.** આથી ઘટક 1 માટે,

$$p_1 \propto x_1$$

અને $p_1 = p_1^0 \, x_1$ (2.12)

જ્યાં p_1^0 શુદ્ધ ઘટક 1નું બાષ્બદબાણ તે જ તાપમાને છે.

એ જ પ્રમાણે ઘટક 2 માટે,

$$p_2 = p_2^0 \, x_2 \tag{2.13}$$

જ્યાં p_2^0 શુદ્ધ ઘટક 2નું બાષ્પદબાણ દર્શાવે છે.

ડાલ્ટનના આંશિક દબાણના નિયમ પ્રમાણે, પાત્રમાંની દ્રાવણ કલાનું કુલ દબાણ (p_{total}) દ્રાવણના બંને ઘટકોના બાષ્પદબાણના સરવાળા બરાબર થશે અને તેને આ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$p_{total} = p_1 + p_2 \tag{2.14}$$

p_1 અને p_2ના મૂલ્યો મૂકતાં મળશે.

$$p_{total} = x_1 p_1^0 + x_2 p_2^0$$

$$= (1 - x_2)\, p_1^0 + x_2 p_2^0 \tag{2.15}$$

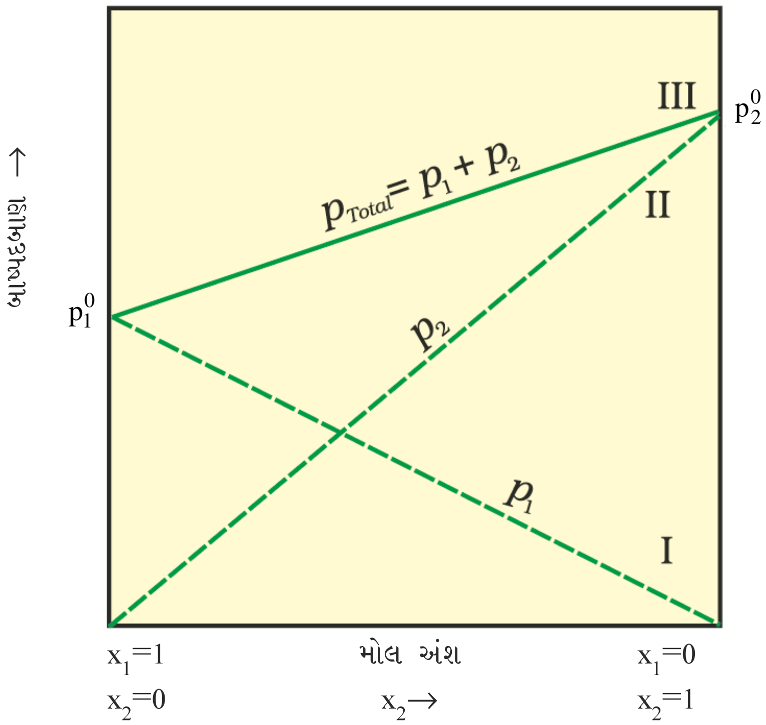
$$= p_1^0 + (p_2^0 - p_1^0)\, x_2 \tag{2.16}$$

(2.16) સમીકરણ પરથી નીચેનાં તારણો કાઢી શકાય.

(i) દ્રાવણ પરનું કુલ બાષ્પ દબાણ ગમે તે એક ઘટકના મોલ અંશની સાથે સંબંધિત છે.

(ii) દ્રાવણ પરનું કુલ બાષ્પદબાણ ઘટક 2ના મોલ અંશ સાથે રેખિય રીતે ચલિત થાય છે.

(iii) શુદ્ધ ઘટક 1 અને 2ના બાષ્પદબાણ પર આધારિત દ્રાવણ પર કુલ બાષ્પદબાણ ઘટક 1ના મોલ અંશના વધારા પ્રમાણે ઘટે છે કે વધે છે.



આકૃતિ 2.3 : અચળ તાપમાને આદર્શ દ્રાવણના બાષ્પદબાણ અને મોલ અંશનો આલેખ. તૂટક રેખા I અને II ઘટકોના આંશિક દબાણ દર્શાવે છે (આલેખમાંથી જોઈ શકાય છે કે p_1 અને p_2 અનુક્રમે x_1 અને x_2ને સમપ્રમાણમાં છે) કુલ બાષ્પદબાણ આકૃતિમાં III વડે ચિહ્નિત કરેલ રેખા દ્વારા દર્શાવેલ છે.

દ્રાવણ માટે p_1 અથવા p_2નો મોલ અંશ x_1 અને x_2 વિરુદ્ધ આલેખ દોરતાં આકૃતિ 2.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે મળે છે. આ રેખાઓ (I અને II) x_1 અને x_2 નું મૂલ્ય એકમ હોય ત્યારે અનુક્રમે p_1^0 અને p_2^0 બિંદુમાંથી પસાર થતી રેખાઓ છે. એ જ પ્રમાણે p_{total} વિરુદ્ધ x_2નો આલેખ (રેખા III) પણ રેખીય છે (આકૃતિ 2.3). p_{total} નું નિમ્નતમ મૂલ્ય p_1^0 છે અને મહત્તમ મૂલ્ય p_2^0 છે, એમ ધારીને કે ઘટક 1 ઘટક 2 કરતાં ઓછો બાષ્પશીલ છે એટલે કે $p_1^0 < p_2^0$.

દ્રાવણ સાથે સંતુલનમાં રહેલી બાષ્પકલાનું સંઘટન ઘટકોના આંશિક દબાણથી નક્કી કરી શકાય છે. જો y_1 અને y_2

ઘટક 1 અને 2ના અનુક્રમે બાષ્પકલામાં મોલ અંશ છે, તો ડાલ્ટનના આંશિક દબાણના નિયમનો ઉપયોગ કરીને,

$$p_1 = y_1\ p_{total} \quad (2.17)$$

$$p_2 = y_2\ p_{total} \quad (2.18)$$

સામાન્ય રીતે

$$p_i = y_i\ p_{total} \quad (2.19)$$

કોયડો 2.5 298 K તાપમાને ક્લોરોફૉર્મ ($CHCl_3$) અને ડાયક્લોરોમિથેન (CH_2Cl_2)ના બાષ્પદબાણ અનુક્રમે 200 mm Hg અને 415 mm Hg છે. (i) 298 K તાપમાને 25.5 g $CHCl_3$ અને 40 g CH_2Cl_2 ને મિશ્ર કરી બનાવેલા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ ગણો અને (ii) બાષ્પકલામાં દરેક ઘટકનો મોલ અંશ ગણો.

ઉકેલ (i) CH_2Cl_2નું મોલર દળ $= 12 \times 1 + 1 \times 2 + 35.5 \times 2 = 85\ g\ mol^{-1}$

$CHCl_3$નું મોલર દળ $= 12 \times 1 + 1 \times 1 + 35.5 \times 3 = 119.5\ g\ mol^{-1}$

$$CH_2Cl_2\text{ના મોલ} = \frac{40\ g}{85\ g\ mol^{-1}} = 0.47\ mol$$

$$CHCl_3\text{ના મોલ} = \frac{25.5\ g}{119.5\ g\ mol^{-1}} = 0.213\ \text{મોલ}$$

કુલ મોલની સંખ્યા $= 0.47 + 0.213 = 0.683$ મોલ

$$x_{CH_2Cl_2} = \frac{0.47\ mol}{0.683\ mol} = 0.688$$

$$x_{CHCl_3} = 1.00 - 0.688 = 0.312$$

સમીકરણ (2.16)નો ઉપયોગ કરીને

$$p_{total} = p_1^0 + (p_2^0 - p_1^0)\, x_2 = 200 + (415 - 200) \times 0.688$$

$$= 200 + 147.9 = 347.9\ mm\ Hg$$

(ii) સમીકરણ (2.19)નો ઉપયોગ કરીને $y_i = p_i/p_{total}$, આપણે વાયુકલામાં ઘટકોના મોલ અંશ (y_i) ગણી શકીએ.

$$p_{CH_2Cl_2} = 0.688 \times 415\ mm\ Hg = 285.5\ mm\ Hg$$

$$p_{CHCl_3} = 0.312 \times 200\ mm\ Hg = 62.4\ mm\ Hg$$

$$y_{CH_2Cl_2} = 285.5\ mmHg / 347.9\ mmHg = 0.82$$

$$y_{CHCl_3} = 62.4\ mm\ Hg / 347.9\ mm\ Hg = 0.18$$

નોંધ : CH_2Cl_2 ઘટક $CHCl_3$ કરતાં વધુ બાષ્પશીલ છે [$p^0_{CH_2Cl_2} = 415\ mm\ Hg$ અને $p^0_{CHCl_3} = 200\ mm\ Hg$] અને બાષ્પકલા પણ CH_2Cl_2 થી વધુ સમૃદ્ધ હશે [$y_{CH_2Cl_2} = 0.82$ અને $y_{CHCl_3} = 0.18$]. આથી એમ તારણ કરી શકાય કે સંતુલને જે ઘટક વધુ બાષ્પશીલ હશે તેના વડે બાષ્પકલા હંમેશાં સમૃદ્ધ થશે.

2.4.2 હેન્રીના નિયમના વિશિષ્ટ કિસ્સા તરીકે રાઉલ્ટનો નિયમ (Raoult's Law as a Special Case of Henry's Law)

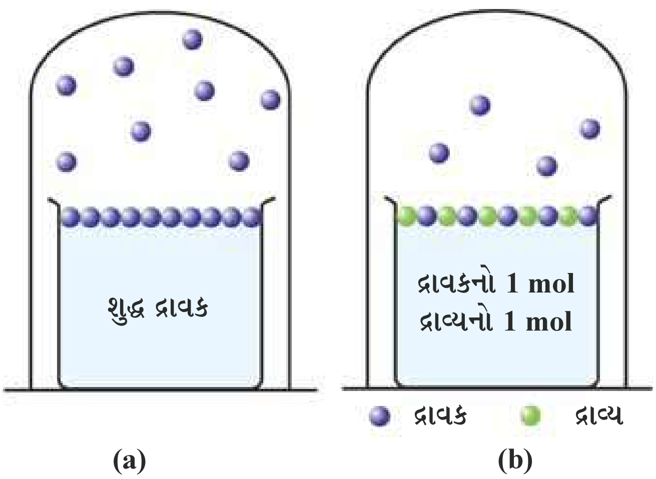
રાઉલ્ટના નિયમ પ્રમાણે, આપેલ દ્રાવણમાં બાષ્પશીલ ઘટકનું બાષ્પદબાણ $p_1 = x_1 p_1^0$ તરીકે દર્શાવી શકાય. પ્રવાહીમાં વાયુના દ્રાવણમાં એક ઘટક બાષ્પશીલ છે એટલે કે જે વાયુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે અને આપણે જોઈ ગયા છીએ કે દ્રાવ્યતા હેન્રીના નિયમ જે નીચે પ્રમાણે નિવેદિત કરેલ છે તે મુજબ આપી શકાય.

$$p = K_H x.$$

જો આપણે રાઉલ્ટનો નિયમ અને હેન્રીનો નિયમ સરખાવીએ, તો જોઈ શકાશે કે બાષ્પશીલ ઘટક અથવા વાયુનું આંશિક દબાણ દ્રાવણમાંના મોલ અંશના સમપ્રમાણમાં હોય છે. માત્ર સમપ્રમાણતા અચળાંક p_1^0 માંથી K_Hમાં જ ફેરવાય છે. આમ રાઉલ્ટનો નિયમ હેન્રીના નિયમનો વિશિષ્ટ કિસ્સો થાય છે જેમાં K_H બરાબર p_1^0 થાય છે.

2.4.3 પ્રવાહીમાં ઘનના દ્રાવણના બાષ્પદબાણ (Vapour Pressure of Solutions of Solids in Liquids)

બીજો એક અગત્યનો દ્રાવણોનો વર્ગ પ્રવાહીમાં ઓગાળેલો ઘન ધરાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે સોડિયમ ક્લોરાઇડ, ગ્લુકોઝ, યૂરિયા અને ખાંડનું પાણીમાં દ્રાવણ અને આયોડિન અને સલ્ફરનું કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડમાં દ્રાવણ. આ દ્રાવણોના કેટલાક ગુણધર્મો શુદ્ધ દ્રાવકોના ગુણધર્મો કરતાં તદ્દન અલગ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, બાષ્પદબાણ. આપણે ધોરણ XIના એકમ 5માં અભ્યાસ કર્યો કે પ્રવાહી આપેલ તાપમાને બાષ્પીભવન પામે છે અને સંતુલન પરિસ્થિતિમાં બાષ્પ દ્વારા પ્રવાહી ઉપર દબાણ ઉત્પન્ન થાય છે આ દબાણને બાષ્પદબાણ કહેવામાં આવે છે (આકૃતિ 2.4 a). શુદ્ધ પ્રવાહીમાં સંપૂર્ણ સપાટી પ્રવાહીના અણુઓથી રોકાયેલ હોય છે. જો અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય દ્રાવકમાં ઉમેરવામાં આવે, તો (આકૃતિ 2.4 (b)), દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ માત્ર દ્રાવકમાંથી જ હોય છે. આપેલ તાપમાને દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ તે જ તાપમાને શુદ્ધ દ્રાવકના બાષ્પદબાણ કરતાં ઓછું હોય છે. દ્રાવણમાં સપાટી પર બંને દ્રાવ્ય અને દ્રાવકના અણુ હોય છે; આથી દ્રાવકના અણુ વડે રોકાયેલ કુલ સપાટીનો કેટલોક ભાગ ઘટે છે. પરિણામે, સપાટી પરથી છૂટા પડી જતાં દ્રાવક અણુઓની સંખ્યા ઘટે છે. આથી બાષ્પદબાણ પણ ઘટે છે.



આકૃતિ 2.4 : દ્રાવ્યની દ્રાવકમાં હાજરીને લીધે દ્રાવકના બાષ્પદબાણમાં થતો ઘટાડો (a) દ્રાવકની સપાટી પરથી તેના અણુઓનું બાષ્પીભવન ● વડે દર્શાવેલ છે. (b) દ્રાવણમાં, દ્રાવ્યના કણોને ● વડે દર્શાવેલ છે અને તે સપાટીના ક્ષેત્રફળનો કેટલોક ભાગ રોકે છે.

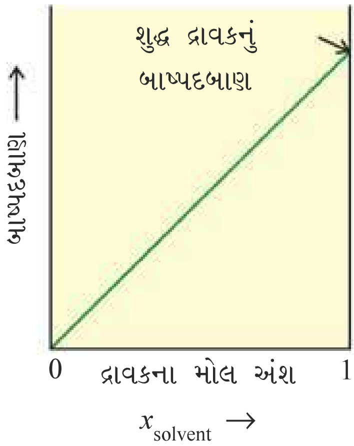
દ્રાવકના બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો દ્રાવણમાં રહેલા અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યના તેના સ્વભાવથી સ્વતંત્ર રીતે જથ્થા પર આધાર રાખે છે. ઉદાહરણ તરીકે 1.0 mol સુક્રોઝ એક kg પાણીમાં ઉમેરવાથી થતો બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો, 1.0 mol યૂરિયા સરખા જથ્થાના પાણીમાં સમાન તાપમાને ઉમેરતાં મળતા ઘટાડા જેટલો હોય છે.

સામાન્ય રૂપમાં રાઉલ્ટનો નિયમ નિવેદિત કરી શકાય કે કોઈ પણ દ્રાવણ માટે, દ્રાવણમાંના દરેક બાષ્પશીલ ઘટકનું આંશિક બાષ્પદબાણ તેના મોલ અંશને સમપ્રમાણ હોય છે.

દ્વિઅંગી દ્રાવણમાં આપણે દ્રાવકને 1 અને દ્રાવ્યને 2 તરીકે દર્શાવીએ. જ્યારે દ્રાવ્ય અબાષ્પશીલ હોય ત્યારે માત્ર દ્રાવકના અણુઓ જ બાષ્પકલામાં હોય છે અને તે બાષ્પદબાણમાં ફાળો આપે છે. ધારો કે P_1 દ્રાવકનું બાષ્પદબાણ છે, x_1 તેનો મોલ અંશ છે, p_1^0 શુદ્ધ અવસ્થામાં તેનું બાષ્પદબાણ છે, તો રાઉલ્ટના નિયમ

આકૃતિ 2.5 :

જો દ્રાવણ બધી જ સાંદ્રતા માટે રાઉલ્ટના નિયમને અનુસરે, તો તેનું બાષ્પદબાણ શૂન્યથી શુદ્ધ દ્રાવકના બાષ્પદબાણ સુધી રેખીય રીતે ચલિત થશે.



પ્રમાણે

$$p_1 \propto x_1$$

અને $p_1 = x_1 p_1^0$ (2.20)

સમપ્રમાણતા અચળાંક શુદ્ધ દ્રાવકના બાષ્પદબાણ p_1^0 બરાબર હોય છે. બાષ્પદબાણ અને દ્રાવકના મોલ અંશનો આલેખ રેખીય છે (આકૃતિ 2.5).

2.5 આદર્શ અને બિનઆદર્શ દ્રાવણો (Ideal and Non-ideal Solutions)

પ્રવાહી - પ્રવાહી દ્રાવણોને રાઉલ્ટના નિયમના આધારે આદર્શ અને બિનઆદર્શ દ્રાવણો તરીકે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે.

2.5.1 આદર્શ દ્રાવણો (Ideal Solutions)

સાંદ્રતાના સંપૂર્ણ ગાળા દરમિયાન જે દ્રાવણો રાઉલ્ટના નિયમનું પાલન કરે છે તેમને *આદર્શ દ્રાવણો* કહે છે. આદર્શ દ્રાવણોને બીજા બે ગુણધર્મો હોય છે. દ્રાવણ બનાવવા માટે શુદ્ધ ઘટકોની મિશ્રણની એન્થાલ્પી શૂન્ય હોય છે અને મિશ્રણનું કદ પણ શૂન્ય હોય છે એટલે કે,

$$\Delta_{mix} H = 0 \qquad \Delta_{mix} V = 0 \qquad (2.21)$$

આનો અર્થ એમ થાય છે કે જ્યારે ઘટકોને મિશ્ર કરવામાં આવે છે ત્યારે ઉષ્મા શોષાતી પણ નથી અને ઉત્પન્ન પણ થતી નથી. વળી દ્રાવણનું કદ બંને ઘટકોના કદના સરવાળા બરાબર થશે. આણ્વીય સ્તરે, દ્રાવણની આદર્શ વર્તણૂક બે ઘટકો A અને Bને ધ્યાનમાં લઈને સમજાવી શકીએ. શુદ્ધ ઘટકોમાં આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ પારસ્પરિક ક્રિયા A-A અને B-B પ્રકારની હશે. જ્યારે દ્વિઅંગી દ્રાવણમાં આ બંને પારસ્પરિક પ્રક્રિયા ઉપરાંત A-B પ્રકારની પારસ્પરિક ક્રિયા પણ હાજર હશે. જો A-A અને B-B વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળો લગભગ A-B જેટલા જ હશે, તો તે આદર્શ દ્રાવણની રચનામાં પરિણમશે. સંપૂર્ણ આદર્શ દ્રાવણ દુર્લભ છે. પરંતુ કેટલાક દ્રાવણો વર્તણૂકમાં લગભગ આદર્શ હોય છે. n-હેક્ઝેન અને n-હેપ્ટેન, બ્રોમોઇથેન અને ક્લોરોઇથેન, બેન્ઝિન અને ટોલ્યુઇન વગેરેના દ્રાવણો આ વિભાગમાં સમાવિષ્ટ થાય છે.

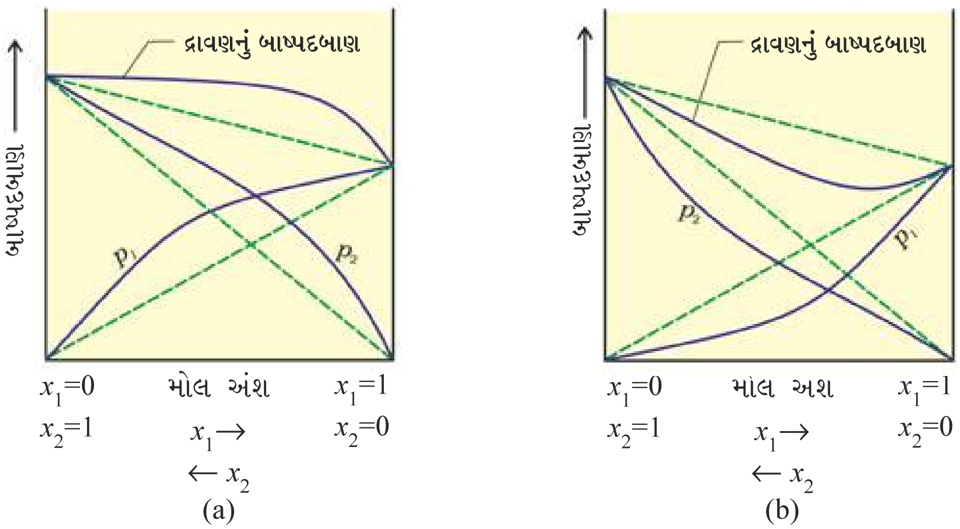
2.5.2 બિનઆદર્શ દ્રાવણો (Non-ideal Solutions)

જ્યારે દ્રાવણો સાંદ્રતાના સમગ્ર ગાળા દરમિયાન રાઉલ્ટનો નિયમ પાળતા નથી, ત્યારે તેમને બિનઆદર્શ દ્રાવણ કહેવામાં આવે છે. આવા દ્રાવણના બાષ્પદબાણ રાઉલ્ટના નિયમ (સમીકરણ 2.16) પ્રમાણે અનુમાનિત કરેલા બાષ્પદબાણ કરતાં વધારે અથવા ઓછું હોય છે. જો તે વધારે હોય તો દ્રાવણ **ધન વિચલન** દર્શાવે છે અને જો ઓછું હોય તો રાઉલ્ટના નિયમથી **ઋણ વિચલન** દર્શાવે છે. આવા દ્રાવણોના બાષ્પદબાણને મોલ અંશના ફલક તરીકેના આલેખ આકૃતિ 2.6માં દર્શાવ્યા છે.

આ વિચલનનું કારણ આણ્વીય સ્તરે તેમના પારસ્પરિક પ્રક્રિયાના સ્વભાવમાં રહેલ છે. રાઉલ્ટના નિયમથી ધન વિચલનની બાબતમાં A-B પારસ્પરિક ક્રિયાઓ A-A અથવા B-B કરતાં નબળી હોય છે. આ કિસ્સામાં દ્રાવ્ય-દ્રાવક અણુઓ વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળો દ્રાવ્ય-દ્રાવ્ય અને દ્રાવક-દ્રાવક આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળો કરતાં નબળાં હોય છે. આનો અર્થ એમ થાય કે આવા દ્રાવણોમાં A(અથવા B)ના અણુઓ શુદ્ધ અવસ્થા કરતાં વધુ સરળતાથી છટકી શકશે.

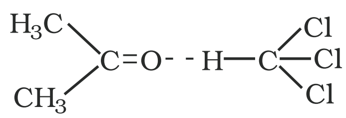
આકૃતિ 2.6 :

બે ઘટક પ્રણાલીના બાષ્પદબાણ સંઘટનના વિધેય તરીકે (a) રાઉલ્ટના નિયમથી ધન વિચલન દર્શાવતું દ્રાવણ અને (b) રાઉલ્ટના નિયમથી ઋણ વિચલન દર્શાવતું દ્રાવણ.



આ બાષ્પદબાણમાં વધારો કરશે અને ધન વિચલનમાં પરિણમશે. ઈથેનોલ અને એસિટોનના મિશ્રણ આ રીતે વર્તે છે. શુદ્ધ ઈથેનોલમાં અણુઓ હાઈડ્રોજન બંધિત હોય છે એસિટોન ઉમેરવાથી તેના અણુઓ યજમાન અણુઓની વચ્ચે ગોઠવાય છે અને તેમની વચ્ચેના કેટલાક હાઈડ્રોજન બંધ તોડી નાંખે છે. પારસ્પરિક ક્રિયા નબળી થવાને લીધે દ્રાવણ રાઉલ્ટના નિયમથી ધન વિચલન દર્શાવે છે [આકૃતિ 2.6 (a)]. કાર્બન ડાયસલ્ફાઈડને એસિટોનમાં ઉમેરતાં બનતા દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય-દ્રાવક વચ્ચેની દ્વિધ્રુવીય પારસ્પરિક ક્રિયા દ્રાવ્ય-દ્રાવ્ય અને દ્રાવક-દ્રાવક અણુઓ વચ્ચેની અનુવર્તી પારસ્પરિક ક્રિયા કરતાં નબળી પડે છે. આ દ્રાવણ ધન વિચલન દર્શાવે છે.

રાઉલ્ટના નિયમથી ઋણ વિચલનના કિસ્સામાં A-A અને B-B વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળો A-B વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય આકર્ષણ બળો કરતાં વધુ નબળા હોય છે જેને લીધે બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો થાય છે. જેને પરિણામે ઋણ વિચલન થાય છે. ફીનોલ અને એનીલિનનું મિશ્રણ આ પ્રકારનું ઉદાહરણ છે. આ કિસ્સામાં ફિનોલિક પ્રોટોન અને એનીલીનના નાઇટ્રોજનના અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉન યુગ્મ વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય હાઇડ્રોજન બંધ, એક જ પ્રકારના અણુઓ વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય હાઇડ્રોજન બંધ કરતાં વધુ પ્રબળ હોય છે. આ જ પ્રમાણે ક્લોરોફૉર્મ અને એસિટોનનું મિશ્રણ એવું દ્રાવણ બનાવે છે જે રાઉલ્ટના નિયમથી ઋણ વિચલન દર્શાવે છે. આનું કારણ એ છે કે ક્લોરોફૉર્મ એસિટોન અણુ સાથે હાઇડ્રોજન બંધ રચી શકે છે જે નીચે દર્શાવેલ છે.



આ દરેક ઘટકના અણુઓનું છટકી જવાનું વલણ ઘટાડે છે. જેના પરિણામે બાષ્પદબાણ ઘટે છે અને પરિણામે રાઉલ્ટના નિયમથી ઋણ વિચલન દર્શાવે છે [આકૃતિ 2.6(b)].

કેટલાક પ્રવાહીઓને મિશ્ર કરતાં **એઝિયોટ્રોપ** રચે છે જે દ્વિઅંગી મિશ્રણ છે જેમાં પ્રવાહી અને બાષ્પ અવસ્થાના સંઘટન સરખા હોય છે અને અચળ તાપમાને ઉકળે છે. આવા કિસ્સામાં વિભાગીય નિસ્યંદનથી ઘટકો અલગ કરવાનું શક્ય નથી. બે પ્રકારના એઝિયોટ્રોપ હોય છે. જેને **નિમ્નતમ ઉત્કલન એઝિયોટ્રોપ અને મહત્તમ ઉત્કલન એઝિયોટ્રોપ** કહે છે. દ્રાવણો જે રાઉલ્ટના નિયમથી વધુ ધન વિચલન દર્શાવે

છે તે વિશિષ્ટ સંઘટને નિમ્નત્તમ ઉત્કલન એઝિયોટ્રોપ રચે છે. ઉદાહરણ તરીકે, ઇથેનોલ-પાણી(ખાંડના આથવણથી મળતા)નું વિભાગીય નિસ્યંદન કદથી 95 % ઇથેનોલ ધરાવતું દ્રાવણ આપે છે. એક વખત આ સંઘટન જે એઝિયોટ્રોપ સંઘટન કહેવાય છે તે પ્રાપ્ત થયા પછી પ્રવાહી અને બાષ્પના સંઘટન સરખા હોય છે અને આગળ ઉપર અલગીકરણ થતું નથી.

જે દ્રાવણો રાઉલ્ટના નિયમથી વધુ ઋણ વિચલન દર્શાવે છે તે વિશિષ્ટ સંઘટને મહત્તમ ઉત્કલન એઝિયોટ્રોપ રચે છે. નાઇટ્રિક ઍસિડ અને પાણી આ વર્ગના એઝિયોટ્રોપનું ઉદાહરણ છે. આ એઝિયોટ્રોપને આશરે સંઘટન દળથી 68 % નાઇટ્રિક ઍસિડ અને 32 % પાણી હોય છે જેનું ઉત્કલન બિંદુ 393.5 K છે.

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

2.8 350 K તાપમાને શુદ્ધ પ્રવાહી A અને Bના બાષ્પદબાણ અનુક્રમે 450 અને 700 mm Hg છે. જો કુલ બાષ્પદબાણ 600 mm Hg હોય, તો પ્રવાહી મિશ્રણનું સંઘટન શોધો. વળી બાષ્પકલામાંનું સંઘટન શોધો.

2.6 સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો અને મોલર દળનું નિર્ધારણ (Colligative Properties and Determination of Molar Mass)

આપણે વિભાગ 2.4.3માં અભ્યાસ કર્યો કે જ્યારે અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય બાષ્પશીલ દ્રાવકમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ ઘટે છે. દ્રાવણના ઘણા બધા ગુણધર્મો બાષ્પદબાણના ઘટાડા સાથે સંકળાયેલા છે આ છે (1) દ્રાવકના બાષ્પદબાણમાં સાપેક્ષ ઘટાડો (2) દ્રાવકના ઠારબિંદુમાં અવનયન (3) દ્રાવકના ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન અને (4) દ્રાવણનું અભિસરણ (પરાસરણ) દબાણ. આ બધા જ ગુણધર્મો દ્રાવણમાં રહેલા કણોની કુલ સંખ્યા તથા દ્રાવ્ય કણોની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે નહિ કે દ્રાવ્ય કણોના સ્વભાર પર. આવા ગુણધર્મોને સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો કહે છે. (Colligative: લેટિનમાંથી coનો અર્થ એક સાથે(together), ligareનો અર્થ બાંધવું હવે પછીના વિભાગોમાં આપણે એક પછી એક આ ગુણધર્મોની ચર્ચા કરીશું.

2.6.1 બાષ્પદબાણમાં સાપેક્ષ ઘટાડો (Relative Lowering of Vapour Pressure)

આપણે વિભાગ 2.4.3માં શીખ્યા કે દ્રાવણમાં દ્રાવકનું બાષ્પદબાણ શુદ્ધ દ્રાવકના બાષ્પદબાણ કરતાં ઓછું હોય છે. રાઉલ્ટે પ્રસ્થાપિત કર્યું કે બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો ફક્ત દ્રાવ્ય કણોની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે અને તેમની ઓળખથી(identity) સ્વતંત્ર હોય છે. વિભાગ 2.4.3માં આપેલ સમીકરણ (2.20) દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ, મોલ અંશ અને દ્રાવકના બાષ્પદબાણ સાથે સંબંધ પ્રસ્થાપિત કરે છે. એટલે કે,

$$p_1 = x_1 p_1^0 \qquad (2.22)$$

દ્રાવકના બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો (Δp_1) આ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$\Delta p_1 = p_1^0 - p_1 = p_1^0 - p_1^0 x_1$$

$$= p_1^0 (1 - x_1) \qquad (2.23)$$

$1\text{-}x_1 = x_2$ છે એમ જાણીને સમીકરણ (2.23) નીચે પ્રમાણે ટૂંકું થશે.

$$\Delta p_1 = x_2 p_1^0 \qquad (2.24)$$

કેટલાક બાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ધરાવતા દ્રાવણમાં બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો જુદા જુદા દ્રાવ્યોના મોલ અંશના સરવાળા બરાબર થાય છે.

સમીકરણ (2.24) આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\frac{\Delta p_1}{p_1^0} = \frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = x_2 \qquad (2.25)$$

સમીકરણની ડાબી બાજુનું પદ અગાઉ જણાવ્યા પ્રમાણે બાષ્પદબાણનો સાપેક્ષ ઘટાડો છે અને તે દ્રાવ્યના મોલ અંશ બરાબર થાય છે. ઉપરનું સમીકરણ આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \left(\text{કારણ કે, } x_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \right) \quad (2.26)$$

અહીંયા n_1 અને n_2 અનુક્રમે દ્રાવણમાં હાજર દ્રાવક અને દ્રાવ્યના મોલ છે. મંદ દ્રાવણો માટે $n_2 << n_1$, આથી છેદમાં n_2ને અવગણતા આપણને મળશે.

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.27)$$

અથવા $$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{w_2 \times M_1}{M_2 \times w_1} \quad (2.28)$$

અહીંયા w_1 અને w_2 અનુક્રમે દ્રાવક અને દ્રાવ્યના દળ છે અને M_1 અને M_2 અનુક્રમે દ્રાવક અને દ્રાવ્યના મોલર દળ છે.

આ સમીકરણ (2.28)માંથી બીજી બધી રાશિઓ જાણીને દ્રાવ્યનું મોલર દળ (M_2) ગણી શકાય છે.

કોયડો 2.6 અમુક તાપમાને શુદ્ધ બેન્ઝિનનું બાષ્પદબાણ 0.850 bar છે. એક અબાષ્પશીલ, અવિદ્યુતવિભાજ્ય ઘનના 0.5 g વજન પદાર્થને 39.0 g બેન્ઝિનમાં (મોલર દળ 78 g mol^{-1}) ઉમેરવામાં આવ્યો. દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ 0.845 bar જણાયું. ઘન પદાર્થનું મોલર દળ કેટલું હશે ?

ઉકેલ : આપણને જાણીતા જુદા જુદા જથ્થા નીચે પ્રમાણે છે.

$$p_1^0 = 0.850 \text{ bar}; p_1 = 0.845 \text{ bar}; M_1 = 78.0 \text{ g mol}^{-1}; w_2 = 0.5 \text{ g}; w_1 = 39 \text{ g}$$

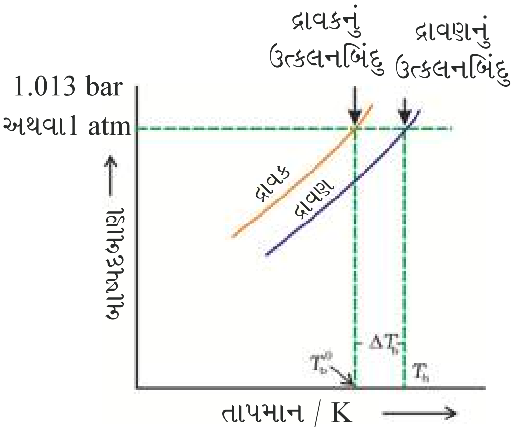
સમીકરણ (2.28)માં આ મૂલ્યો મૂકતાં આપણને મળશે.

$$\frac{0.850 \text{ bar} - 0.845 \text{ bar}}{0.850 \text{ bar}} = \frac{0.5 \text{ g} \times 78 \text{ g mol}^{-1}}{M_2 \times 39 \text{ g}}$$

$$\therefore M_2 = 170 \text{ g mol}^{-1}$$

2.6.2 ઉત્કલનબિંદુનું ઉન્નયન (Elevation of Boiling Point)

આપણે ધોરણ XIમાં એકમ 5માં અભ્યાસ કર્યો કે, પ્રવાહીનું બાષ્પદબાણ તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે. તે એ તાપમાને ઉકળે છે જ્યારે તેનું બાષ્પદબાણ વાતાવરણના દબાણ જેટલું થાય છે ત્યારે. ઉદાહરણ તરીકે, પાણી 373.15 K (100^0 C) તાપમાને ઉકળે છે કારણ કે, આ તાપમાને પાણીનું બાષ્પદબાણ 1.013 bar (1 વાતાવરણ) હોય છે. આપણે છેલ્લા વિભાગમાં એ પણ શીખ્યા કે દ્રાવકનું બાષ્પદબાણ અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યની હાજરીથી ઘટે છે. આકૃતિ 2.7 શુદ્ધ દ્રાવક અને દ્રાવણના બાષ્પદબાણનો ફેરફાર તાપમાનના વિધેય (function) તરીકે દર્શાવે છે. (આકૃતિ 2.7) ઉદાહરણ તરીકે સુકોઝનું જલીય દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ 373.15 K તાપમાને 1.013 bar કરતાં ઓછું છે. દ્રાવણને ઉકળતું કરવા માટે શુદ્ધ દ્રાવક (પાણી)ના ઉત્કલન તાપમાન કરતાં વધારે તાપમાન વધારીને 1.013 bar જેટલું દબાણ કરવું પડે.



આકૃતિ 2.7 : દ્રાવણના બાષ્પદબાણનો વક્ર શુદ્ધ દ્રાવકના બાષ્પદબાણ વક્રની નીચે છે. આકૃતિ દર્શાવે છે કે ΔT_b દ્રાવણમાં દ્રાવકના ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન દર્શાવે છે.

આમ આકૃતિ 2.7માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે શુદ્ધ દ્રાવકના ઉત્કલનબિંદુ કરતા તેમાંથી બનાવેલા દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ ઊંચુ થશે. બાષ્પદબાણ અવનયનની જેમ ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન પણ દ્રાવ્ય કણોના સ્વભાવ પર નહિ પણ તેમની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે. 1 mol સુક્રોઝનું 1000 g પાણીમાં દ્રાવણ 373.52 K તાપમાને એક વાતાવરણ દબાણે ઉકળે છે.

ધારો કે T_b^0 શુદ્ધ દ્રાવકનું ઉત્કલનબિંદુ છે અને T_b દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ છે. ઉત્કલનબિંદુમાં વધારો $\Delta T_b = T_b - T_b^0$ ને **ઉત્કલનબિંદુનું ઉન્નયન** કહે છે.

પ્રયોગોએ દર્શાવ્યું છે **મંદ દ્રાવણ** માટે ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન (ΔT_b) દ્રાવણમાંના દ્રાવ્યની મોલલ સાંદ્રતાના સમપ્રમાણમાં છે. આથી

$$\Delta T_b \propto m \tag{2.29}$$

અથવા $$\Delta T_b = K_b\, m \tag{2.30}$$

અહીંયા m (મોલાલિટી) 1 kg દ્રાવકમાં ઓગાળેલા દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા છે અને સમપ્રમાણતા અચળાંકને **ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન અચળાંક અથવા મોલલ ઉન્નયન અચળાંક (ક્વથનાંક અચળાંક)** કહે છે. K_bનો એકમ K kgmol^{-1} છે. કેટલાક સામાન્ય દ્રાવકો માટેના K_bના મૂલ્યો કોષ્ટક 2.3માં આપેલ છે. જો મોલર દળ M_2 દ્રાવ્યના w_2 ગ્રામને w_1 ગ્રામ દ્રાવકમાં ઓગળવામાં આવે તો દ્રાવણની મોલાલિટી m નીચે પ્રમાણે અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

$$m = \frac{w_2 / M_2}{w_1 / 1000} = \frac{1000 \times w_2}{M_2 \times w_1} \tag{2.31}$$

મોલાલિટીનું મૂલ્ય સમીકરણ (2.30)માં મૂકતાં

$$\Delta T_b = \frac{K_b \times 1000 \times w_2}{M_2 \times w_1} \tag{2.32}$$

$$\therefore\ M_2 = \frac{1000 \times w_2 \times K_b}{\Delta T_b \times w_1} \tag{2.33}$$

આથી દ્રાવ્યનું મોલર દળ M_2 નક્કી કરવા માટે દ્રાવ્યના જ્ઞાત દળને દ્રાવકના જ્ઞાત દળમાં ઓગાળવામાં આવે અને ΔT_bનું નિર્ધારણ કરી શકાય કે જેના દ્રાવક માટેના K_bનું મૂલ્ય જાણીતું હોય છે.

કોયડો 2.7

18 g ગ્લુકોઝ ($C_6H_{12}O_6$) 1 kg પાણીમાં એક પાત્રમાં ઓગાળેલ છે. 1.013 bar દબાણે પાણી કયા તાપમાને ઉકળશે ? પાણી માટે K_b 0.52 K kg mol^{-1} છે.

ઉકેલ

ગ્લુકોઝના મોલ = 18 g / 180 g mol^{-1} = 0.1 mol

દ્રાવકના કિલોગ્રામની સંખ્યા = 1 kg

આથી ગ્લુકોઝ દ્રાવણની મોલાલિટી = 0.1 mol kg^{-1}

પાણી માટે ઉત્કલનબિંદુમાં ફેરફાર

$\Delta T_b = K_b \times m = 0.52\ K\ kg\ mol^{-1} \times 0.1\ mol\ kg^{-1} = 0.052\ K$

પાણી 1.013 bar દબાણે 373.15 K તાપમાને ઉકળે છે માટે દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ 373.15 + 0.052 = 373.202 K થશે.

કોયડો 2.8 બેન્ઝિનનું ઉત્કલનબિંદુ 353.23 K છે. જ્યારે 1.80 g અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય 90 g બેન્ઝિનમાં ઓગાળવામાં આવ્યો, ત્યારે ઉત્કલનબિંદુ વધીને 354.11 K થયું. દ્રાવ્યનું મોલર દળ ગણો. બેન્ઝિન માટે K_b 2.53 K kg mol^{-1} છે.

ઉકેલ : ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન $(\Delta T_b) = 354.11 - 353.23 = 0.88\ K$

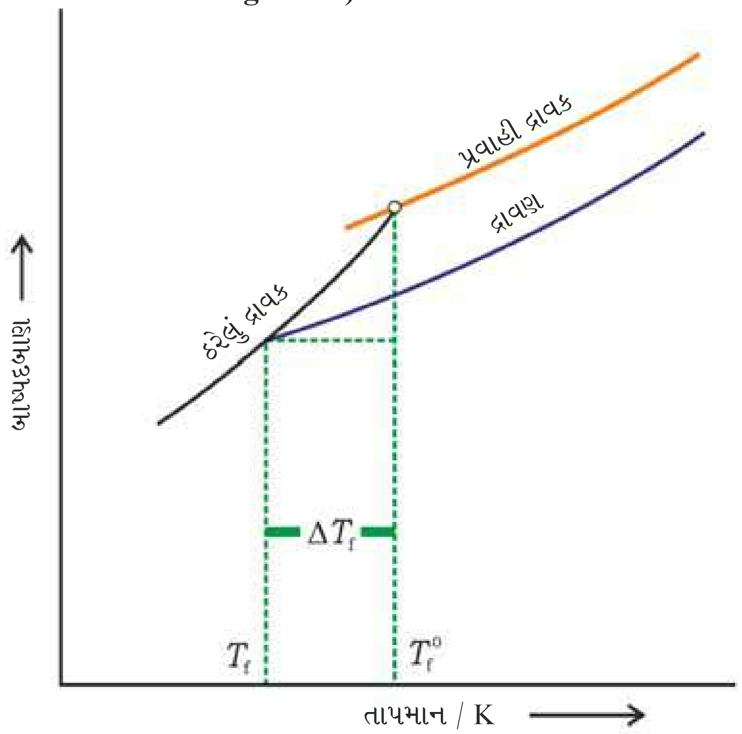
આ મૂલ્યને સમીકરણ (2.33)માં મૂકતાં આપણને મળશે.

$$M_2 = \frac{2.53 K\ kg\ mol^{-1} \times 1.8\ g \times 1000 g\ kg^{-1}}{0.88\ K \times 90\ g} = 58\ g\ mol^{-1}$$

આથી, દ્રાવ્યનું મોલર દળ $M_2 = 58\ g\ mol^{-1}$

2.6.3 ઠારબિંદુનું અવનયન (Depression of Freezing Point)

દ્રાવણના બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો શુદ્ધ દ્રાવકની સરખામણીમાં દ્રાવણના ઠારબિંદુના ઘટાડામાં પરિણમે છે (આકૃતિ 2.8). આપણે જાણીએ છીએ કે પદાર્થનાં ઠારબિંદુએ ઘન કલા પ્રવાહી કલા સાથે ગતિશીલ સંતુલનમાં હોય છે. આથી પદાર્થના ઠારબિંદુની વ્યાખ્યા આપી શકાય કે જે તાપમાને પદાર્થનું તેની પ્રવાહી અવસ્થામાં બાષ્પદબાણ ઘન કલાના બાષ્પદબાણને બરાબર હોય છે તે તેનું ઠારબિંદુ છે. આકૃતિ 2.8માંથી સ્પષ્ટ થાય છે કે કોઈ દ્રાવણ ત્યારે ઠારણ પામશે જ્યારે તેનું બાષ્પદબાણ શુદ્ધ ઘન દ્રાવકના બાષ્પદબાણ બરાબર થશે ત્યારે. રાઉલ્ટના નિયમ પ્રમાણે જ્યારે અબાષ્પશીલ ઘન દ્રાવકમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે તેનું બાષ્પદબાણ ઘટે છે અને હવે તે નીચા તાપમાને ઘન દ્રાવકના બરાબર થાય છે. આમ દ્રાવકનું ઠારબિંદુ ઘટે છે.



આકૃતિ 2.8 : દ્રાવણમાં દ્રાવકના ઠારબિંદુનું અવનયન ΔT_f દર્શાવતી આકૃતિ

ધારો કે T_f^0 શુદ્ધ દ્રાવકનું ઠારબિંદુ છે અને T_f જ્યારે અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યને તેમાં ઓગાળવામાં આવે છે ત્યારે મળતું ઠારબિંદુ છે. ઠારબિંદુમાં ઘટાડો $\Delta T_f = T_f^0 - T_f$ જેને ઠારબિંદુમાં અવનયન કહે છે.

ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયનની પ્રમાણે મંદ દ્રાવણ (આદર્શ દ્રાવણ) માટે ઠારબિંદુ અવનયન (ΔT_f) દ્રાવણની મોલાલિટીના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આમ,

$$\Delta T_f \propto m$$

અથવા $$\Delta T_f = K_f\ m \qquad (2.34)$$

સમપ્રમાણતા અચળાંક K_f જે દ્રાવકના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે તેને ઠારબિંદુ અવનયન અચળાંક અથવા મોલલ અવનયન અચળાંક કહે છે. K_fનો