

# रसायणविज्ञान

भाग I

धोरण 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.

રાજ્ય સરકારની વિનામૂલ્યે યોજના હેઠળનું પુસ્તક



રાષ્ટ્રીય શૈક્ષિક અનુસંધાન ઓર પ્રશિક્ષણ પરિષદ  
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. આઈ. 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. લીખ્યાચીયા  
(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 દિલ્લી દ્વારા પ્રકાશિત **ધોરણ XIIના 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. આઈ. એમ. ભટ્ટ, ડૉ. મયૂર સી. શાહ, શ્રી સી. આઈ. 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.

પી. ભારતી (IAS)

નિયામક

તા. 24-12-2019

કાર્યવાહક પ્રમુખ

ગાંધીનગર

પ્રથમ આવૃત્તિ : 2019, પુન:મુદ્રણ : 2020

પ્રકાશક : ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ, 'વિદ્યાયન', સેક્ટર 10-એ, ગાંધીનગર વતી, પી. ભારતી, 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 calendar 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.

New Delhi  
20 November 2006

*Director*  
National Council of Educational  
Research and Training

## 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.G. 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. Upadhyaya, *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. Upadhyaya

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. Chitralkha, *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 <sup>1</sup>**[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 <sup>2</sup>[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
<b>એકમ-1 : ઘન અવસ્થા</b>	<b>1</b>
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
<b>એકમ-2 : દ્રાવણો</b>	<b>35</b>
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
<b>એકમ-3 : વિદ્યુત-રસાયણવિજ્ઞાન</b>	<b>65</b>
3.1 વિદ્યુતરસાયણિક કોષ	66
3.2 ગેલ્વેનિક કોષ	67
3.3 નર્સ્ટ સમીકરણ	70
3.4 વિદ્યુતવિભાજ્યનાં દ્રાવણોની વાહકતા	75
3.5 વિદ્યુતવિભાજ્ય કોષ અને વિદ્યુતવિભાજન	85
3.6 બેટરી	88

3.7	બળતણ કોષ	90
3.8	ક્ષારણ	91
<b>એકમ-4 :</b>	<b>રાસાયણિક ગતિકી</b>	<b>95</b>
4.1	રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ	96
4.2	પ્રક્રિયા વેગને અસર કરતાં પરિબલો	100
4.3	સંકલિત વેગ સમીકરણ	105
4.4	પ્રક્રિયા વેગનો તાપમાન પર આધાર	112
4.5	રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો સંઘાત (અથડામણ) સિદ્ધાંત	116
<b>એકમ-5 :</b>	<b>પૃષ્ઠ રસાયણ વિજ્ઞાન</b>	<b>123</b>
5.1	અધિશોષણ	124
5.2	ઉદ્દીપન	129
5.3	કલિલ	136
5.4	કલિલનું વર્ગીકરણ	136
5.5	પાયસ (ઈમલ્ઝન)	145
5.6	આપણી આસપાસ (ચોપાસ) કલિલ	145
<b>એકમ-6 :</b>	<b>તત્વોના અલગીકરણ માટેના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પ્રક્રમો</b>	<b>149</b>
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	શુદ્ધીકરણ (પરિષ્કરણ)	164
6.8	એલ્યુમિનિયમ, કોપર, ઝિંક અને આયર્નના ઉપયોગો	166
<b>એકમ-7 :</b>	<b>p-વિભાગનાં તત્વો</b>	<b>170</b>
7.1	સમૂહ 15નાં તત્વો	170
7.2	ડાયનાઈટ્રોજન	174
7.3	એમોનિયા	175
7.4	નાઈટ્રોજનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો	177
7.5	નાઈટ્રિક એસિડ	179
7.6	ફોસ્ફરસ - અપરરૂપો	180
7.7	ફોસ્ફીન	181
7.8	ફોસ્ફરસ હેલાઈડ સંયોજનો	182
7.9	ફોસ્ફરસના ઓક્સોએસિડ 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 ડાયોક્સાઇડ	193
7.16	સલ્ફરના ઑક્સોએસિડ સંયોજનો	194
7.17	સલ્ફ્યુરિક એસિડ	195
7.18	સમૂહ 17નાં તત્ત્વો	197
7.19	ક્લોરિન	202
7.20	હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ	204
7.21	હેલોજન તત્ત્વોના ઑક્સોએસિડ સંયોજનો	205
7.22	આંતરહેલોજન સંયોજનો	206
7.23	સમૂહ 18નાં તત્ત્વો	208
<b>એકમ-8 :</b>	<b><math>d</math> અને <math>f</math> વિભાગનાં તત્ત્વો</b>	<b>215</b>
8.1	આવર્તકોષ્ટકમાં સ્થાન	216
8.2	$d$ -વિભાગનાં તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય 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	એક્ટિનોઇડ્સ	237
8.7	$d$ અને $f$ -વિભાગનાં તત્ત્વોના કેટલાક અનુપ્રયોગો	239
<b>એકમ-9 :</b>	<b>સવર્ગ સંયોજનો</b>	<b>244</b>
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
<b>પરિશિષ્ટ</b>		<b>268</b>
<b>સ્વાધ્યાયમાંના કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો</b>		<b>281</b>
<b>પારિભાષિક શબ્દો</b>		<b>285</b>

# 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 ઇલેક્ટ્રો 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 હકીકત 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 ઈચ્છિત 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 કોંપર 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, પેકિંગ માટેના જૈવ વિઘટનીય (biodegradable) પોલિમર, સર્જિકલ 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.

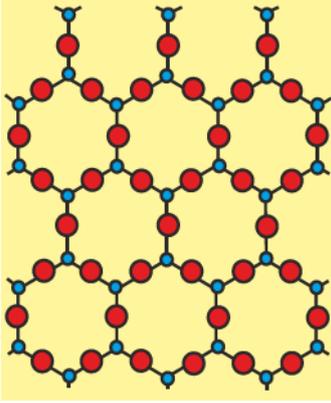
## 1.1 ઘન અવસ્થાની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ (General Characteristics of Solid State)

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 પરિબલોની ચોખ્ખી (net) અસર પર રહેલો છે. આ આંતરઆણ્વીય બળો જે આણુઓને (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 :

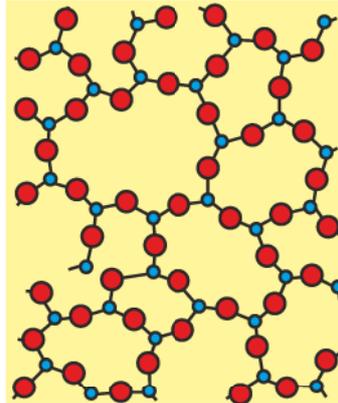
- તેમને નિશ્ચિત દળ, કદ અને આકાર હોય છે.
- આંતરઆણ્વીય અંતર ટૂંકા હોય છે.
- આંતરઆણ્વીય બળ પ્રબળ હોય છે.
- તેમના ઘટક કણો(પરમાણુ, અણુ અથવા આયન)ને નિશ્ચિત સ્થાન હોય છે અને તેમની મધ્ય (સરેરાશ) સ્થિતિની આસપાસ દોલન કરે છે.
- તે અસંકોચનીય (incompressible) અને દઢ હોય છે.

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

ઘન પદાર્થોને તેમના ઘટક કણોની ગોઠવણમાં હાજર કમના સ્વભાવને આધારે તેમને સ્ફટિકમય અથવા અસ્ફટિકમય તરીકે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. સ્ફટિકમય 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 કમબદ્ધ હોય છે અને ત્રિપરિમાણમાં પુનરાવર્તન પામતી હોય છે. જો આપણે સ્ફટિકના એક ભાગમાં રહેલી ભાત (pattern)નો અભ્યાસ કરીએ તો સ્ફટિકના અન્ય ભાગમાં કણોના સ્થાનની ચોક્કસ આગાહી કરી શકીએ પછી ભલે તે અવલોકનના સ્થાનથી ગમે તેટલા દૂર હોય. આમ સ્ફટિકને તેને કમનો લાંબો વિસ્તાર (સીમા) હોય છે જેનો અર્થ થાય છે કે કણોની ગોઠવણની એક નિયમિત ભાત (pattern)



(a)



(b)

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

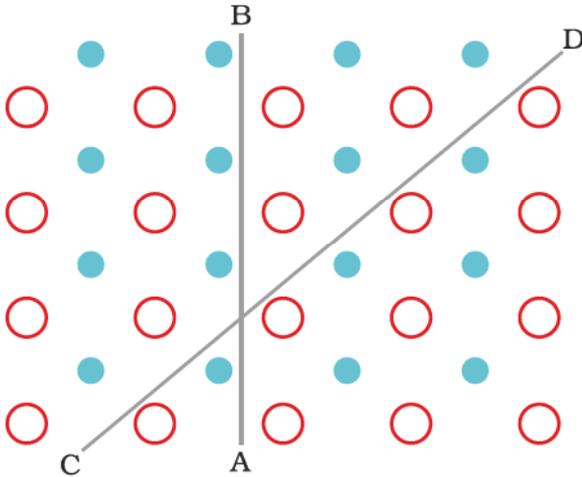
હોય છે. જે સમગ્ર સ્ફટિકમાં આવર્તીય રીતે પુનરાવર્તિત થાય છે. સોડિયમ ક્લોરાઇડ અને ક્વાર્ટઝ સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થના લાક્ષણિક (typical) ઉદાહરણો છે. કાચ, રબર અને અનેક પ્લાસ્ટિક પદાર્થોના પ્રવાહીઓને જ્યારે ઠંડા પાડી ઘન સ્વરૂપમાં ફેરવવામાં આવે ત્યારે તેઓ સ્ફટિકો બનાવતા નથી. આ પદાર્થોને અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો કહે 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 કમ 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. ક્વાર્ટઝ (સ્ફટિકમય) અને ક્વાર્ટઝ કાચ(અસ્ફટિકમય)ની રચના આકૃતિ 1.1 (a) અને (b)માં અનુક્રમે દર્શાવેલી છે. બંને રચનાઓ મહદ્અંશે સરખી છે છતાં અસ્ફટિકમય ક્વાર્ટઝ કાચમાં લાંબા વિસ્તાર (સીમા)નો કમ હોતો નથી. અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થની રચના પ્રવાહીને સમાન હોય છે. ઘટકકણોની ગોઠવણમાં તફાવતોને કારણે બંને પ્રકારના ઘન પદાર્થો તેમના ગુણધર્મોમાં જુદા પડે છે.

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. અસ્ફટિકમય 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 સરખું 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 તફાવતનો 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 (cleavage) 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 છતાં 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 ફોટોવોલ્ટેઈક પદાર્થ છે જે સૌર-ઊર્જાને વિદ્યુત-ઊર્જામાં પરિવર્તિત કરવા માટે પ્રાપ્ય છે.

### લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

- 1.1 ઘન પદાર્થો શા માટે દઢ હોય છે ?
- 1.2 ઘન પદાર્થોને શા માટે નિશ્ચિત આકાર હોય છે ?
- 1.3 નીચેનાનું સ્ફટિકમય અથવા અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોમાં વર્ગીકરણ કરો :  
પોલિયુરેથેન, નેપ્થેલીન, બેન્ઝોઈક એસિડ, ટેફ્લોન, પોટેશિયમ નાઈટ્રેટ, સેલોફેન, પોલિવિનાઈલ ક્લોરાઈડ, ફાઈબર 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, ફોસ્ફરસ અને આયોડિન જેવા અધાતુ તત્ત્વો તથા સોડિયમ ક્લોરાઈડ, ઝિંક સલ્ફાઈડ 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) વાનુ 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) અણુવીય આણ્વીય ઘન પદાર્થો : તે કાં તો પરમાણુઓ ધરાવે છે ઉદાહરણ તરીકે આર્ગોન અને હિલિયમ અથવા અણુવીય સહસંયોજકબંધને કારણે બનેલા અણુવીય

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

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

(iii) હાઈડ્રોજન બંધિત આણ્વીય ઘન પદાર્થો : આવા ઘન પદાર્થોના અણુઓ H અને F, O અથવા N પરમાણુ સાથે ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધ ધરાવે છે. પ્રબળ હાઈડ્રોજન બંધ આવા અણુઓ જેવા કે  $H_2O$ ને (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)

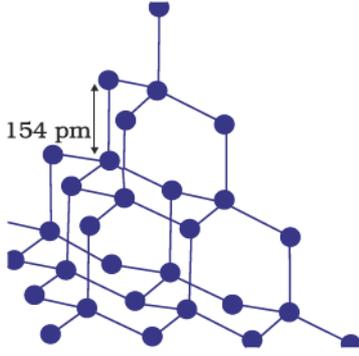
આયનીય ઘન પદાર્થોના ઘટક કણો આયનો હોય છે. આવા ઘન પદાર્થો પ્રબળ કુલંબિક (સ્થિરવિદ્યુતીય) બળોથી બંધિત ધનાયનો અને ઋણાયનોની ત્રિ-પરિમાણીય દિશામાંની ગોઠવણથી રચાય છે. આ ઘનપદાર્થો સ્વભાવે સખત અને બરડ હોય છે. તેમને ઊંચા ઉત્કલનબિંદુ અને ગલનબિંદુ હોય છે. તેમના આયનો હેરફેર કરવા માટે મુક્ત હોતા નથી, તેથી તેઓ ઘન અવસ્થામાં 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)

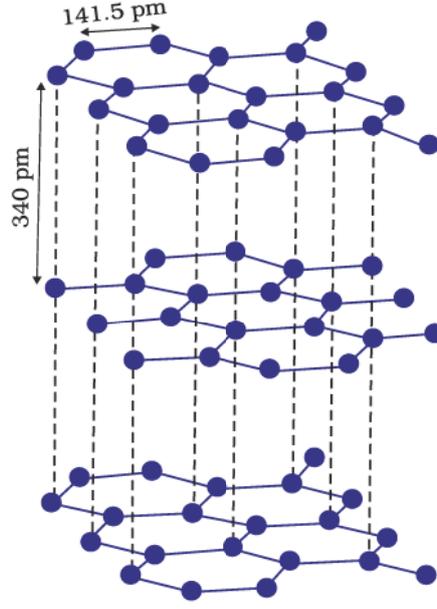
ધાતુઓ ઘન આયનોના કમબદ્ધ સમૂહ હોય છે અને તેઓ મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન સમુદ્ર (sea)થી સાથે સાથે જકડાયેલા હોય છે. આ ઇલેક્ટ્રોન ગતિશીલ (mobile) હોય છે અને સમગ્ર સ્ફટિકમાં સરખી રીતે વિસ્તરાયેલ હોય છે. ધાતુનો દરેક પરમાણુ એક અથવા બે ઇલેક્ટ્રોન ગતિશીલ ઇલેક્ટ્રોનના આ સમુદ્રમાં ફાળો આપે છે. આ મુક્ત અને ગતિશીલ ઇલેક્ટ્રોન ધાતુની ઊંચી વિદ્યુતીય અને ઉષ્મીય વાહકતા માટે જવાબદાર છે. જ્યારે વિદ્યુતીયક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે આ ઇલેક્ટ્રોન ઘન આયનોની જાળીદાર રચનામાંથી વહે છે. તે જ પ્રમાણે જ્યારે ઉષ્મા ધાતુના એક ભાગને પૂરી પાડવામાં આવે છે, ત્યારે ઉષ્મીય ઊર્જા એકસરખી રીતે મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન વડે વિસ્તરાય છે. ધાતુઓની બીજી અગત્યની લાક્ષણિકતા તેમના ચળકાટ (lustre) અને કેટલાક કિસ્સામાં રંગ છે. આ પણ તેમનામાં રહેલા મુક્ત ઇલેક્ટ્રોનની 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 બૃહદ્દ (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 સિલિકોન કાર્બાઈડ આવા ઘન પદાર્થોના વિશિષ્ટ ઉદાહરણો છે. તેમ છતાં ગ્રેફાઈટ



આકૃતિ 1.3 : ડીરાની(ડાયમન્ડ) જાળીદાર રચના



આકૃતિ 1.4 : ગ્રેફાઇટની રચના

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

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

કોષ્ટક 1.2 : જુદા જુદા પ્રકારના ઘન પદાર્થો

ઘનપદાર્થોનો પ્રકાર	ઘટક કણો	બંધન/ આકર્ષણ બળો	ઉદાહરણ	ભૌતિક સ્વભાવ	વિદ્યુતીય વાહકતા	ગલનબિંદુ
(1) આણ્વીય ઘન પદાર્થો						
(i) અધ્રુવીય	અણુઓ	વિસર્જન અથવા લંડન બળો	Ar, CCl <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , I <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	મૃદુ	અવાહક	ઘણાં નીચાં
(ii) ધ્રુવીય		દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ પારસ્પરિક ક્રિયા	HCl, SO <sub>2</sub>	મૃદુ	અવાહક	નીચાં
(iii) હાઇડ્રોજન બંધિત		હાઇડ્રોજન બંધન	H <sub>2</sub> O (બરફ)	સખત	અવાહક	નીચાં
(2) આયનીય ઘન પદાર્થો	આયનો	કુલંબિક અથવા સ્થિર વિદ્યુતીય	NaCl, MgO, ZnS, CaF <sub>2</sub>	સખત પણ બરડ	ઘન અવસ્થામાં અવાહક પરંતુ પિગલિત અવસ્થામાં અને જલીય દ્રાવણમાં વાહક	ઊંચા
(3) ધાત્વીય ઘન પદાર્થો	બિનસ્થાનિક ઇલેક્ટ્રોનના સમુદ્રમાં ઘન 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 <sub>2</sub> (ક્વાર્ટ્ઝ) SiC, C (હીરો), AlN, C (ગ્રેફાઇટ)	સખત મૃદુ	અવાહક વાહક (અપવાદ)	ઘણા ઊંચા
--------------------------------------	---------	---------------	--	-------------	-----------------------	----------

### લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

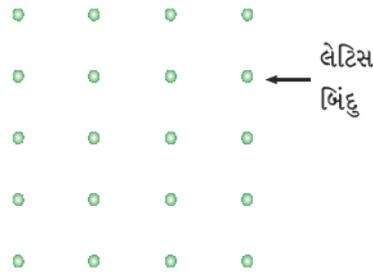
- 1.5 નીચેના ઘન પદાર્થોને તેમનામાં કાર્યશીલ આંતરઆણ્વીય બળોના સ્વભાવ પર આધારિત જુદા જુદા પ્રકારોમાં વર્ગીકૃત કરો :  
પોટેશિયમ સલ્ફેટ, ટિન, બેન્ઝિન, યૂરિયા, એમોનિયા, પાણી, ઝિંક સલ્ફાઇડ, ગ્રેફાઇટ, રૂબિડિયમ, આર્ગોન, સિલિકોન કાર્બોઇડ.
- 1.6 ઘન પદાર્થ A ઘન અવસ્થા તથા પિગલિત અવસ્થામાં ઘણો સખત વિદ્યુતીય અવાહક છે અને ખૂબ જ ઊંચા તાપમાને પીગળે છે. તે કયા પ્રકારનો ઘન પદાર્થ હશે ?
- 1.7 આયનીય ઘન પદાર્થો પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે પરંતુ ઘન અવસ્થામાં નહિ. સમજાવો.
- 1.8 કયા પ્રકારના ઘન પદાર્થો વિદ્યુતીય વાહક, ટીપનીય અને તન્ય છે ?

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

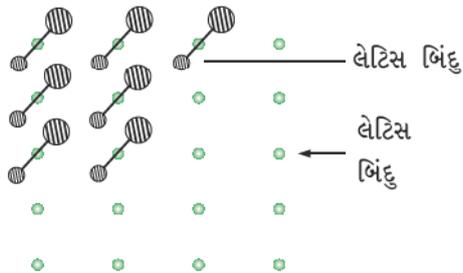
તમે જોયું હશે કે જ્યારે ભોંયતળિયા (floor) પર ટાઈલ્સ (લાદી) લગાવવામાં આવે ત્યારે એક પુનરાવર્તિત ભાત (repeated pattern) રચાય છે. ભોંયતળિયા પર ટાઈલ્સ લગાડયા પછી જો બધી જ ટાઈલ્સ પર આપણે કોઈક જગ્યાએ નિશાની કરીએ (જેમકે ટાઈલની મધ્યમાં) અને ટાઈલ્સને અવગણીને માત્ર નિશાની કરેલા સ્થાનોને જ જોઈએ તો, આપણને બિંદુઓનો 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



(a) સ્ફટિકની રચના કરવા માટે મોટિફ



(b) અવકાશ લેટિસ અથવા સ્ફટિક લેટિસ (દ્વિપરિમાણીય)



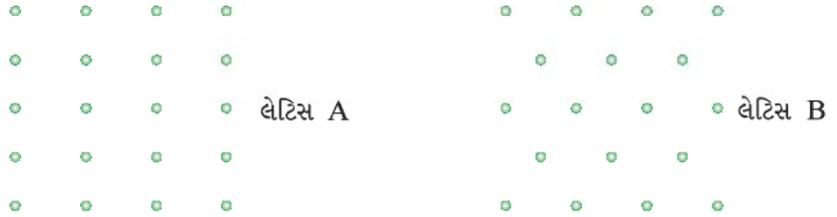
(c) કાલ્પનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક

અથવા મોટિફ A કહે છે. જ્યારે અવકાશ લેટિસમાં બિંદુઓ પર આવા મોટિફ મુકવામાં આવે ત્યારે એક ભાત ઉત્પન્ન થાય છે. સ્ફટિકની રચનામાં મોટિફ તરીકે અણુ, પરમાણુ કે આયન હોય છે. અવકાશ લેટિસને સ્ફટિક 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

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.



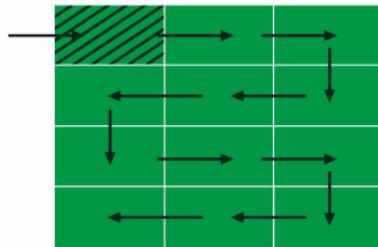
આકૃતિ 1.6 : બે જુદા જુદા લેટિસમાં બિંદુઓની ગોઠવણી

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 :

- લેટિસના પ્રત્યેક બિંદુને લેટિસ બિંદુ અથવા લેટિસ સ્થાન કહે છે.
- સ્ફટિક લેટિસનું પ્રત્યેક બિંદુ એક ઘટક કણ દર્શાવે છે, જે પરમાણુ, અણુ (પરમાણુઓનો સમૂહ) કે આયન હોઈ શકે છે.
- લેટિસનો ભૌમિતિક આકાર (geometry) વ્યક્ત કરવા લેટિસ બિંદુઓને સીધી લીટીઓથી જોડવામાં આવે છે.

એકમ કોષ

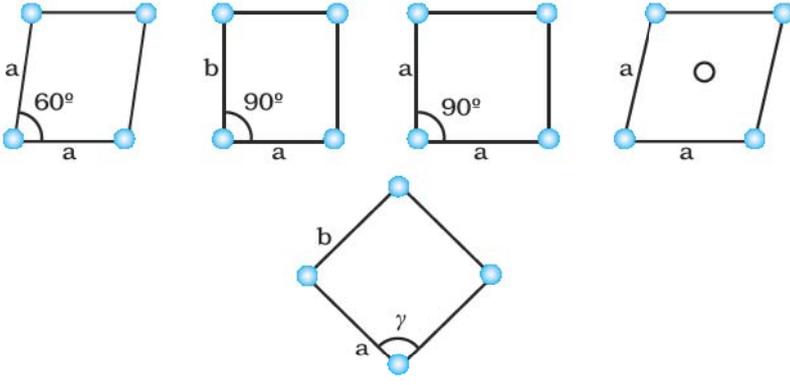


આકૃતિ 1.7 : તીરની દિશામાં ચોરસના સ્થાનાંતરથી કાલ્પનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક રચના બનાવવી

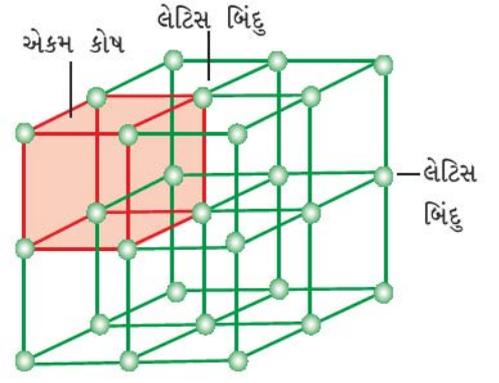
સ્ફટિકને સંપૂર્ણ પણે વ્યાખ્યાયિત કરવા આપણને સ્ફટિકના અવકાશ લેટિસના માત્ર નાનકડાં ભાગની જ જરૂર પડે છે. આ નાનકડાં ભાગને એકમ કોષ કહે છે. એકમ કોષની પસંદગી અનેક રીતે થઈ શકે છે. સામાન્ય રીતે એવો કોષ પસંદ કરવામાં આવે છે જેની લંબ બાજુઓ ટૂંકામાં ટૂંકી હોય અને ત્રિપરિમાણમાં એકમ કોષના સ્થાનાંતરીય વિસ્થાપન (translational 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.

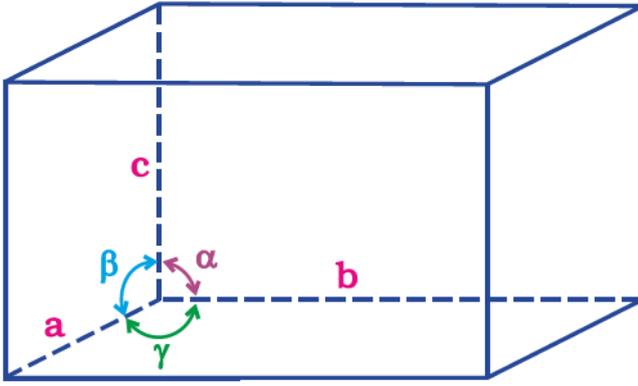
દ્વિપરિમાણમાં બાજુની લંબાઈ 'a' અને 'b' તથા આ બાજુઓ વચ્ચેનો ખૂણો  $\gamma$  ધરાવતા સમાંતરબાજુ ચતુષ્કોણને એકમ કોષ તરીકે પસંદ કરવામાં આવે છે. દ્વિપરિમાણોમાં શક્ય એકમ કોષો આકૃતિ 1.8માં દર્શાવેલા છે.



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 પ્રાયલોનું દૃષ્ટાંત

### 1.4.1 આદિમ અને કેન્દ્રિત એકમ કોષો

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

(a) આદિમ એકમ કોષો :

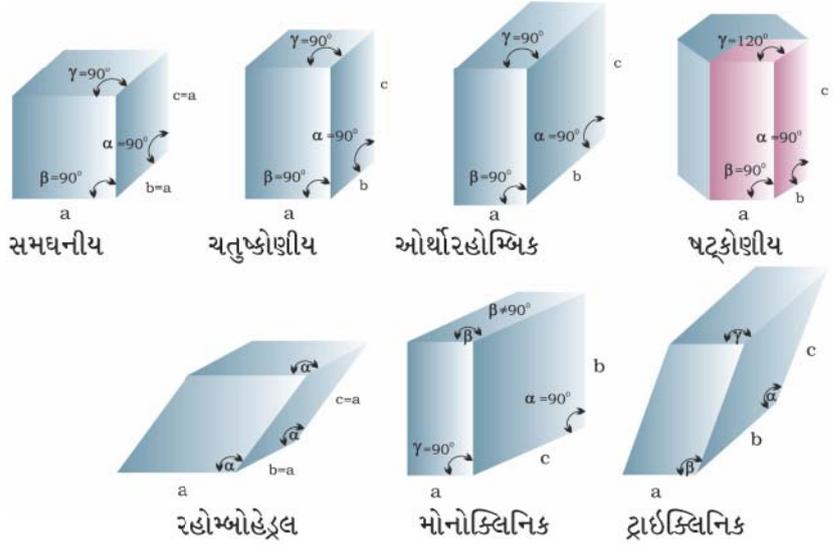
જ્યારે ઘટક કણો માત્ર એકમ કોષના ખૂણાના સ્થાનો પર હાજર હોય તો તેને આદિમ એકમ કોષ કહે છે.

(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.

- અંત:કેન્દ્રિત એકમ કોષો : આવો એકમ કોષ ખૂણાઓ પર રહેલા કણો ઉપરાંત અંત:કેન્દ્રમાં એક ઘટક કણ (પરમાણુ, અણુ અથવા આયન) ધરાવતો હોય છે.
- ફલક કેન્દ્રિત એકમ કોષો : આવો એકમ કોષ તેના ખૂણાઓ પર રહેલા ઘટક કણો ઉપરાંત તેના દરેક ફલકના કેન્દ્રમાં એક ઘટક કણ ધરાવે છે.
- 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 એવું 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

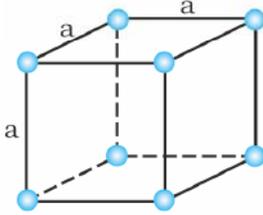
ફ્રેન્ચ ગણિતશાસ્ત્રી બ્રેવિસે (Bravais) દર્શાવ્યું કે માત્ર 14 જ શક્ય ત્રિપરિમાણીય લેટિસો છે. તેઓને બ્રેવિસ લેટિસ કહે છે. આવા લેટિસના એકમ કોષોને નીચેના ખાના (box)માં દર્શાવ્યા છે. તેમના આદિમ એકમ કોષોની તથા તેઓ બનાવી શકતા હોય તેવા કેન્દ્રિય એકમ કોષોની લાક્ષણિકતાઓની યાદી કોષ્ટક 1.3માં દર્શાવી છે.

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

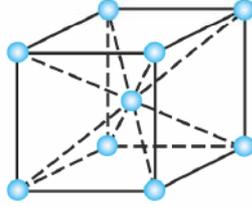
સ્ફટિક પ્રણાલી	શક્ય વિચલન	અક્ષીય અંતર અથવા ધારની લંબાઈ	અક્ષીય ખૂણા	ઉદાહરણ
સમઘનીય	આદિમ, અંત:કેન્દ્રિત, ફલક કેન્દ્રિત	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	NaCl, ઝિંક બ્લેન્ડ, Cu
ચતુષ્કોણીય	આદિમ, અંત:કેન્દ્રિત	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	સફેદ ટિન, $\text{SnO}_2$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{CaSO}_4$
ઓર્થોરહોમ્બિક	આદિમ, અંત:કેન્દ્રિત, ફલક કેન્દ્રિત	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	રહોમ્બિક સલ્ફર, $\text{KNO}_3$ , $\text{BaSO}_4$
ષ્ટકોણીય	આદિમ	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	ગ્રેફાઈટ, ZnO, CdS
રહોમ્બોહેડ્રલ અથવા ત્રિકોણીય	આદિમ	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	કેલ્સાઈટ ( $\text{CaCO}_3$ ), સિનેબાર ( $\text{HgS}$ )

મોનોક્લિનિક	આદિમ અંત (છેડો) કેન્દ્રિત	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$	મોનોક્લિનિક સલ્ફર, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
ટ્રાઇક્લિનિક	આદિમ	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}_3\text{BO}_3$

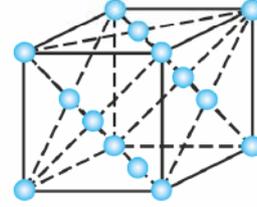
### બ્રેવિસ લેટિસના 14 પ્રકારના એકમ કોષો



આદિમ (અથવા સાદો)

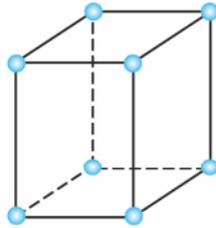


અંત:કેન્દ્રિત

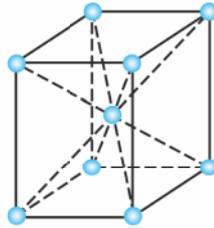


ફલક કેન્દ્રિત

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

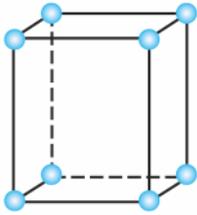


આદિમ

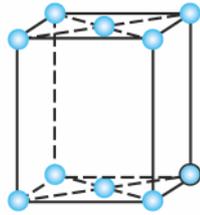


અંત:કેન્દ્રિત

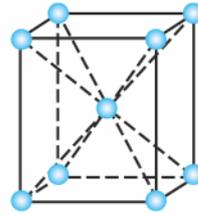
બે ચતુષ્કોણીય લેટિસના એકમ કોષો : એક બાજુ બીજી કરતા લંબાઈમાં અલગ, બધા ફલક વચ્ચેના બંને ખૂણા  $90^\circ$



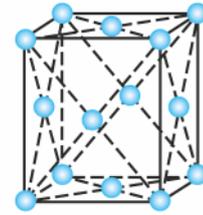
આદિમ



અંત (છેડો) કેન્દ્રિત

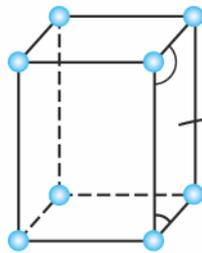


અંત:કેન્દ્રિત

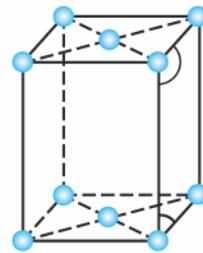
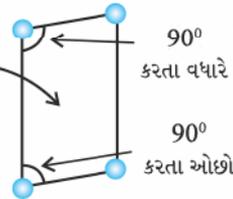


ફલક કેન્દ્રિત

ચાર ઓર્થોરહોમ્બિક લેટિસના એકમ કોષો : બિનસરખી બાજુઓ, ફલક વચ્ચેના બધા ખૂણા  $90^\circ$

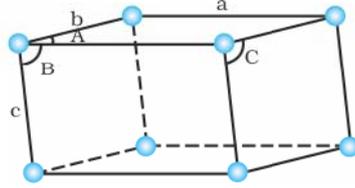
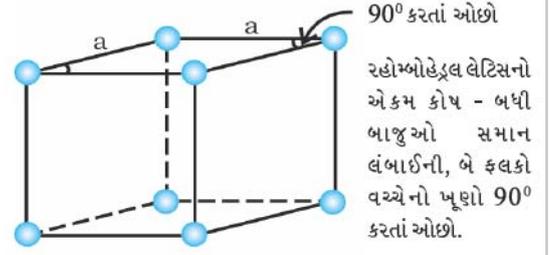
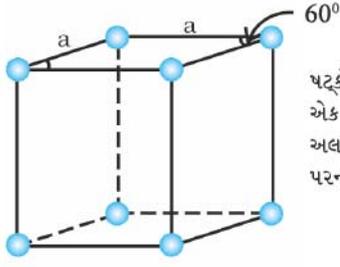


આદિમ



અંત (છેડો) કેન્દ્રિત

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



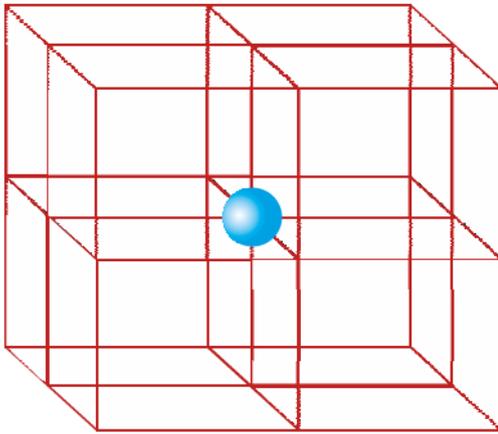
## 1.5 એકમ કોષમાં પરમાણુઓની સંખ્યા (Number of Atoms in a Unit Cell)

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.

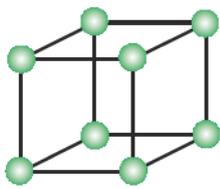
આપણે ત્રણ પ્રકારના સમઘનીય એકમ કોષને ગણતરીમાં લઈશું અને સરળતા ખાતર ધારી લઈશું કે દરેક ઘટક કણ પરમાણુ છે.

### 1.5.1 આદિમ ઘન એકમ કોષ (Primitive Cubic Unit Cell)

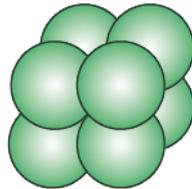
આદિમ ઘન એકમ કોષને માત્ર તેના ખૂણાઓ પર જ પરમાણુ હોય છે. ખૂણા પરનો દરેક પરમાણુ આકૃતિ 1.12માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે નજીકના (adjacent) આઠ એકમ કોષો સાથે ભાગીદારી કરે છે. ચાર એકમ કોષો એક જ સ્તરમાં હોય છે અને ચાર એકમ કોષો ઉપરના



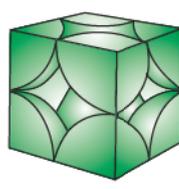
આકૃતિ 1.12 : સાદા સમઘનીય એકમકોષમાં ખૂણા પરનો દરેક પરમાણુ આઠ એકમકોષો વચ્ચે ભાગીદારી કરે છે.



(a)



(b)



(c)

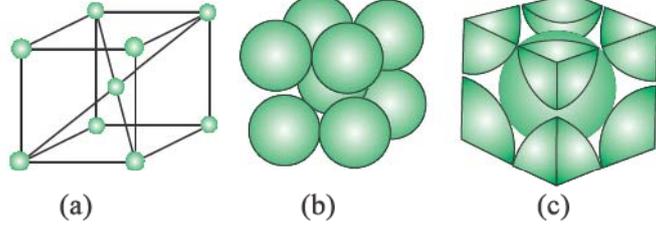
અથવા નીચેના સ્તરમાં હોય છે આથી પરમાણુનો (અથવા અણુ અથવા આયન)  $\frac{1}{8}$  ભાગ જ વિશિષ્ટ (particular) એકમ કોષમાં સમાવિષ્ટ થાય છે. આકૃતિ 1.13માં આદિમ ઘન એકમ કોષને ત્રણ જુદી જુદી રીતે દર્શાવેલા છે. આકૃતિ 1.13(a)માં દરેક નાનો ગોળો સ્થાન ધરાવતા કણનું માત્ર કેન્દ્ર છે અને નહિ કે તેનું વાસ્તવિક કદ (size).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

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 અંત:કેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (Body Centred Cubic Unit Cell)**

અંત:કેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) એકમ કોષ તેના દરેક ખૂણા પર એક પરમાણુ ધરાવે છે અને એક પરમાણુ તેના અંત:કેન્દ્ર 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 અંત:કેન્દ્ર પર રહેલો પરમાણુ જે



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

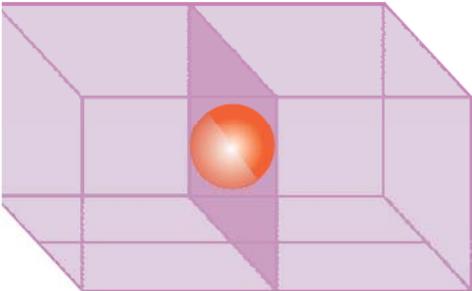
એકમ કોષમાં રહેલો છે તે સંપૂર્ણપણે એકમ કોષનો હોય છે. આથી, અંત:કેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) એકમ કોષમાં :

- (i)  $8 \text{ ખૂણાઓ} \times \frac{1}{8} \text{ દરેક ખૂણાનો પરમાણુ} = 8 \times \frac{1}{8} = 1 \text{ પરમાણુ}$   
(ii) એક અંત:કેન્દ્રિત પરમાણુ =  $1 \times 1 = 1 \text{ પરમાણુ}$   
 $\therefore$  પ્રતિ એકમ કોષ પરમાણુઓની કુલ સંખ્યા = 2 પરમાણુઓ

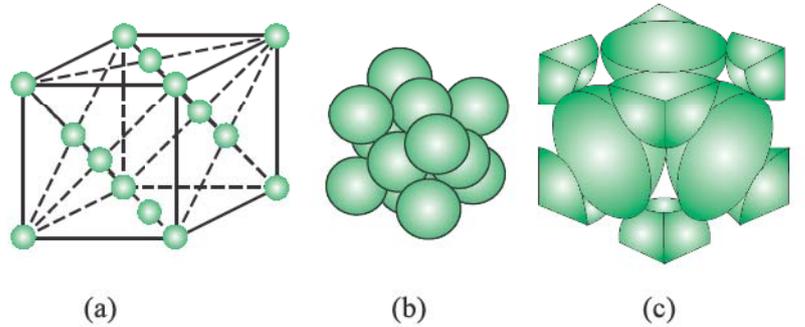
**1.5.3 ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (Face Centred Cubic Unit Cell)**

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)  $8 \text{ ખૂણાના પરમાણુઓ} \times \frac{1}{8} \text{ પરમાણુ પ્રતિ એકમ} = 8 \times \frac{1}{8} = 1 \text{ પરમાણુ}$   
(ii)  $6 \text{ ફલક કેન્દ્રિત પરમાણુઓ} \times \frac{1}{2} \text{ પરમાણુ પ્રતિ એકમ કોષ} = 6 \times \frac{1}{2} = 3 \text{ પરમાણુઓ}$   
 $\therefore$  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 પ્રાયલોનાં 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) અંત:કેન્દ્રિત 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).



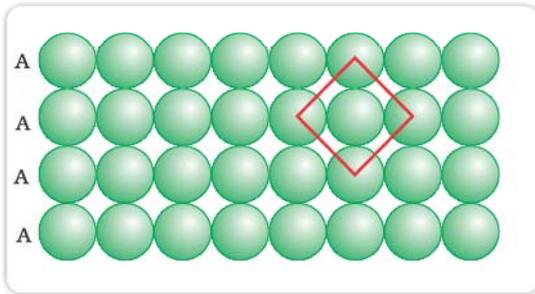
આકૃતિ 1.17 : એક પરિમાણમાં ગોળાઓનું સંવૃત સંકુલન

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.

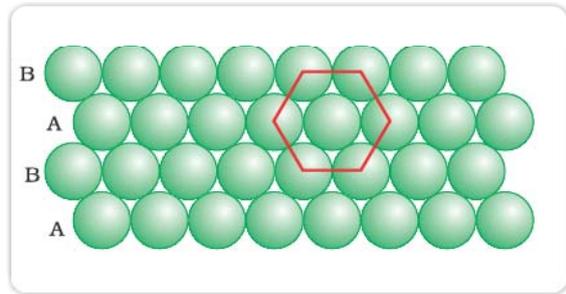
### (b) દ્વિ-પરિમાણમાં સંવૃત સંકુલન

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 બરાબર 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.

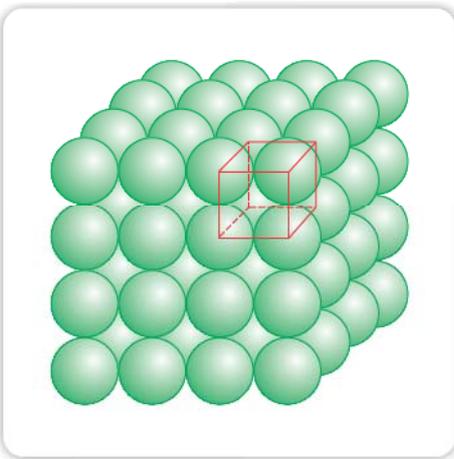
(ii) બીજી હરોળ પહેલી હરોળ પર સાંતરિત (staggered) રીતે ગોઠવીએ જેથી ગોળાઓ પહેલી હરોળના ગોળાઓ વચ્ચેના અવનમનમાં (ખાડામાં) (depression) ગોઠવાય. જો ગોળાઓની પ્રથમ હરોળને A પ્રકારની કહીએ અને બીજી હરોળ જે હવે અલગ છે તેને B પ્રકારની કહીએ. જ્યારે ત્રીજી હરોળ બીજી હરોળની નજીકમાં સાંતરિત રીતે પ્રથમ હરોળની બરોબર જેમ 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 પડોશીના 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 પેકિંગને 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 એક્સરખો 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 રીતે 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 ગોઠવણને '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)

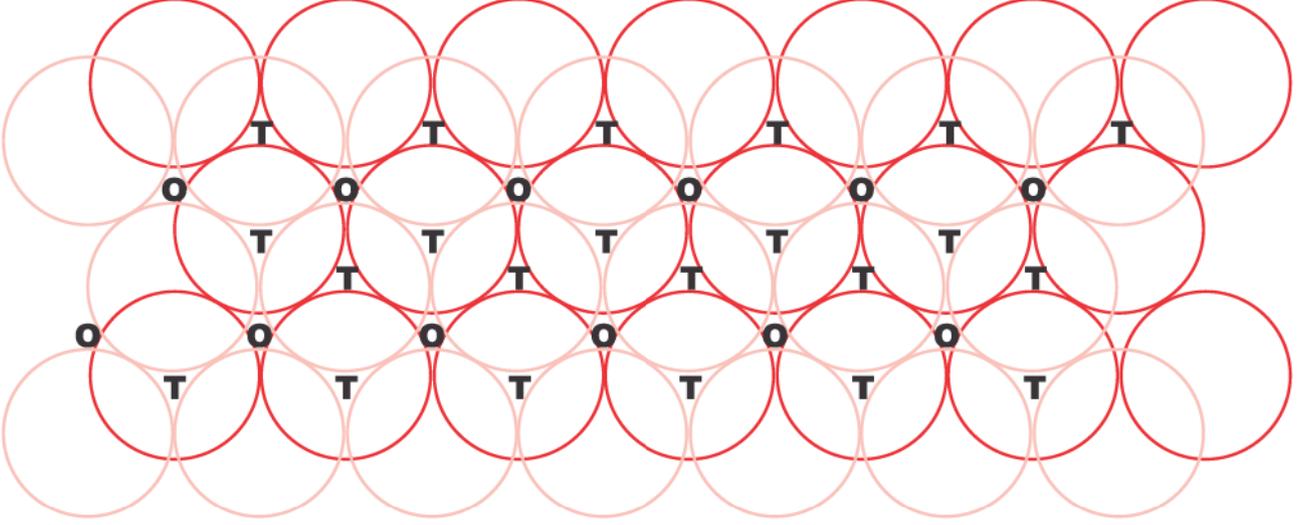


આકૃતિ 1.19 : AAA ..... ગોઠવણથી રચાયેલ સાદી ઘન લેટિસ

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

(a) બીજા સ્તરને પ્રથમ સ્તર પર ગોઠવીને

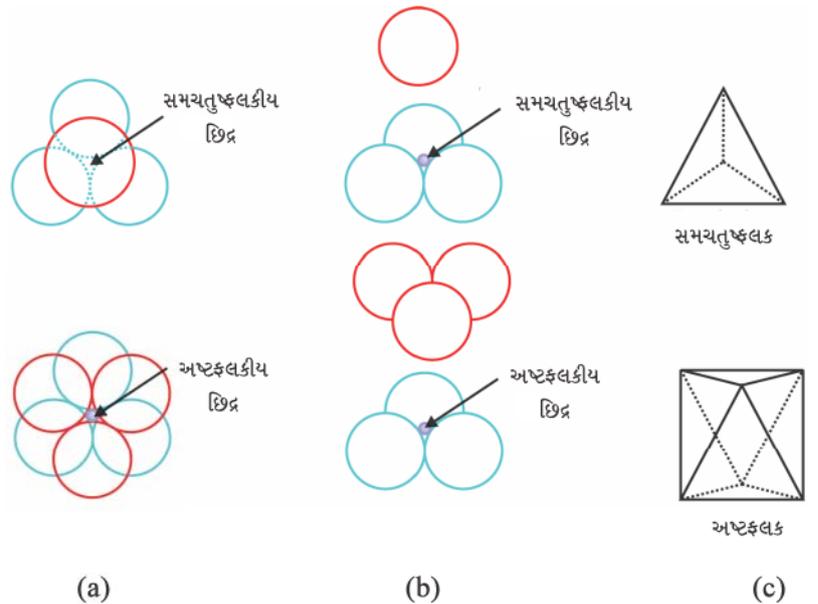
આપણે ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલિત સ્તર 'A' લઈએ અને તેના પર એવું જ બીજું સ્તર ગોઠવીએ જેથી બીજા સ્તરના ગોળાઓ પહેલા ગોળાના અવનમનમાં બરાબર ગોઠવાય. આમાં બંને સ્તરના ગોળાઓ અલગ રીતે ગોઠવાયેલા છે માટે બીજા સ્તરને B કહીએ. આકૃતિ 1.20માંથી આપણે અવલોકન કરી શકીએ કે પ્રથમ સ્તરના બધા જ ત્રિકોણીય છિદ્રો બીજા સ્તરના ગોળાઓ 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 સમયતુષ્ફલકીય છિદ્રો રચાય છે.



આકૃતિ 1.20 : સંવૃત સંકુલિત ગોળાઓના બે સ્તરોની થપ્પી અને તેમાં રચાયેલા છિદ્રો.

T = સમયતુષ્ફલકીય છિદ્ર, O = અષ્ટફલકીય છિદ્ર

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



આકૃતિ 1.21 :

સમયતુષ્ફલકીય 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;

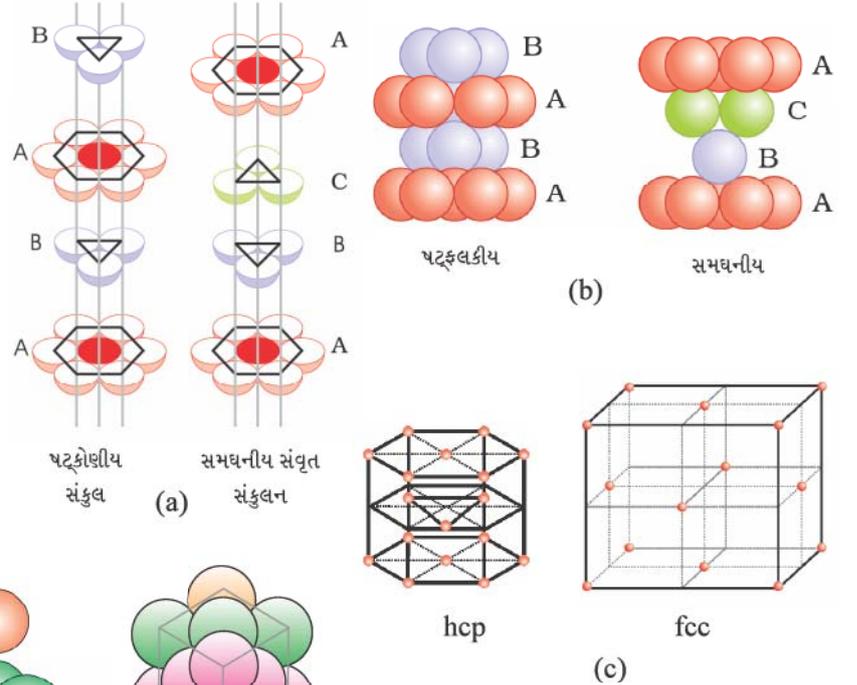
પછી, સર્જિત અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = N

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 ઢાંકાઈ 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 પેક (hcp) રચના કહેવાય છે (આકૃતિ 1.22). આ પ્રકારની પરમાણુની ગોઠવણ મેંગનેશિયમ અને ઝિંક જેવી ઘણી ધાતુઓમાં મળી આવે છે.



આકૃતિ 1.22 :

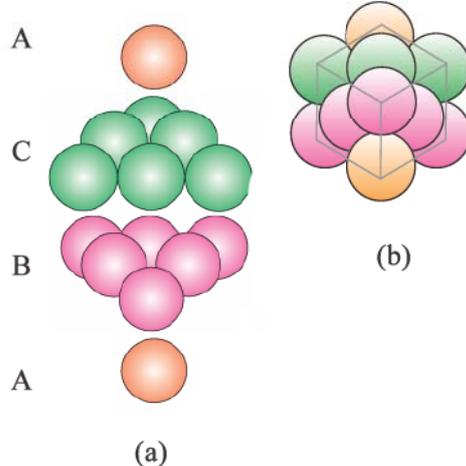
(a) ષટ્ફલકીય સમઘનીય સંવૃત સંકુલનનો વિસ્તૃત દેખાવ જે ગોળાના સ્તર દર્શાવે છે.

(b) દરેક કિસ્સામાં ચાર સ્તર થપ્પી કરેલા

(c) સંકુલનની ભૂમિતિ

આકૃતિ 1.23 :

(a) ABCABC ... સ્તરોની ગોઠવણી જ્યારે અષ્ટફલકીય છિદ્ર ઢાંકાયેલ 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. કોપર 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.

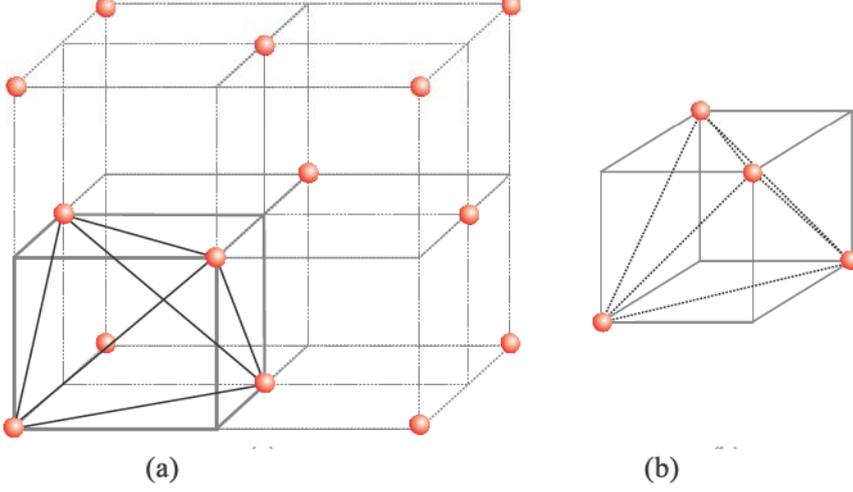
### ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રોના સ્થાન દર્શાવવા

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 સમયતુષ્ફલક રચે છે. તેથી દરેક નાના સમઘનમાં એક સમયતુષ્ફલકીય છિદ્ર છે અને કુલ આઠ સમયતુષ્ફલકીય 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 સમયતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા પરમાણુની સંખ્યાથી બમણી હોય છે.

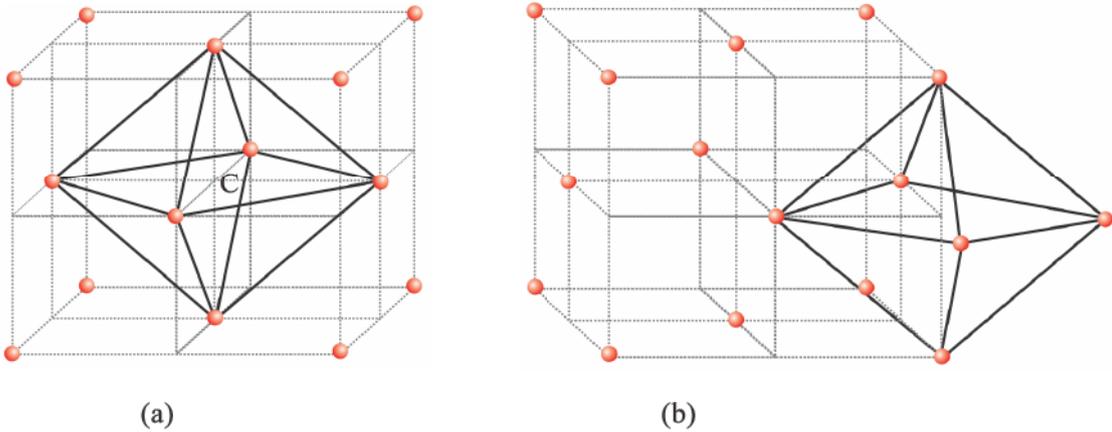


આકૃતિ 1 : (a) ccp રચનાના એક એકમ કોષમાં આઠ સમયતુષ્ફલકીય છિદ્ર  
(b) એક સમયતુષ્ફલકીય છિદ્ર જે ભૂમિતિ દર્શાવે છે.

#### (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 કેન્દ્રને 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.



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  
 $= 12 \times \frac{1}{4} = 3$

∴ કુલ અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = 4

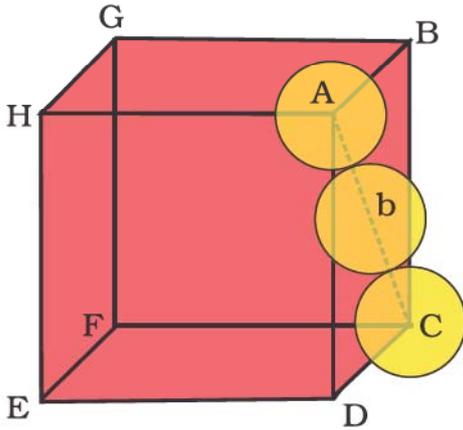
આપણે જાણીએ છીએ કે ccp રચનામાં દરેક એકમ કોષને 4 પરમાણુઓ છે. આથી અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા આ સંખ્યા જેટલી જ છે.

## 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 Efficiency in hcp and ccp Structures)

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.

$\Delta ABC$  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,

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

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

(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,

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

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

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

1.7.2 અંત:કેન્દ્રિત 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.

$\Delta EFD$ માં

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

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

હવે,  $\Delta AFD$ માં,

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

$$c = \sqrt{3}a$$

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

$$\text{તેથી, } \sqrt{3}a = 4r$$

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

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

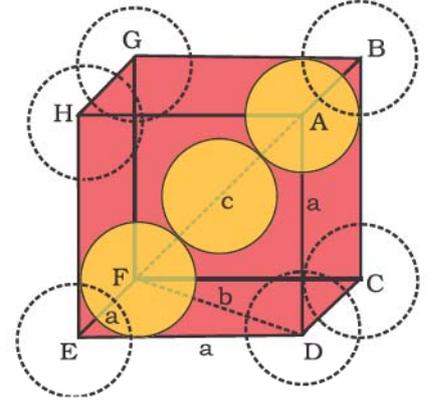
આ પ્રકારની રચનામાં પરમાણુની કુલ સંખ્યા 2 છે અને તેમનું કદ  $2 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3$  થશે.

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.

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

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

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



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

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.

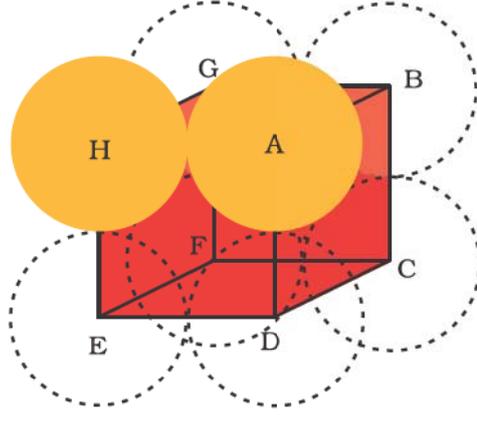
$$a = 2r$$

$$\text{સમઘન એકમ કોષનું કદ} = a^3 = (2r)^3 = 8r^3$$

સાદો સમઘનીય એકમ કોષ 1 જ પરમાણુ ધરાવતો હોઈ,

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

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 પેકિંગ 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

$$\text{એકમ કોષનું કદ} = a^3,$$

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

એકમ કોષમાં રહેલા પરમાણુનું દળ

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

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

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

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

**કોયડો 1.3** એક તત્વની રચના અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) છે અને તેના કોષની ધાર 288 pm છે. તત્વની ઘનતા 7.2 g/cm<sup>3</sup> છે. તત્વના 208 ગ્રામમાં કેટલા પરમાણુ રહેલા હશે ?

**ઉકેલ :** એકમ કોષનું કદ = (288 pm)<sup>3</sup>

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

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

તત્વના 208 ગ્રામ નું કદ

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

આ કદમાં એકમ કોષની સંખ્યા

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

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

$$= 24.16 \times 10^{23} \text{ પરમાણુ}$$

#### કોયડો 1.4

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

#### ઉકેલ

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

$$\text{માટે, } M = \frac{d N_A a^3}{z}$$

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

$$= 63.1 \text{ g / mol.}$$

$$\text{કોપરનું પરમાણ્વીય દળ} = 63.1 \text{ u}$$

#### 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 =  $107.9 \text{ g mol}^{-1} = 107.9 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$ .

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

$$\text{ઘનતા, } d = \frac{z.M}{a^3.N_A}$$

$$= \frac{4 \times (107.9 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1})}{(408.6 \times 10^{-12} \text{ m})^3 (6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1})} = 10.5 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$= 10.5 \text{ g cm}^{-3}$$

#### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

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

1.14 એક સંયોજન પટ્ટકોણીય સંવૃત સંકુલિત રચના બનાવે છે. તેના 0.5 mol માં હિદ્રોની કુલ સંખ્યા કેટલી હશે ? આ પૈકીના કેટલા હિદ્રો સમયતુષ્ફલકીય છે ?

- 1.15 એક સંયોજન બે તત્ત્વો M અને Nથી રચાય છે. તત્ત્વ N ccp રચે છે અને Mના પરમાણુઓ સમયતુષ્ફલકીય 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  $2.7 \times 10^{-2} \text{ kg mol}^{-1}$  મોલર દળ ધરાવતું એક તત્ત્વ ઘન એકમ કોષ રચે છે જેની ધાર લંબાઈ 405 pm છે. જો તેની ઘનતા  $2.7 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  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 સમુચ્ચ 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.

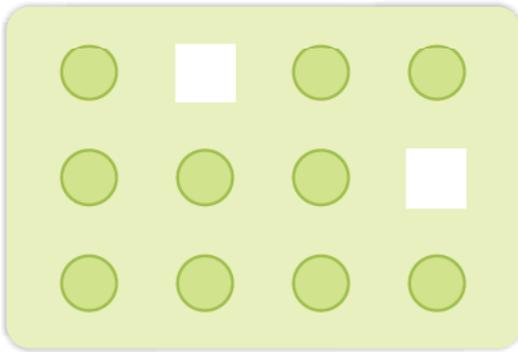
### 1.9.1 બિંદુ ક્ષતિના પ્રકાર (Types of Point Defects)

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, રિક્ટ (ખાલી) ક્ષતિ અને આંતરાલીય ક્ષતિ.

(i) રિક્ટ (ખાલી) ક્ષતિ : જ્યારે કેટલાક લેટિસ સ્થાન ખાલી હોય છે. ત્યારે સ્ફટિકને રિક્ટ 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.

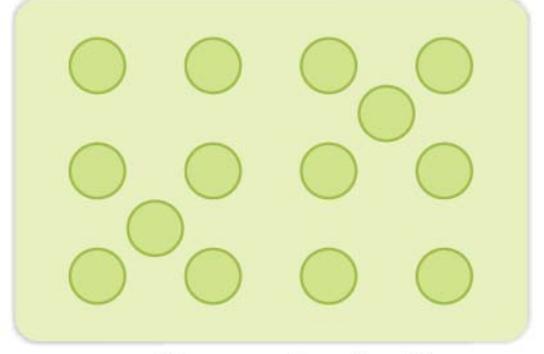


આકૃતિ 1.27 : રિક્ટ (ખાલી) ક્ષતિ

(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.

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

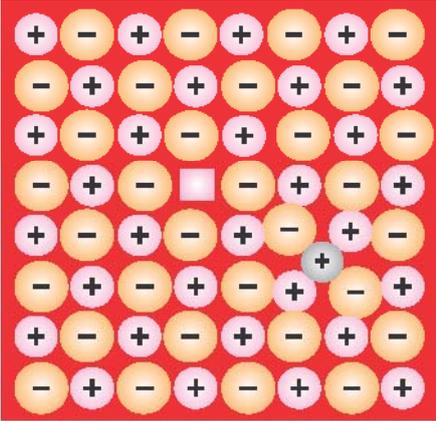
(iii) ફેન્કલ ક્ષતિ : આ ક્ષતિ આયનીય ઘન પદાર્થ દ્વારા દર્શાવાય છે વધુ નાનો આયન (સામાન્ય રીતે ધનાયન) પોતાના સામાન્ય સ્થાનમાંથી આંતરાલય સ્થાનમાં વિસ્થાપન અથવા સ્થાનભ્રંશ (dislocation) થયેલ હોય છે (આકૃતિ 1.29). તે રિક્ત ક્ષતિ તેના મૂળ સ્થાને ઉપજાવે છે અને આ નવા સ્થાને આંતરાલીય ક્ષતિ ઉપજાવે છે.



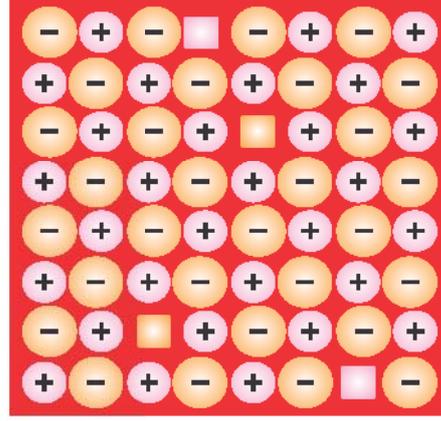
આકૃતિ 1.28 : આંતરાલીય ક્ષતિ

ફેન્કલ ક્ષતિને વિસ્થાપન ક્ષતિ પણ કહે છે. તે ઘન પદાર્થની ઘનતામાં ફેરફાર કરતી નથી. ફેન્કલ 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) શોટ્કી 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 : ફેન્કલ ક્ષતિ



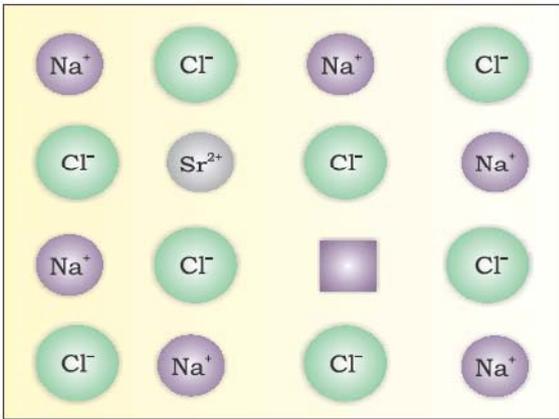
આકૃતિ 1.30 : શોટ્કી ક્ષતિ

સાદી રિક્ત ક્ષતિની જેમ, શોટ્કી ક્ષતિ પદાર્થની ઘનતા ઘટાડે છે. આયનીય ઘન પદાર્થોમાં આવી ક્ષતિની સંખ્યા અર્થસૂચક હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, NaClમાં, આશરે  $10^6$  શોટ્કી ક્ષતિ પ્રતિ સેમી<sup>3</sup> ઓરડાના તાપમાને હોય છે. 1 સેમી<sup>3</sup>માં આશરે  $10^{22}$  આયનો હોય છે. આથી દર  $10^{16}$  આયનોમાં એક શોટ્કી ક્ષતિ હોય છે. શોટ્કી 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 ફેન્કલ અને શોટ્કી ક્ષતિ દર્શાવે છે.

(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  $AgCl$ નું ઘન દ્રાવણ છે.



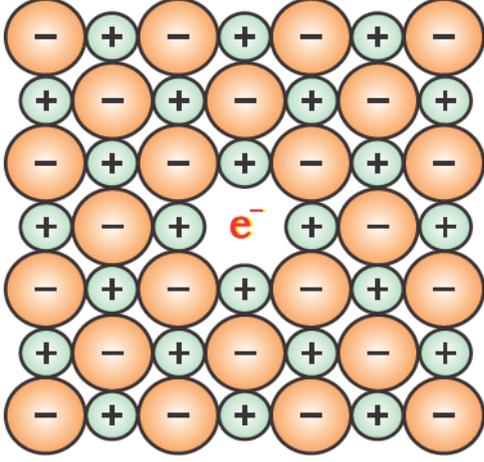
આકૃતિ 1.31 : NaClમાં ધનાયન રિક્ત સ્થાનમાં  $Na^{+}$  નું  $Sr^{2+}$  વડે વિસ્થાપનથી પ્રવેશ

(c) બિનતત્વયોગમિતિય ક્ષતિ

અત્યાર સુધી ચર્ચા કરી તે ક્ષતિ સ્ફટિકમય પદાર્થની તત્વયોગમિતિને ખલેલ પહોંચાડતી નથી. તેમ છતાં વિશાળ પ્રમાણમાં બિનતત્વયોગમિતિય અકાર્બનિક ઘન પદાર્થો જાણવા મળ્યા છે જેમાં ઘટક તત્વો બિનતત્વયોગમિતિય 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.

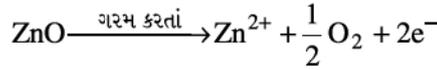
(i) ધાતુ વધારો ક્ષતિ

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<sup>-</sup> સ્ફટિકની સપાટીમાં પ્રસરણ પામે છે અને Na પરમાણુ સાથે સંયોજાય છે અને NaCl આપે છે. આ સોડિયમ પરમાણુમાંથી Na<sup>+</sup> આયન બનવાથી ગુમાવાતા ઇલેક્ટ્રોનને લીધે બને છે. આ છૂટો પડેલો ઇલેક્ટ્રોન સ્ફટિકમાં પ્રસરે છે અને એનાયનીય સ્થાન રોકી લે છે (આકૃતિ 1.32). આને પરિણામે સ્ફટિક હવે સોડિયમનો વધારો ધરાવે છે. અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન 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 ઇલેક્ટ્રોનને લીધે હોય છે. તેવી જ રીતે LiClના સ્ફટિકને વધુ લિથિયમ આછો ગુલાબી રંગ અને KClના સ્ફટિકને વધુ પોટેશિયમ જાંબલી (અથવા નીલવર્ણી) બનાવે છે.



આકૃતિ 1.32 : સ્ફટિકમાં F કેન્દ્ર

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



હવે સ્ફટિકમાં ઝિંકનો વધારો હોય છે અને તેનું સૂત્ર Zn<sub>1+x</sub>O બને છે. વધારાના Zn<sup>2+</sup> આયન આંતરાલીય સ્થાન તરફ ખસે છે અને ઇલેક્ટ્રોન પડોશી (નજીકના) આંતરાલીય સ્થાનો તરફ ખસે છે.

(ii) ધાતુ ઊણપ ક્ષતિ

એવા ઘણા ઘન પદાર્થો છે જેમને તેમના તત્વયોગમિતિય સંઘટન મુજબના બનાવવા મુશ્કેલ છે અને તે તત્વયોગમિતિય પ્રમાણ કરતાં ઓછા પ્રમાણમાં ધાતુ આયન ધરાવે છે. આવું એક વિશિષ્ટ ઉદાહરણ FeO છે જે મોટે ભાગે Fe<sub>0.95</sub>O સંઘટનમાં મળી આવે છે. તે પરેખર Fe<sub>0.93</sub>O થી Fe<sub>0.96</sub>O ના ગાળામાં હોય છે. FeO ના સ્ફટિકમાં કેટલાક Fe<sup>2+</sup> આયન ગુમ થયેલા જણાય છે અને આ ધનભારનો ઘટાડો જરૂરી સંખ્યામાં Fe<sup>3+</sup> આયનની હાજરીને લીધે સરભર થાય છે.

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

(i) વાહકો : જે ઘન 10<sup>4</sup> થી 10<sup>7</sup> ohm<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>ના ગાળામાં વાહકતા ધરાવે છે તેમને વાહકો કહે છે. ધાતુઓને વાહકતાનો ક્રમ 10<sup>7</sup> ohm<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup> જેટલો હોય છે અને તેઓ સુવાહકો છે.

1.10 વિદ્યુતીય ગુણધર્મો  
(Electrical Properties)

- (ii) અવાહકો : આ એવા ઘન પદાર્થો છે જેમની વાહકતા ઓછી એટલે કે  $10^{-20}$  થી  $10^{-10} \text{ ohm}^{-1}\text{m}^{-1}$ ના ગાળામાં હોય છે.
- (iii) અર્ધવાહકો : આ એવા ઘન પદાર્થો છે જેમની વાહકતા  $10^{-6}$  થી  $10^4 \text{ ohm}^{-1}\text{m}^{-1}$ ની મધ્યમાં હોય છે.

### 1.10.1 ધાતુઓમાં વિદ્યુતનું વહન (Conduction of Electricity in Metals)

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

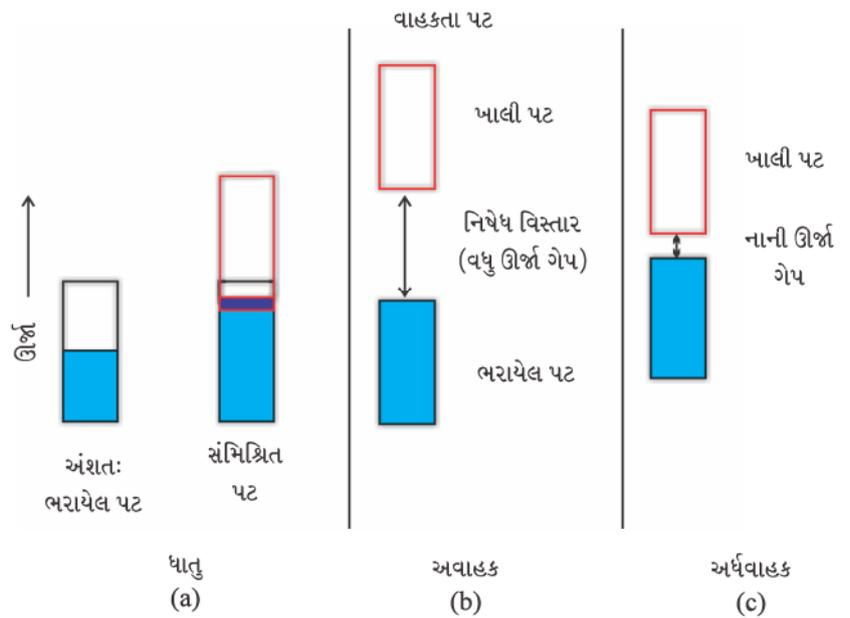
ધાતુઓ ઘન તેમજ પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે. ધાતુઓની વાહકતા પ્રતિ પરમાણુ મળતા સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે. ધાતુ પરમાણુની પરમાણ્વીય કક્ષકો - આણ્વીય કક્ષકો રચે છે જેમની ઊર્જા એકબીજાની એટલી નજીક હોય છે કે જેથી પટની રચના કરે છે. જો આ પટ અંશત: ભરાયેલા હોય અથવા તે ઊંચી ઊર્જાવાળા, નહિ ભરાયેલા અથવા ખાલી વાહકતા પટ સાથે વ્યાપ્ત થાય તો ઇલેક્ટ્રોન 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, ઇલેક્ટ્રોન તેમાં કૂદી શકે નહિ અને તેવા પદાર્થની વાહકતા ખૂબ ઓછી હોય છે અને તે અવાહક તરીકે વર્તણૂક દર્શાવશે (આકૃતિ 1.33 b).

### 1.10.2 અર્ધવાહકોમાં વિદ્યુતનું વહન (Conduction of Electricity in Semiconductors)

અર્ધવાહકોની બાબતમાં સંયોજકતા પટ અને વાહકતા પટ વચ્ચેની જગ્યા ઓછી હોય છે (આકૃતિ 1.33 c). આથી કેટલાક ઇલેક્ટ્રોન વાહકતા પટમાં કૂદી જઈ શકે છે અને થોડીક (કેટલીક) વાહકતા દર્શાવે છે. અર્ધવાહકોની વિદ્યુતીય વાહકતા તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે કારણ કે વધુ ઇલેક્ટ્રોન વાહકતા પટમાં કૂદીને જઈ શકે છે. સિલિકોન 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 સિલિકોન 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.

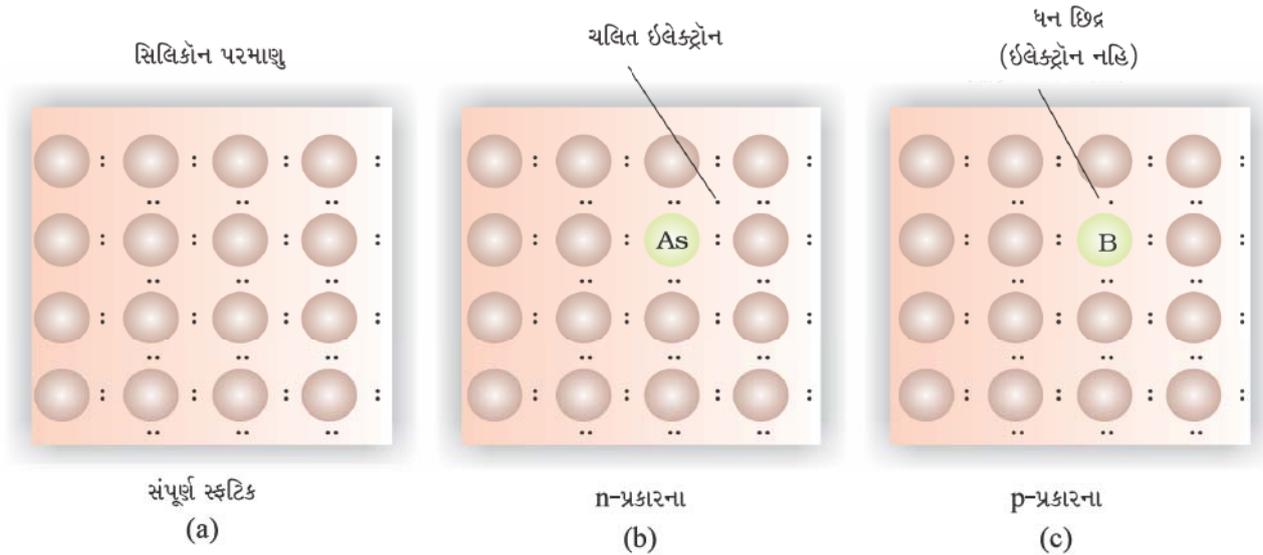
અર્ધવાહક કરતાં વધુ ઇલેક્ટ્રોન સમૃદ્ધિ અથવા ઇલેક્ટ્રોન ઊણપ અશુદ્ધિઓનો ઉપયોગ કરીને કરી શકાય છે. આવી અશુદ્ધિઓ ઇલેક્ટ્રોનીય ક્ષતિ દાખલ કરે છે.

(a) ઇલેક્ટ્રોન સમૃદ્ધ અશુદ્ધિ :

સિલિકોન અને જર્મેનિયમ આવર્ત કોષ્ટકના 14મા સમૂહમાં સમાવિષ્ટ છે અને તેમને દરેકને ચાર સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન 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 ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે તેના વડે ડોપિંગ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે સિલિકોન અથવા જર્મેનિયમના કેટલાક લેટિસ સ્થાનો રોકે છે (આકૃતિ 1.34 b). પાંચમાંથી ચાર ઇલેક્ટ્રોન સિલિકોનના ચાર પડોશી પરમાણુ સાથે સહસંયોજક બંધ બનાવવામાં વપરાય છે. પાંચમો ઇલેક્ટ્રોન વધારાનો છે અને તે વિસ્થાનીકૃત થાય છે. આ વિસ્થાનીકૃત ઇલેક્ટ્રોન ડોપ કરેલા સિલિકોન(અથવા જર્મેનિયમ)ની વાહકતા વધારે છે. અહિંયા, વાહકતાનો વધારો ઋણભારિત ઇલેક્ટ્રોનને કારણે હોય છે. તેથી જ ઇલેક્ટ્રોન સમૃદ્ધ અશુદ્ધિ સાથે ડોપ કરેલા સિલિકોન n-પ્રકારનો અર્ધવાહક કહેવાય છે.

(b) ઇલેક્ટ્રોન - ઊણપ અશુદ્ધિ :

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

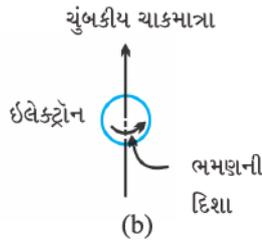
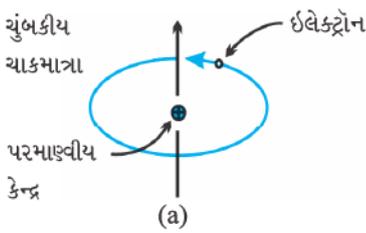
### n-પ્રકારના અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોના અનુપ્રયોગો (ઉપયોગો)

ઇલેક્ટ્રોનિક 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 સિલિકોન સમૂહ 14ના તત્ત્વો છે અને તેથી ચાર સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોન 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 ઇલેક્ટ્રોનને ઉદ્દીપ્ત (stimulate) કરે છે. સમૂહ 13-15ના વિશિષ્ટ સંયોજનો InSb, AIP અને GaAs છે. ગેલિયમ આર્સેનાઇડ (GaAs) અર્ધવાહકો ખૂબ જ ઝડપી પ્રતિક્રિયા (response) આપે છે અને તેમણે અર્ધવાહક સાધનોની (ઉપકરણો) (devices) ડિઝાઇનમાં 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 સંક્રાંતિ ધાતુ ઓક્સાઇડ વિદ્યુતીય ગુણધર્મમાં નોંધપાત્ર તફાવત દર્શાવે છે.  $TiO_2$ ,  $CrO_2$  અને  $ReO_3$  ધાતુની જેમ વર્તે છે. રૂહેનિયમ ઓક્સાઇડ ( $ReO_3$ ) વાહકતા અને દેખાવમાં ધાત્વીય કોપર જેવો છે. બીજા કેટલાક ઓક્સાઇડ 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)



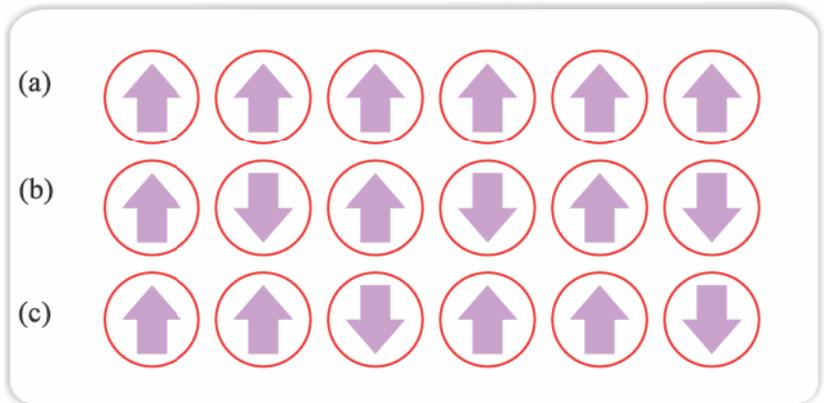
આકૃતિ 1.35 : (a) ક્ષકીય ઇલેક્ટ્રોન અને (b) ભ્રમણીય ઇલેક્ટ્રોન સાથે સંલગ્ન ચુંબકીય ચાકમાત્રાનું નિર્દેશન

દરેક પદાર્થને તેની સાથે સંલગ્ન થોડો ઘણો ચુંબકીય ગુણધર્મ હોય છે. આ ગુણધર્મનું ઉદ્ભવસ્થાન ઇલેક્ટ્રોનમાં રહેલ છે. દરેક પરમાણુમાંનો ઇલેક્ટ્રોન એક નાના (tiny) ચુંબક તરીકે વર્તે છે. તેની ચુંબકીય ચાકમાત્રા બે પ્રકારની ગતિમાંથી ઉદ્ભવે છે. (i) તેની કેન્દ્રની આસપાસની ક્ષકીય ગતિ અને (ii) તેની પોતાની ધરીની આસપાસ ભ્રમણીય ગતિ (આકૃતિ 1.35). ઇલેક્ટ્રોન 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 ઇલેક્ટ્રોનને કાયમી ભ્રમણ અને તેની સાથે સંલગ્ન ક્ષકીય ચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે. ચુંબકીય ચાકમાત્રાની આ માત્રા ઘણી ઓછી હોય છે અને તેને જે એકમમાં માપી શકાય તેને બોહ્ર મેગ્નેટોન  $\mu_B$  કહે છે. તેના બરાબર  $9.27 \times 10^{-24} \text{ A m}^2$  છે.

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

(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 ઇલેક્ટ્રોનની 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 નિર્ભળ રીતે અપાકર્ષણ પામે છે.  $H_2O$ ,  $NaCl$  અને  $C_6H_6$  આવા પદાર્થોના કેટલાક ઉદાહરણો છે. તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં નિર્ભળ રીતે વિરુદ્ધ દિશામાં ચુંબકીય બને છે. પ્રતિચુંબકત્વ એવા પદાર્થો દર્શાવે છે જેમાં બધા જ ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મિત હોય અથવા એક પણ ઇલેક્ટ્રોન અયુગ્મિત ન હોય. ઇલેક્ટ્રોનનું 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 કમબંધ થવું ચુંબકીયક્ષેત્ર દૂર કરવામાં આવે તોપણ સતત આવૃત (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 વિરુદ્ધ અભિવિન્યાસ ધરાવે છે અને એકબીજાની ચુંબકીય ચાકમાત્રાને રદ (નષ્ટ) કરે છે (આકૃતિ 1.36b).
- (v) ફેરિમેગ્નેટિક : જ્યારે પદાર્થમાંની અસમાન સંખ્યામાં ડોમેઇનની ચુંબકીય ચાકમાત્રા સમાંતર અને બિનસમાંતર દિશાઓમાં અભિવિન્યાસ ધરાવે છે ત્યારે ફેરિમેગ્નેટિક અવલોકિત કરી શકાય છે (આકૃતિ 1.36c). ફેરિમેગ્નેટિક પદાર્થોની સરખામણીમાં તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રથી નિર્ભળ રીતે આકર્ષાયેલ હોય છે.  $Fe_3O_4$  (મેગ્નેટાઇટ)  $MgFe_2O_4$  અને  $ZnFe_2O_4$  જેવા ફેરાઇટ આવા પદાર્થના ઉદાહરણ છે. આ પદાર્થોને ગરમ કરતાં ફેરિમેગ્નેટિક ગુમાવે છે અને અનુચુંબકીય બને છે.



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

## 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 રિક્ટ (ખાલી) સ્થાનોમાં કેવી રીતે દાખલ થાય છે ? તે સમજાવો.
- 1.21 આયનીય ઘન પદાર્થ જેમને ધાતુ વધારો ક્ષતિને કારણે પરમાણ્વીય રિક્ટ સ્થાનો હોય છે તે રંગ દર્શાવે છે. યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે સમજાવો.
- 1.22 સમૂહ-14ના તત્ત્વને યોગ્ય અશુદ્ધિ દ્વારા ડોપિંગ કરીને n-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં પરિવર્તિત કરવું છે. આ અશુદ્ધિ કયા સમૂહમાં સમાવિષ્ટ હોવી જોઈએ ?
- 1.23 ફેરોમેગ્નેટિક અથવા ફેરિમેગ્નેટિક 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 અંત:કેન્દ્ર (અંત:કેન્દ્રિત) 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 સંકુલનથી 74 % 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 ફેન્કલ અને શોટ્ટકી 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 ઊંચાઈ કરીને દાખલ કરી શકાય છે અને તેમના વિદ્યુતીય ગુણધર્મો બદલાઈ જાય છે. આવા પદાર્થો ઇલેક્ટ્રોનિક ઉદ્યોગોમાં વિશાળ પ્રમાણમાં ઉપયોગી છે. ઘન પદાર્થો ઘણા પ્રકારના ચુંબકીય ગુણધર્મો દર્શાવે છે જેમ કે અનુચુંબકત્વ, પ્રતિચુંબકત્વ, લોહચુંબકત્વ, પ્રતિલોહચુંબકત્વ અને ફેરિમેગ્નેટિઝમ આ ગુણધર્મોનો ઉપયોગ ઓરિયો (શ્રાવ્ય) વીડીયો (દૃશ્ય) અને અન્ય રેકોર્ડિંગ ઉપકરણોમાં વપરાય છે. આ બધા જ ગુણધર્મો તેમના ઇલેક્ટ્રોનીય બંધારણ અથવા રચના સાથે સુસંગત કરી શકાય છે.

## સ્વાધ્યાય

- 1.1 'અસ્ફટિકમય' પર્યાયની વ્યાખ્યા આપો. કેટલાક અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોના ઉદાહરણ આપો.
- 1.2 કાય, ક્વાર્ટઝ જેવા ઘન પદાર્થથી કેવી રીતે અલગ પડે છે ? કઈ પરિસ્થિતિમાં ક્વાર્ટઝને કાયમાં પરિવર્તિત કરી શકાય ?
- 1.3 નીચેના ઘન પદાર્થોને આયનીય, ધાત્વીય, આણ્વીય, જાળીદાર (સહસંયોજક) અથવા અસ્ફટિકમયમાં વર્ગીકૃત કરો :
 

(i) ટેટ્રાફોસ્ફરસ ડેકોક્સાઇડ ( $P_4O_{10}$ )	(vii) ગ્રેફાઇટ
(ii) એમોનિયમ ફોસ્ફેટ ( $(NH_4)_3PO_4$ )	(viii) બ્રાસ (પિત્તળ)
(iii) SiC	(ix) Rb
(iv) $I_2$	(x) LiBr
(v) $P_4$	(xi) Si
(vi) પ્લાસ્ટિક	
- 1.4 (i) 'સવર્ગ આંક' પર્યાયનો અર્થ શું છે ?  
(ii) પરમાણુઓનો સવર્ગ આંક કેટલો છે ?  
(a) સમઘનીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં (b) અંતઃકેન્દ્રિત સમઘનીય રચનામાં
- 1.5 જો તમે અજ્ઞાત ધાતુની ઘનતા અને એકમ કોષના પરિમાણ જાણતા હોય તો તેનું પરમાણ્વીય દળ કઈ રીતે નક્કી કરી શકો ? સમજાવો.
- 1.6 'સ્ફટિકની સ્થાયીતા તેના ગલનબિંદુની માત્રામાં પરાવર્તિત થાય છે.' આલોચના (comment) કરો. ઘન પાણી, ઇથાઇલ આલ્કોહોલ, ડાયઇથાઇલ ઇથર અને મિથેનના ગલનબિંદુ માહિતી પુસ્તકમાંથી મેળવો. આ અણુઓ વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય બળો વિશે તમે શું કહી શકશો ?

- 1.7 નીચેના પર્યાયોની જોડને તમે કેવી રીતે વિભેદિત કરશો ?
- ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન અને સમઘનીય સંવૃત સંકુલન
  - સ્ફટિક લેટિસ અને એકમ કોષ
  - ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર અને અષ્ટફલકીય છિદ્ર
- 1.8 નીચેના દરેક લેટિસના એક એકમ કોષમાં કેટલા લેટિસ બિંદુ હશે ?
- ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય
  - ફલક કેન્દ્રિત ચતુષ્ફલકીય
  - અંત:કેન્દ્રિત
- 1.9 સમજાવો.
- ધાત્વીય અને આયનીય સ્ફટિકો વચ્ચે સમાનતા અને ભિન્નતાના આધારો.
  - આયનીય ઘન પદાર્થો સખત અને બરડ છે.
- 1.10 નીચેના કિસ્સામાં ધાતુ સ્ફટિકમાં સંકુલન ક્ષમતા ગણો.
- સાદો સમઘનીય
  - અંત: કેન્દ્રિત સમઘનીય
  - ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય (એ ધારણા સાથે કે પરમાણુઓ એકબીજાને અડકે છે.)
- 1.11 સિલ્વર fcc લેટિસમાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જો કોષની ધારની લંબાઈ  $4.07 \times 10^{-8}$  cm અને ઘનતા  $10.5 \text{ g cm}^{-3}$  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 અંત:કેન્દ્ર પર છે. સંયોજનનું સૂત્ર શું હશે ? P અને Qના સવર્ગ આંક કેટલા હશે ?
- 1.13 નિયોબિયમ અંત:કેન્દ્રિત સમઘનીય રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જો ઘનતા  $8.55 \text{ g cm}^{-3}$  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 કોપર fcc લેટિસમાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે અને તેની ધારની લંબાઈ  $3.61 \times 10^{-8}$  cm છે. દર્શાવો કે તેની ગણતરીથી મેળવેલી ઘનતા માપેલી ઘનતાના મૂલ્ય  $8.92 \text{ g cm}^{-3}$ ને મળતી (સરખી) આવે છે.
- 1.16 પૃથક્કરણ દર્શાવે છે કે નિકલ ઓક્સાઈડને  $\text{Ni}_{0.98}\text{O}_{1.00}$  સૂત્ર છે. નિકલનો કેટલો અંશ  $\text{Ni}^{2+}$  અને  $\text{Ni}^{3+}$  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 ઓક્સાઈડ  $\text{Cu}_2\text{O}$  પ્રયોગશાળામાં બનાવી શકાય છે. આ ઓક્સાઈડમાં કોપર અને ઓક્સિજનનો ગુણોત્તર 2 : 1 કરતાં થોડો ઓછો છે. તમે એ હકીકતની માહિતી આપી શકશો કે આ પદાર્થ p-પ્રકારનું અર્ધવાહક છે ?
- 1.19 ફેરિક ઓક્સાઈડ, ઓક્સાઈડ આયનની ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જેમાં દર ત્રણ અષ્ટફલકીય છિદ્રો પૈકીના બે છિદ્રો ફેરિક આયન વડે ભરાયેલા છે. ફેરિક ઓક્સાઈડનું સૂત્ર ઉપજાવો.
- 1.20 નીચેનામાંથી દરેકનું p-પ્રકારના કે n-પ્રકારના અર્ધવાહક તરીકે તેનું વર્ગીકરણ કરો.
- In વડે ડોપ (dope) કરેલું Ge
  - 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) શોટ્કી ક્ષતિ (ii) ફેન્કલ 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<sup>3</sup> કદમાં કેટલા એકમ કોષ રહેલા છે ?
- 1.25 જો NaClને 10<sup>-3</sup> mol % SrCl<sub>2</sub> 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) ફેરિમેગ્નેટિઝમ  
(iv) પ્રતિલોહચુંબકત્વ  
(v) 12 - 16 અને 13 - 15 સમૂહના સંયોજનો.

#### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નોના જવાબો

- 1.13 4
- 1.14 છિદ્ર(void)ની કુલ સંખ્યા =  $9.033 \times 10^{23}$   
સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા =  $6.022 \times 10^{23}$
- 1.15 M<sub>2</sub>N<sub>3</sub>
- 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.
- હેત્રીના 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 કોપર અને ઝિંકનું મિશ્રણ છે) ગુણધર્મો, જર્મન સિલ્વર (કોપર, ઝિંક અને નિકલનું મિશ્રણ છે) અથવા બ્રોન્ઝના (કાંસુ) (જે કોપર 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 ઈજેક્શન 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 સમજાવે છે 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 નાઈટ્રોજન વાયુઓનું મિશ્રણ
	પ્રવાહી	વાયુ	નાઈટ્રોજન વાયુ સાથે મિશ્ર કરેલ ક્લોરોફોર્મ
	ઘન	વાયુ	નાઈટ્રોજન 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 કોપર

## 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.

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

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.

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

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 °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

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

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.)  $6 \times 10^{-3}$  g દ્રાવ્ય ઓક્સિજન (O<sub>2</sub>) ધરાવે છે. આટલી ઓછી સાંદ્રતાને 5.8 g પ્રતિ 10<sup>6</sup> g (5.8 ppm) દરિયાના પાણી તરીકે અભિવ્યક્ત કરી શકાય. પાણીમાં અથવા વાતાવરણમાં પ્રદૂષકોની સાંદ્રતા સામાન્ય રીતે  $\mu\text{g mL}^{-1}$  અથવા ppm પર્યાયમાં અભિવ્યક્ત કરાય છે.

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

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

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,

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

$i$  સંખ્યાના ઘટકો ધરાવતા દ્રાવણ માટે આપણને મળશે,

$$x_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + \dots + n_i} = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad (2.6)$$

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

$$x_1 + x_2 + \dots + x_i = 1 \quad (2.7)$$

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 ઇથીલીન ગ્લાયકોલ ( $C_2H_6O_2$ ) ધરાવતા દ્રાવણમાં ઇથીલીન 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 ઇથીલીન ગ્લાયકોલ અને 80 g પાણી હશે.

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

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

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

$$X_{\text{glycol}} = \frac{C_2H_6O_2 \text{ નો મોલ}}{C_2H_6O_2 \text{ ના મોલ} + H_2O \text{ ના મોલ}}$$
$$= \frac{0.322 \text{ mol}}{0.322 \text{ mol} + 4.444 \text{ mol}} = 0.068$$

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

$$\text{પાણીના મોલ અંશ આ રીતે પણ ગણી શકાય : } 1 - 0.068 = 0.932$$

(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 :**  $NaOH$ ના મોલ =  $\frac{5 \text{ g}}{40 \text{ g mol}^{-1}} = 0.125 \text{ mol}$

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

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<sup>-1</sup> (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 મોલાલિટી 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 ઈથેનોઈક એસિડ (CH<sub>3</sub>COOH)ની મોલાલિટી ગણો.

#### ઉકેલ

$$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{નું મોલર દળ} = 12 \times 2 + 1 \times 4 + 16 \times 2 = 60 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{ના મોલ} = \frac{2.5 \text{ g}}{60 \text{ g mol}^{-1}} = 0.0417 \text{ mol}$$

$$\text{બેન્ઝિનનું દળ kg માં} = 75 \text{ g} / 1000 \text{ g kg}^{-1} = 75 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{ની મોલાલિટી} &= \frac{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{ના મોલ}}{\text{બેન્ઝિનના kg}} = \frac{0.0417 \text{ mol} \times 1000 \text{ g kg}^{-1}}{75 \text{ g}} \\ &= 0.556 \text{ mol kg}^{-1} \end{aligned}$$

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 2.1 જો 22 g બેન્ઝિન (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) 122 g કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડ (CCl<sub>4</sub>)માં ઓગાળવામાં આવે તો બેન્ઝિન અને કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડની દળ ટકાવારી ગણો.
- 2.2 30 % દળથી બેન્ઝિન ધરાવતા કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડ દ્રાવણમાં બેન્ઝિનનો મોલ અંશ ગણો.
- 2.3 નીચેના દરેક દ્રાવણની મોલાલિટી ગણો : (a) 4.3 L દ્રાવણમાં 30 g Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O (b) 30 mL 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>નું મંદન કરી 500 mL બનાવવામાં આવ્યું.
- 2.4 2.5 kg 0.25 મોલલ યૂરિયા (NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>)નું દ્રાવણ બનાવવા માટે યૂરિયાનું દળ ગણો.
- 2.5 જો 20 % (દળ / દળ) જલીય KI દ્રાવણની ઘનતા 1.202 g mL<sup>-1</sup> હોય, તો KIની (a) મોલાલિટી (b) મોલાલિટી 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 પરિબલોની 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.



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 પરિબલો 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 સિદ્ધાંતને અનુસરશે. સામાન્ય રીતે જો લગભગ સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં વિલયન પ્રક્રિયા ઉષ્માશોષક છે ( $\Delta_{\text{sol}} H > 0$ ), તો તાપમાનના વધારા સાથે દ્રાવ્યતા વધશે અને જો પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક હશે, તો ( $\Delta_{\text{sol}} H < 0$ ) દ્રાવ્યતા ઘટશે. આ વલણનું પ્રાયોગિક રીતે અવલોકન કરી શકાય.

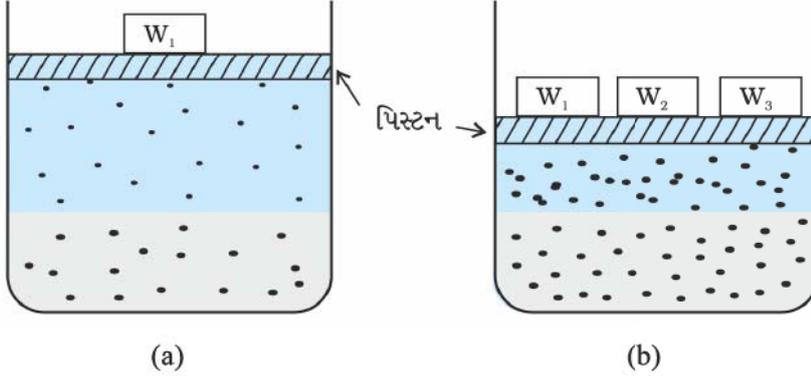
**દબાણની અસર :**

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)

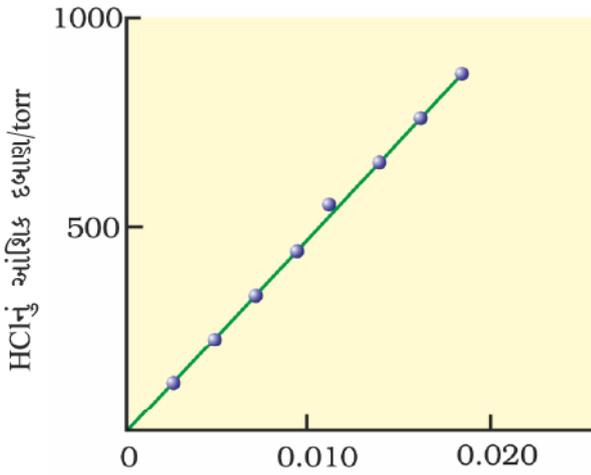
ઘણા વાયુઓ પાણીમાં ઓગળે છે. ઓક્સિજન પાણીમાં ઘણી ઓછી માત્રામાં ઓગળે છે. આ એ ઓગળેલો ઓક્સિજન છે જે જળચરના જીવનને ટકાવી રાખે છે. બીજી બાજુ પર હાઈડ્રોજન ક્લોરાઇડ (HCl) પાણીમાં ખૂબ જ દ્રાવ્ય છે. વાયુની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા દબાણ અને તાપમાનથી વધારે અસર પામે છે. વાયુની દ્રાવ્યતા

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.



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.



HClના તેના સાયક્લોહેક્ઝેનમાંના દ્રાવણમાં મોલ અંશ.

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

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

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  $K_H$ ના 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  $K_H$ નું ઊંચું મૂલ્ય પ્રવાહીમાં વાયુની ઓછી દ્રાવ્યતા સૂચવે છે. કોષ્ટક 2.2 પરથી જોઈ શકાશે કે  $N_2$  અને  $O_2$  બંને માટે  $K_H$ ના 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 હેત્રી નિયમના અચળાંકના મૂલ્યો

વાયુ	તાપમાન/K	$K_H$ / kbar	વાયુ	તાપમાન/K	$K_H$ / kbar
He	293	144.97	આર્ગોન	298	40.3
H <sub>2</sub>	293	69.16	CO <sub>2</sub>	298	1.67
N <sub>2</sub>	293	76.48	ફોર્માલ્ડિહાઇડ	298	1.83 x 10 <sup>-5</sup>
N <sub>2</sub>	303	88.84			
O <sub>2</sub>	293	34.86	મિથેન	298	0.413
O <sub>2</sub>	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<sub>2</sub> વાયુ ઓગળશે ? એવું ધારો કે N<sub>2</sub> 0.987bar આંશિક દબાણ સર્જે છે. N<sub>2</sub> માટે 293 તાપમાને હેત્રીના નિયમનો અચળાંક 76.48 kbar આપેલ છે.

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

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

1 લિટર પાણી તેના 55.5 મોલ ધરાવે છે, તેથી જો N<sub>2</sub> વાયુના દ્રાવણમાં n મોલ હોય, તો

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

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

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

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

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

- હળવા પીણા અને સોડાવોટરમાં CO<sub>2</sub>ની સાંદ્રતા વધારવા માટે બોટલને 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 નાઈટ્રોજનની ઊંચી સાંદ્રતાની વિષાલુ અસરોને પણ દૂર રાખવા માટે સ્કુબા મરજીવા હિલિયમ વડે મંદ કરેલી હવા (11.7 % હિલિયમ, 56.2 % નાઈટ્રોજન અને 32.1 % ઓક્સિજન) ભરેલી ટાંકીઓનો ઉપયોગ કરે છે.

- વધુ ઊંચાઈએ ઓક્સિજનનું આંશિક દબાણ ભૂમિ સ્તર કરતાં ઓછું હોય છે. આ વધુ ઊંચાઈએ રહેતા લોકો અથવા પર્વતારોહકોના લોહી અને ઉત્તક (પેશી) (tissue)માં ઓક્સિજનની ઓછી સાંદ્રતા તરફ દોરી જાય છે. ઓછો રક્ત ઓક્સિજન 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 નિયમને અનુસરવું જોઈએ. વિલયન ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા હોવાથી તાપમાનના વધારા સાથે દ્રાવ્યતા ઘટવી જોઈએ.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 2.6 H<sub>2</sub>S એક વિષાલુ વાયુ જે સડેલા ઈંડાં જેવી વાસ ધરાવે છે તેનો ઉપયોગ ગુણાત્મક પૃથક્કરણમાં કરવામાં આવે છે. જો H<sub>2</sub>Sની પાણીમાં દ્રાવ્યતા STP એ 0.195 m હોય, તો હેત્રી અચળાંકની ગણતરી કરો.
- 2.7 પાણીમાં CO<sub>2</sub> માટેનો હેત્રીનો અચળાંક 298 K તાપમાને 1.67 × 10<sup>8</sup> Pa છે. 298 K તાપમાને 2.5 atm CO<sub>2</sub> દબાણ હેઠળ સંકુલિત કરેલા 500 mL સોડાવોટરમાંના CO<sub>2</sub>ના 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<sub>total</sub> છે અને P<sub>1</sub> અને P<sub>2</sub> ઘટક 1 અને 2ના અનુક્રમે આંશિક બાષ્પદબાણ છે. આ બંને આંશિક બાષ્પદબાણ ઘટક 1 અને 2ના મોલ અંશ અનુક્રમે x<sub>1</sub> અને x<sub>2</sub> 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 બાષ્પદબાણ તે જ તાપમાને છે.

એ જ પ્રમાણે ઘટક 2 માટે,

$$p_2 = p_2^0 x_2$$
 (2.13)

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

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

$$p_{\text{total}} = p_1 + p_2$$
 (2.14)

$p_1$  અને  $p_2$ ના મૂલ્યો મૂકતાં મળશે.

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

$$= (1 - x_2) p_1^0 + x_2 p_2^0$$
 (2.15)

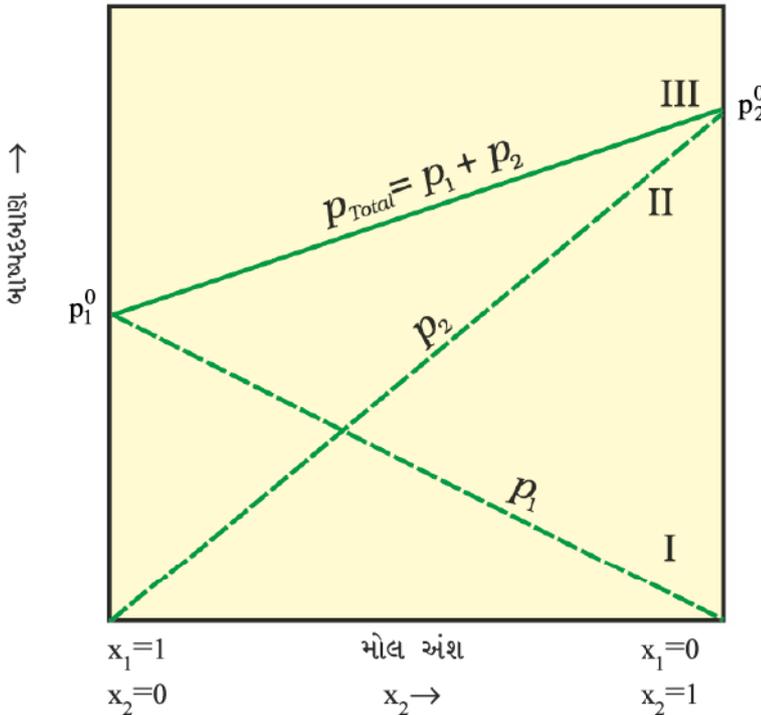
$$= p_1^0 + (p_2^0 - p_1^0) x_2$$
 (2.16)

(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  $x_2$ ને સમપ્રમાણમાં છે) કુલ બાષ્પદબાણ આકૃતિમાં III વડે ચિહ્નિત કરેલ રેખા દ્વારા દર્શાવેલ છે.

દ્રાવણ માટે  $p_1$  અથવા  $p_2$ નો 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  $p_{\text{total}}$  વિરુદ્ધ  $x_2$ નો આલેખ (રેખા III) પણ રેખિય છે (આકૃતિ 2.3).  $p_{\text{total}}$  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,

$$P_1 = y_1 P_{\text{total}} \quad (2.17)$$

$$P_2 = y_2 P_{\text{total}} \quad (2.18)$$

સામાન્ય રીતે

$$P_i = y_i P_{\text{total}} \quad (2.19)$$

### કોયડો 2.5

298 K તાપમાને ક્લોરોફોર્મ ( $\text{CHCl}_3$ ) અને ડાયક્લોરોમિથેન ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ )ના બાષ્પદબાણ અનુક્રમે 200 mm Hg અને 415 mm Hg છે. (i) 298 K તાપમાને 25.5 g  $\text{CHCl}_3$  અને 40 g  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  ને મિશ્ર કરી બનાવેલા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ ગણો અને (ii) બાષ્પકલામાં દરેક ઘટકનો મોલ અંશ ગણો.

### ઉકેલ

- (i)  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ નું મોલર દળ =  $12 \times 1 + 1 \times 2 + 35.5 \times 2 = 85 \text{ g mol}^{-1}$   
 $\text{CHCl}_3$ નું મોલર દળ =  $12 \times 1 + 1 \times 1 + 35.5 \times 3 = 119.5 \text{ g mol}^{-1}$

$$\text{CH}_2\text{Cl}_2 \text{ ના મોલ} = \frac{40 \text{ g}}{85 \text{ g mol}^{-1}} = 0.47 \text{ mol}$$

$$\text{CHCl}_3 \text{ ના મોલ} = \frac{25.5 \text{ g}}{119.5 \text{ g mol}^{-1}} = 0.213 \text{ મોલ}$$

$$\text{કુલ મોલની સંખ્યા} = 0.47 + 0.213 = 0.683 \text{ મોલ}$$

$$x_{\text{CH}_2\text{Cl}_2} = \frac{0.47 \text{ mol}}{0.683 \text{ mol}} = 0.688$$

$$x_{\text{CHCl}_3} = 1.00 - 0.688 = 0.312$$

સમીકરણ (2.16)નો ઉપયોગ કરીને

$$P_{\text{total}} = p_1^0 + (p_2^0 - p_1^0) x_2 = 200 + (415 - 200) \times 0.688 \\ = 200 + 147.9 = 347.9 \text{ mm Hg}$$

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

$$P_{\text{CH}_2\text{Cl}_2} = 0.688 \times 415 \text{ mm Hg} = 285.5 \text{ mm Hg}$$

$$P_{\text{CHCl}_3} = 0.312 \times 200 \text{ mm Hg} = 62.4 \text{ mm Hg}$$

$$y_{\text{CH}_2\text{Cl}_2} = 285.5 \text{ mmHg} / 347.9 \text{ mmHg} = 0.82$$

$$y_{\text{CHCl}_3} = 62.4 \text{ mm Hg} / 347.9 \text{ mm Hg} = 0.18$$

નોંધ :  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  ઘટક  $\text{CHCl}_3$  કરતાં વધુ બાષ્પશીલ છે [ $P_{\text{CH}_2\text{Cl}_2}^0 = 415 \text{ mm Hg}$  અને

$P_{\text{CHCl}_3}^0 = 200 \text{ mm Hg}$ ] અને બાષ્પકલા પણ  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  થી વધુ સમૃદ્ધ હશે [ $y_{\text{CH}_2\text{Cl}_2} = 0.82$  અને

$y_{\text{CHCl}_3} = 0.18$ ]. 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)

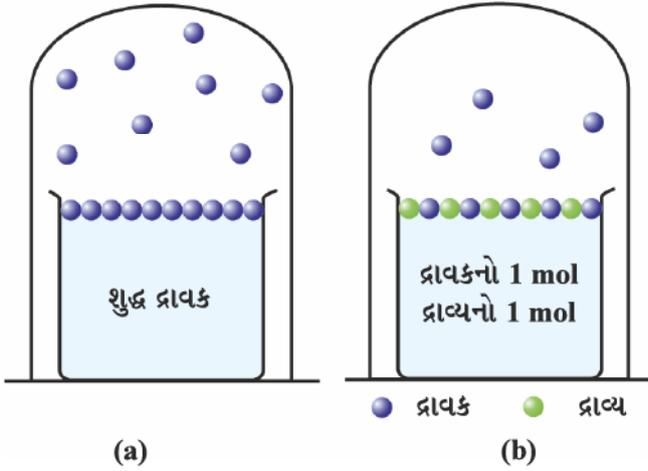
રાઉલ્ટના નિયમ પ્રમાણે, આપેલ દ્રાવણમાં બાષ્પશીલ ઘટકનું બાષ્પદબાણ  $p_1 = x_1 p_1^0$  તરીકે દર્શાવી શકાય. પ્રવાહીમાં વાયુના દ્રાવણમાં એક ઘટક બાષ્પશીલ છે એટલે કે જે વાયુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે અને આપણે જોઈ ગયા છીએ કે દ્રાવ્યતા હેન્રીના નિયમ જે નીચે પ્રમાણે નિવેદિત કરેલ છે તે મુજબ આપી શકાય.

$$p = K_H x.$$

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  $K_H$  માં 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.

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.

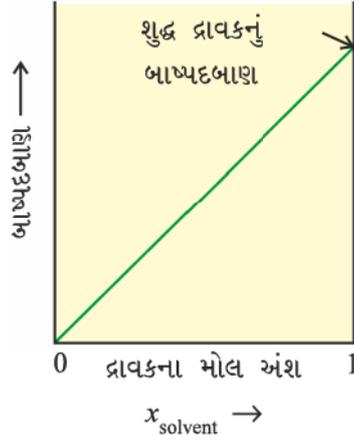
સામાન્ય રૂપમાં રાઉલ્ટનો નિયમ નિવેદિત કરી શકાય કે કોઈ પણ દ્રાવણ માટે, દ્રાવણમાંના દરેક બાષ્પશીલ ઘટકનું આંશિક બાષ્પદબાણ તેના મોલ અંશને સમપ્રમાણ હોય છે.

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

### 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

$$p_1 \propto x_1$$

$$\text{અને } p_1 = x_1 p_1^0 \quad (2.20)$$

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)

### 2.5.1 આદર્શ દ્રાવણો (Ideal Solutions)

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

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,

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

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.

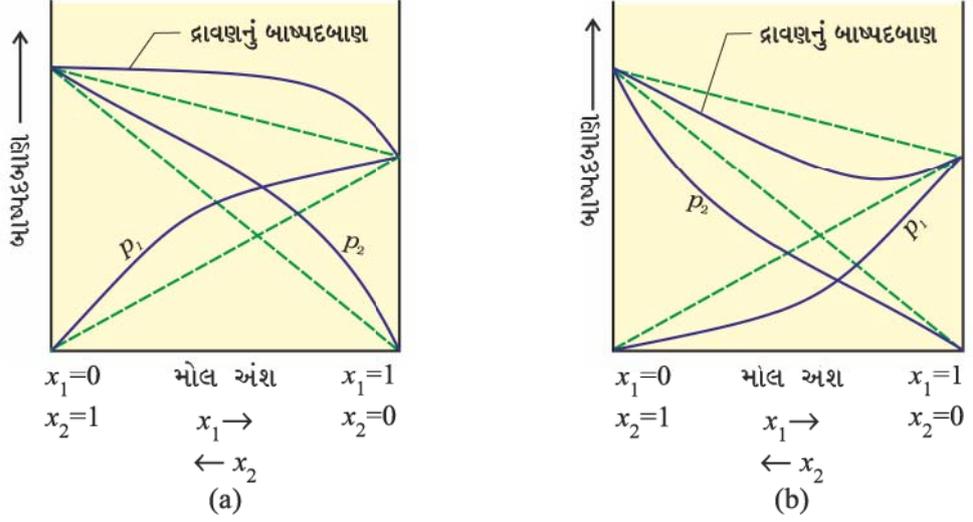
### 2.5.2 બિનઆદર્શ દ્રાવણો (Non-ideal Solutions)

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.

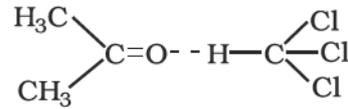
આકૃતિ 2.6 :

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 નાઈટ્રોજનના અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ, એક જ પ્રકારના અણુઓ વચ્ચેના આંતરઆણ્વીય હાઈડ્રોજન બંધ કરતાં વધુ પ્રબળ હોય છે. આ જ પ્રમાણે ક્લોરોફોર્મ અને એસિટોનનું મિશ્રણ એવું દ્રાવણ બનાવે છે જે રાઉલ્ટના નિયમથી ઋણ વિચલન દર્શાવે છે. આનું કારણ એ છે કે ક્લોરોફોર્મ એસિટોન અણુ સાથે હાઈડ્રોજન 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 નિસ્ચંદનથી 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, ઈથેનોલ-પાણી(ખાંડના આથવણથી મળતા)નું વિભાગીય નિસ્કંદન કદથી 95 % ઈથેનોલ 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. નાઈટ્રિક એસિડ અને પાણી આ વર્ગના એઝિયોટ્રોપનું ઉદાહરણ છે. આ એઝિયોટ્રોપને આશરે સંઘટન દળથી 68 % નાઈટ્રિક એસિડ 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 સ્વભાવ પર. આવા ગુણધર્મોને સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો કહે છે. (Colligative: લેટિનમાંથી conનો 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,

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

દ્રાવકના બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો ( $\Delta p_1$ ) આ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$\begin{aligned} \Delta p_1 &= p_1^0 - p_1 = p_1^0 - p_1^0 x_1 \\ &= p_1^0 (1 - x_1) \end{aligned} \quad (2.23)$$

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

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

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

સમીકરણ (2.24) આ પ્રમાણે લખી શકાય.

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

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  $n_2 \ll n_1$ , આથી છેદમાં  $n_2$ ને અવગણતા આપણને મળશે.

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

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

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<sup>-1</sup>) ઉમેરવામાં આવ્યો. દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ 0.845 bar જણાયું. ઘન પદાર્થનું મોલર દળ કેટલું હશે ?

**ઉકેલ :** આપણને જાણીતા જુદા જુદા જથ્થા નીચે પ્રમાણે છે.

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

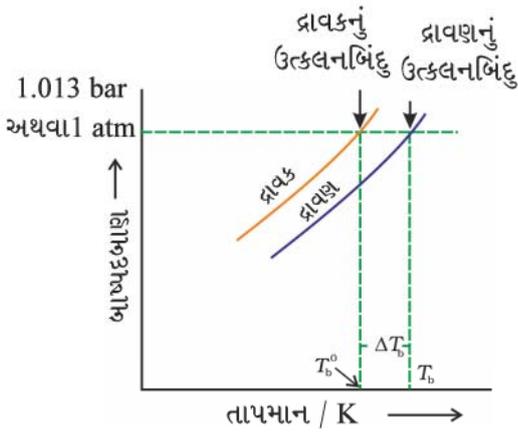
સમીકરણ (2.28)માં આ મૂલ્યો મૂકતાં આપણને મળશે.

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

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

### 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°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 સુકોજનું 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  $\Delta T_b$  દ્રાવણમાં દ્રાવકના ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન દર્શાવે છે.

આમ આકૃતિ 2.7માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે શુદ્ધ દ્રાવકના ઉત્કલનબિંદુ કરતા તેમાંથી બનાવેલા દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ ઊંચું 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 ( $\Delta T_b$ ) દ્રાવણમાંના દ્રાવ્યની મોલલ સાંદ્રતાના સમપ્રમાણમાં છે. આથી

$$\Delta T_b \propto m \quad (2.29)$$

$$\text{અથવા } \Delta T_b = K_b m \quad (2.30)$$

અહીંયા  $m$  (મોલાલિટી) 1 kg દ્રાવકમાં ઓગાળેલા દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા છે અને સમપ્રમાણતા અચળાંકને ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન અચળાંક અથવા મોલલ ઉન્નયન અચળાંક (કવથનાંક અચળાંક) કહે છે.  $K_b$  નો એકમ  $K \text{ kg mol}^{-1}$  છે. કેટલાક સામાન્ય દ્રાવકો માટેના  $K_b$  ના 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.

$$m = \frac{w_2 / M_2}{w_1 / 1000} = \frac{1000 \times w_2}{M_2 \times w_1} \quad (2.31)$$

મોલાલિટીનું મૂલ્ય સમીકરણ (2.30)માં મૂકતાં

$$\Delta T_b = \frac{K_b \times 1000 \times w_2}{M_2 \times w_1} \quad (2.32)$$

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

આથી દ્રાવ્યનું મોલર દળ  $M_2$  નક્કી કરવા માટે દ્રાવ્યના જ્ઞાત દળને દ્રાવકના જ્ઞાત દળમાં ઓગાળવામાં આવે અને  $\Delta T_b$  નું નિર્ધારણ કરી શકાય કે જેના દ્રાવક માટેના  $K_b$  નું 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<sup>-1</sup> છે.

### ઉકેલ

ગ્લુકોઝના મોલ = 18 g / 180 g mol<sup>-1</sup> = 0.1 mol

દ્રાવકના કિલોગ્રામની સંખ્યા = 1 kg

આથી ગ્લુકોઝ દ્રાવણની મોલાલિટી = 0.1 mol kg<sup>-1</sup>

પાણી માટે ઉત્કલનબિંદુમાં ફેરફાર

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

પાણી 1.013 bar દબાણે 373.15 K તાપમાને ઉકળે છે માટે દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ  $373.15 + 0.052 = 373.202 \text{ K}$  થશે.

**કોષ્ટક 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<sup>-1</sup> છે.

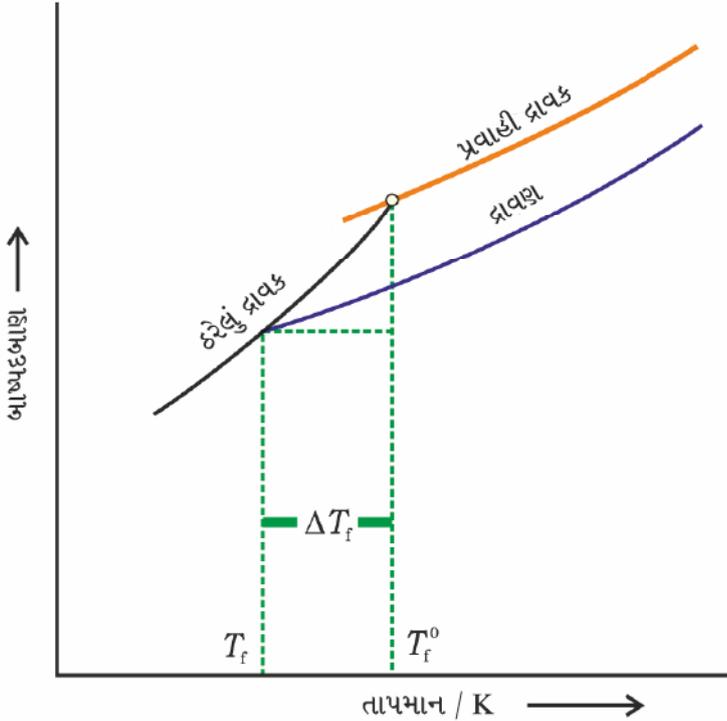
**ઉકેલ :** ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન ( $\Delta T_b$ ) = 354.11 - 353.23 = 0.88 K

આ મૂલ્યને સમીકરણ (2.33)માં મૂકતાં આપણને મળશે.

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

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

**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



આકૃતિ 2.8 : દ્રાવણમાં દ્રાવકના ઠારબિંદુનું અવનયન  $\Delta T_f$  દર્શાવતી આકૃતિ

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.

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 ( $\Delta T_f$ ) દ્રાવણની મોલાલિટીના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આમ,

$$\Delta T_f \propto m$$

$$\text{અથવા } \Delta T_f = K_f m \quad (2.34)$$

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

એકમ  $K \text{ kg mol}^{-1}$  છે. કેટલાંક જ્ઞાત દ્રાવકોના  $K_f$  ના મૂલ્યોની યાદી કોષ્ટક 2.3માં બનાવી છે.

જો  $w_1$  ગ્રામ દ્રાવકમાં  $M_2$  મોલર દળ ધરાવતા દ્રાવ્યના  $w_2$  ગ્રામ ઓગાળતા દ્રાવકના ઠારબિંદુ અવનયન  $\Delta T_f$  છે, તો દ્રાવ્યની મોલાલિટી સમીકરણ (2.31) પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$m = \frac{w_2 / M_2}{w_1 / 1000} \quad (2.31)$$

મોલાલિટીનું આ મૂલ્ય સમીકરણ (2.34)માં મૂકતાં આપણને મળશે.

$$\Delta T_f = \frac{K_f \times w_2 / M_2}{w_1 / 1000}$$

$$\Delta T_f = \frac{K_f \times w_2 \times 1000}{M_2 \times w_1} \quad (2.35)$$

$$M_2 = \frac{K_f \times w_2 \times 1000}{\Delta T_f \times w_1} \quad (2.36)$$

આમ દ્રાવ્યનું મોલર દળ નક્કી કરવા માટે આપણે  $w_1$ ,  $w_2$  અને  $\Delta T_f$  રાશિઓ અને મોલલ ઠારબિંદુ અવનયન અચળાંક જાણવા જોઈએ.

$K_f$  અને  $K_b$ ના મૂલ્યો જે દ્રાવકના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે તેને નીચેના સંબંધોથી મેળવી શકાય (ખાત્રી કરી શકાય).

$$K_f = \frac{R \times M_1 \times T_f^2}{1000 \times \Delta_{\text{fus}} H} \quad (2.37)$$

$$K_b = \frac{R \times M_1 \times T_b^2}{1000 \times \Delta_{\text{vap}} H} \quad (2.38)$$

અહીંયા સંજ્ઞાઓ  $R$  અને  $M_1$  અનુક્રમે વાયુ અચળાંક અને દ્રાવકનું આણ્વીય દળ દર્શાવે છે.  $T_f$  અને  $T_b$  અનુક્રમે દ્રાવકના ઠારબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ કેલ્વિનમાં દર્શાવે છે.  $\Delta_{\text{fus}} H$  અને  $\Delta_{\text{vap}} H$  અનુક્રમે દ્રાવકની ગલન એન્થાલ્પી અને બાષ્પન એન્થાલ્પી દર્શાવે છે.

કોષ્ટક 2.3 : કેટલાક દ્રાવકો માટે મોલલ ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન અચળાંક અને મોલલ ઠારબિંદુ અવનયન અચળાંક

દ્રાવક	ઉત્કલનબિંદુ/K	$K_b$ /K kg mol <sup>-1</sup>	ઠારબિંદુ/K	$K_f$ /K kg mol <sup>-1</sup>
પાણી	373.15	0.52	273.0	1.86
ઇથેનોલ	351.5	1.20	155.7	1.99
સાયક્લોહેક્સેન	353.74	2.79	279.55	20.00
બેન્ઝિન	353.3	2.53	278.6	5.12
ક્લોરોફોર્મ	334.4	3.63	209.6	4.79
કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ	350.0	5.03	250.5	31.8
કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડ	319.4	2.34	164.2	3.83
ડાયઇથાઇલ ઈથર	307.8	2.02	156.9	1.79
એસિટિક એસિડ	391.1	2.93	290.0	3.90

### કોયડો 2.9

45 ગ્રામ ઇથીલીન ગ્લાયકોલ ( $C_2H_6O_2$ ) 600 ગ્રામ પાણી સાથે મિશ્ર કરવામાં આવ્યું. (a) ઠારબિંદુ અવનયન અને (b) દ્રાવણનું ઠારબિંદુ ગણો.

**ઉકેલ :** ઠારબિંદુમાં અવનયન મોલાલિટી સાથે સંબંધિત છે માટે, ઇથીલીન ગ્લાયકોલના સંદર્ભમાં દ્રાવણની મોલાલિટી

$$= \frac{\text{ઇથીલીન ગ્લાયકોલના મોલ}}{\text{પાણીનું કિલોગ્રામમાં દળ}}$$

$$\text{ઇથીલીન ગ્લાયકોલના મોલ} = \frac{45 \text{ g}}{62 \text{ g mol}^{-1}} = 0.73 \text{ mol}$$

$$\text{પાણીનું દળ kgમાં} = \frac{600 \text{ g}}{1000 \text{ g kg}^{-1}} = 0.6 \text{ kg}$$

$$\text{તેથી ઇથીલીન ગ્લાયકોલની મોલાલિટી} = \frac{0.73 \text{ mol}}{0.60 \text{ kg}} = 1.2 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$\text{આથી, ઠારબિંદુ અવનયન } \Delta T_f = 1.86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 1.2 \text{ mol kg}^{-1} = 2.2 \text{ K}$$

$$\text{જલીય દ્રાવણનું ઠારબિંદુ} = 273.15 \text{ K} - 2.2 \text{ K} = 270.95 \text{ K}$$

### કોયડો 2.10

1.0 ગ્રામ અવિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવ્ય જે 50 ગ્રામ બેન્ઝિનમાં ઓગાળેલ છે તે બેન્ઝિનના ઠારબિંદુમાં 0.40 Kનો ઘટાડો દર્શાવે છે. બેન્ઝિનનો ઠારબિંદુ અવનયન અચળાંક  $5.12 \text{ K kg mol}^{-1}$  છે. દ્રાવ્યનું મોલર દળ ગણો.

**ઉકેલ :** સમીકરણ (2.36)માં સમાવિષ્ટ જુદા જુદા પર્યાયોના મૂલ્યો મૂકતાં.

$$M_2 = \frac{5.12 \text{ K kg mol}^{-1} \times 1.00 \text{ g} \times 1000 \text{ g kg}^{-1}}{0.40 \times 50 \text{ g}} = 256 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{આમ, દ્રાવ્યનું મોલર દળ} = 256 \text{ g mol}^{-1}$$

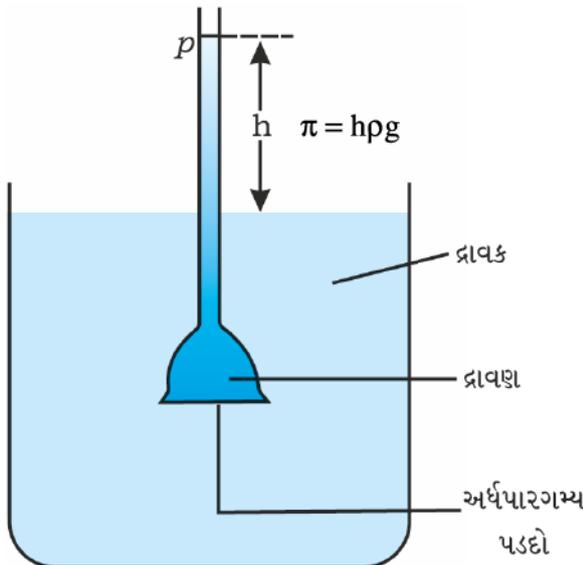
### 2.6.4 અભિસરણ (પરાસરણ) અને અભિસરણ દબાણ (Osmosis and Osmotic Pressure)

આપણે ઘણી પરિઘટનાઓ કુદરતમાં અને ઘરમાં જોઈએ છીએ. ઉદાહરણ તરીકે, કાચી કેરી જ્યારે બ્રાઈન(ક્ષારનું પાણી)માં આથીએ (pickling) છીએ ત્યારે, તે સંકોચાઈ (shrived) જાય છે; કરમાયેલા (wilted) ફૂલો તાજા પાણીમાં મૂકવામાં આવે, તો નવજીવન પ્રાપ્ત (revived) થાય છે, લોહીના કોષને ક્ષારીય પાણીમાં મૂકવામાં આવે

ત્યારે ક્ષીણ થઈ જાય છે (collapsed) વગેરે. આ આપણે આ બધી પ્રક્રિયાઓમાં જોઈએ તો તે બધામાં એક સામાન્ય વસ્તુ મળે છે અને તે છે કે આ બધા જ પદાર્થો પડદાથી (membrane) બંધિત હોય છે. આ પડદા પ્રાણીજ અથવા વનસ્પતિજ ઉદ્ગમમાંથી હોઈ શકે છે અને આવા જ કુદરતી પડદા જેવા કે ભૂંડનું મૂત્રાશય (bladder) અથવા પાર્કમેન્ટ અથવા સાંશ્લેષિક જેવા કે સેલોફેન પણ હોય છે. આ પડદા સતત (સળંગ) શીટ (sheet) અથવા ફિલ્મ (film) જેવા દેખાય છે. આમ છતાં પણ તે એવી જાળીદાર રચના ધરાવે છે જે ઉપસૂક્ષ્મીય (submicroscopic) કાણાં

### આકૃતિ 2.9 :

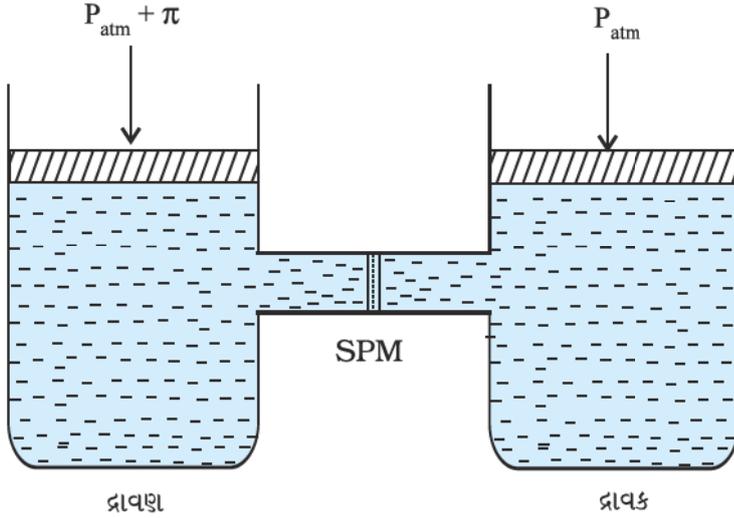
દ્રાવકના અભિસરણને કારણે દ્રાવણનું સ્તર થીસલ ગળણીમાં ઊંચે ચઢે છે.



અથવા દિદ્રો ધરાવે છે. પાણી જેવા દ્રાવકના નાના અણુ એમની આરપાર પસાર થાય છે પણ દ્રાવ્ય જેવા પદાર્થના અણુઓ અટકી જાય છે. આ પ્રકારના ગુણધર્મો ધરાવતા પડદા અર્ધપારગમ્ય પડદા (Semipermeable membrane - SPM) તરીકે ઓળખાય છે.

એમ ધારો કે માત્ર દ્રાવકમાંના અણુઓ આવા અર્ધપારગમ્ય પડદામાંથી પસાર થઈ શકે છે. જો આવા પડદાને દ્રાવક અને દ્રાવણની વચ્ચે આકૃતિ 2.9માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે મૂકવામાં આવે તો દ્રાવકના અણુ પડદામાંથી શુદ્ધ દ્રાવકથી દ્રાવણ તરફ વહે છે દ્રાવકના પ્રવાહની આ પ્રક્રિયા(પ્રક્રમ)ને અભિસરણ કહે છે.

આ પ્રવાહ સંતુલન પ્રાપ્ત થશે ત્યાં સુધી ચાલુ રહેશે. જો દ્રાવણ પર કેટલુક વધારાનું દબાણ લાગુ પાડવામાં આવે તો દ્રાવકના પ્રવાહને અર્ધપારગમ્ય પડદામાંથી પોતાની તરફથી દ્રાવણ તરફ પસાર થતો રોકી શકાય છે. આ દબાણ જે દ્રાવકના પ્રવાહને રોકે છે. તેને દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ કહે છે. મંદ દ્રાવણમાંથી સાંદ્ર દ્રાવણ તરફ દ્રાવકનો પ્રવાહ અભિસરણને કારણે હોય છે. અગત્યનો મુદ્દો જે ધ્યાનમાં રાખવા જેવો છે તે એ છે કે દ્રાવક કણો હંમેશાં દ્રાવણની ઓછી સાંદ્રતાથી વધારે સાંદ્રતા તરફ વહે છે. અભિસરણ દબાણ દ્રાવણની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે તેમ જણાયું છે.



આકૃતિ 2.10 : અભિસરણ દબાણ એટલે કે દ્રાવકની બાજુ પરથી દ્રાવણની બાજુ તરફ દ્રાવકના કણોને જતાં રોકવા માટે લાગુ પાડવું પડતું દબાણ

દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ એ વધારાનું દબાણ છે જે અભિસરણ અટકાવવા દ્રાવણ પર લગાડાય છે, એટલે કે દ્રાવકના અણુને દ્રાવણના અણુ તરફ જતા રોકવા માટે લાગુ પાડવું પડે છે. આ આકૃતિ 2.10માં નિર્દેશિત કરેલ છે. અભિસરણ દબાણ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મ છે કારણ કે તે દ્રાવ્ય કણોની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે નહીં કે તે કણોની ઓળખ (identity). મંદ દ્રાવણો માટે પ્રાયોગિક રીતે એમ જણાયું છે કે અભિસરણ દબાણ આપેલ તાપમાને દ્રાવણની મોલારિટી, C ને સમપ્રમાણ છે. આથી,

$$\pi = CRT \quad (2.39)$$

અહીંયા  $\pi$  અભિસરણ દબાણ છે અને R વાયુ અચળાંક છે.

$$\pi = (n_2/V) RT \quad (2.40)$$

અહીંયા, V દ્રાવ્યના  $n_2$  મોલ ઓગાળેલ દ્રાવણનું કદ છે. જો અણુભાર  $M_2$  ધરાવતા દ્રાવ્યના  $w_2$  ગ્રામ દ્રાવ્ય દ્રાવણમાં હાજર હોય, તો  $n_2 = w_2 / M_2$  અને આપણે લખી શકીએ.

$$\pi V = \frac{w_2 RT}{M_2} \quad (2.41)$$

$$\text{અથવા } M_2 = \frac{w_2 RT}{\pi V} \quad (2.42)$$

આમ, રાશિઓ  $w_2$ , T,  $\pi$  અને V જાણીએ તો દ્રાવ્યનું મોલર દળ ગણી શકીએ.

અભિસરણ દબાણનું માપન દ્રાવ્યનું મોલર દળ નક્કી કરવાની બીજી રીત પૂરી પાડે છે. આ પદ્ધતિ વિશાળરૂપે પ્રોટીન, પોલિમર અને બીજા બૃહદઅણુ

(macromolecules)ના મોલર દળ નક્કી કરવા ઉપયોગમાં લેવાય છે. અભિસરણ પદ્ધતિ બીજી પદ્ધતિઓ કરતાં લાભદાયી છે કારણ કે ઓરડાના તાપમાનની આસપાસ દબાણનું માપન અને મોલાલિટીને બદલે દ્રાવણની મોલાલિટીનો ઉપયોગ થાય છે. અન્ય સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોની સરખામણીમાં ઘણા મંદ દ્રાવણ માટે તેની માત્રા ઘણી મોટી છે. દ્રાવ્યના મોલર દળ નક્કી કરવામાં અભિસરણ દબાણ પદ્ધતિ ખાસ કરીને જૈવઅણુઓ જે ઊંચા તાપમાને સ્થાયી હોતા નથી અને પોલિમર જેમની દ્રાવ્યતા ઘણી ઓછી હોય છે તેમને માટે વધુ ઉપયોગી છે.

આપેલ તાપમાને સરખા અભિસરણ દબાણ ધરાવતા બે દ્રાવણોને સમઅભિસારી(isotonic) દ્રાવણો કહે છે. આવા દ્રાવણોને જ્યારે અર્ધપારગમ્ય પડદા વડે અલગ કરવામાં આવે છે ત્યારે તેમની વચ્ચે અભિસરણ થતું નથી. ઉદાહરણ તરીકે, લોહીના કોષમાં રહેલાં દ્રાવક સાથે સંકળાયેલ અભિસરણ દબાણ 0.9 % (દળ/કદ) સોડિયમ ક્લોરાઇડના દ્રાવણ જેને સામાન્ય (normal) ક્ષારીય (saline) દ્રાવણ કહે છે તેના જેટલું હોય છે. આથી તેને નસમાં સીધું જ દાખલ કરવામાં સલામત છે. બીજી બાજુ, જો આપણે લોહીના કોષને 0.9 % (દળ/કદ) કરતાં વધુ સોડિયમ ક્લોરાઇડ ધરાવતા દ્રાવણમાં મૂકીએ તો પાણી કોષની બહાર નીકળી જાય અને કોષ સંકોચાવા માંડે. આવા દ્રાવણને અતિઅભિસારી (hypertonic) કહે છે. જો ક્ષારની સાંદ્રતા 0.9 % (દળ/કદ)થી ઓછી હોય તો, દ્રાવણને અલ્પઅભિસારી (hypotonic) કહે છે. આ કિસ્સામાં જો કોષ આ દ્રાવણમાં મૂકવામાં આવે તો પાણી કોષની અંદર વહે છે અને કોષ ફૂલે છે (swells).

### કોયડો 2.11

પ્રોટીનનું  $200 \text{ cm}^3$  જલીય દ્રાવણ  $1.26 \text{ g}$  પ્રોટીન ધરાવે છે  $300 \text{ K}$  તાપમાને આવા દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ  $2.57 \times 10^{-3} \text{ bar}$  જણાયું છે. પ્રોટીનનું મોલર દળ ગણો.

**ઉકેલ :** આપણને જાણીતી રાશિઓ નીચે પ્રમાણે છે.

$$\pi = 2.57 \times 10^{-3} \text{ bar}, \quad V = 200 \text{ cm}^3 = 0.200 \text{ લિટર}$$

$$T = 300 \text{ K}, \quad R = 0.083 \text{ L bar mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

સમીકરણ 2.42માં આ મૂલ્યો મૂકતાં.

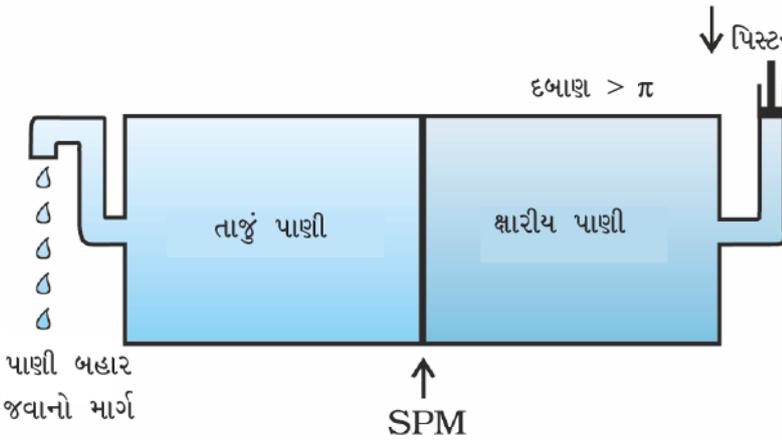
$$M_2 = \frac{1.26 \text{ g} \times 0.083 \text{ L bar K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300 \text{ K}}{2.57 \times 10^{-3} \text{ bar} \times 0.200 \text{ L}} = 61,022 \text{ g mol}^{-1}$$

આ વિભાગની શરૂઆતમાં નિર્દેશ કરેલી પરિઘટના અભિસરણના આધારે સમજાવી શકાય. ક્ષારના દ્રાવણમાં આથેલી કાચી કેરી અભિસરણને કારણે પાણી ગુમાવે છે અને પાણીમાં સંકોચાઈ જાય છે. કરમાયેલા ફૂલ જ્યારે તાજા પાણીમાં મૂકવામાં આવે છે ત્યારે નવપલ્લિત થાય છે. ગાજર કે જે પાણી ગુમાવવાને કારણે નરમ પડી ગયું હોય છે તેને પાણીમાં રાખતાં ફરી પાછું કડક થઈ જાય છે. તેના કોષમાં અભિસરણ દ્વારા પાણી દાખલ થશે. 0.9 % (દળ/કદ)થી ઓછો ક્ષાર ધરાવતા દ્રાવણમાં મૂકવામાં આવે તો લોહીના કોષ તેમનામાં અભિસરણથી પાણી દાખલ થવાને કારણે ફૂલે છે. જે લોકો વધુ પડતું મીઠું અથવા ખારા પદાર્થો ખાય છે તેઓ તેમની માંસપેશીઓમાં અને આંતરકોષીય જગ્યાઓમાં અભિસરણને કારણે પાણી જળવાઈ રહેવાનો અનુભવ કરે છે. પરિણમતી જાડાઈ અથવા ફુલાવાને શોથ (edema) કહે

છે. જમીનમાંથી પાણીનું વૃક્ષના મૂળમાં જવું અને ત્યારબાદ વૃક્ષના ઉપરના ભાગમાં જવું તે અંશતઃ રીતે અભિસરણને કારણે હોય છે. ક્ષારથી માંસનું પરિરક્ષણ અને ફળોમાં ખાંડ ઉમેરવાથી તે બેક્ટેરિયાની અસર સામે રક્ષણ આપે છે. અભિસરણ પ્રક્રિયાની મારફતે ક્ષાર લગાડેલ માંસ અથવા શર્કરાસિત ફળો (candid fruits) પાણી ગુમાવે છે, અને સંકોચાઈ જાય છે અને મરી જાય છે.

### 2.6.5 પ્રતિ અભિસરણ (Reverse Osmosis) અને પાણીનું શુદ્ધીકરણ

જો દ્રાવણની બાજુ પર અભિસરણ દબાણ કરતાં વધારે દબાણ લાગુ પાડવામાં આવે તો અભિસરણની દિશા ઊલટાવી (Reverse) શકાય છે એટલે કે, હવે શુદ્ધ દ્રાવણ દ્રાવણમાંથી અર્ધપારગમ્ય પડદા મારફત બહાર વહે છે. આ પરિઘટનાને પ્રતિ (પ્રતીપ) અભિસરણ કહે છે અને તેની ઘણી જ વ્યવહારિક ઉપયોગિતા છે પ્રતિ અભિસરણ દરિયાઈ પાણીમાંથી ક્ષાર દૂર કરવા માટે વપરાય છે. આ પ્રક્રમ માટે આકૃતિ 2.11માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે આયોજન ગોઠવી શકાય છે. જ્યારે અભિસરણ દબાણ કરતાં વધારે



આકૃતિ 2.11 : દ્રાવણને અભિસરણ દબાણ કરતાં વધારે દબાણ લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે પ્રતિ અભિસરણ થાય છે.

દબાણ લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે દરિયાના પાણીમાંથી શુદ્ધ પાણી અર્ધપારગમ્ય પડદા દ્વારા નીચોવાઈ (squeeze) જાય છે. આ હેતુ માટે પોલિમર પડદાની અનેક જાતો પ્રાપ્ય છે.

પ્રતિ અભિસરણ માટે ઘણું ઊંચું દબાણ જરૂરી હોય છે. સામાન્ય રીતે વપરાતો છિદ્રાળુ પડદો યોગ્ય આધાર પર ગોઠવેલ સેલ્યુલોઝ એસિટેટની ફિલ્મ હોય છે. સેલ્યુલોઝ પાણી માટે પારગમ્ય છે પણ અશુદ્ધિઓ અને દરિયાના પાણીમાં રહેલા ક્ષાર માટે બિનપારગમ્ય (અપારગમ્ય) હોય છે. હાલના સમયમાં ઘણા દેશો તેમના પીવાના પાણીની જરૂરિયાતને પહોંચી વળવા બિનક્ષારીયકરણ પ્લાન્ટનો ઉપયોગ કરે છે.

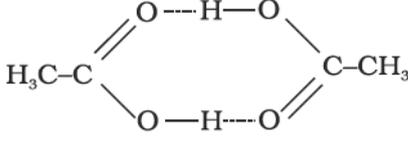
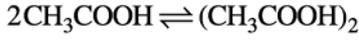
### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 2.9 298 K તાપમાને શુદ્ધ પાણીનું બાષ્પદબાણ 23.8 mm Hg છે. 50 g યૂરિયા ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) 850 g પાણીમાં ઓગાળેલ છે. આ દ્રાવણ માટે પાણીનું બાષ્પદબાણ અને તેનો સાપેક્ષ ઘટાડો ગણો.
- 2.10 750 mm Hg દબાણે પાણીનું ઉત્કલનબિંદુ 99.63 °C છે. 500 g પાણીમાં કેટલો સુકોઝ ઉમેરવો જોઈએ કે જેથી તે 100 °C તાપમાને ઉકળે ?
- 2.11 75 g એસિટિક એસિડમાં ઉમેરવા પડતા એસ્કોર્બિક એસિડ(વિટામિન C,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ )નું દળ ગણો જેથી તેનું ગલનબિંદુ 1.5 °C જેટલું ઘટાડી શકાય ?  $K_f = 3.9 \text{ K kg mol}^{-1}$
- 2.12 37 °C તાપમાને 450 mL પાણીમાં 185,000 મોલર દળ ધરાવતા એક પોલિમરના 1.0 gને ઉમેરીને બનાવેલા દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ ગણો.

### 2.7 અસામાન્ય મોલર દળ (Abnormal Molar Masses)

આપણે જાણીએ છીએ કે આયનીય સંયોજનોને પાણીમાં ઓગાળીએ ત્યારે ધનાયન અને ઋણાયનમાં વિયોજીત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, જો આપણે KClનો એક મોલ (74.5 g) પાણીમાં ઓગાળીએ તો આપણે  $\text{K}^+$  અને  $\text{Cl}^-$  દરેક આયનના એક મોલ મુક્ત થયાની આશા રાખી શકીએ. જો આ પ્રમાણે બને તો દ્રાવણમાં બે મોલ કણો થશે. જો આપણે આંતરઆયનીય આકર્ષણને ધ્યાનમાં ન લઈએ, તો એક મોલ KCl એક kg પાણીના ઉત્કલનબિંદુનો વધારો  $2 \times 0.52 \text{ K} = 1.04 \text{ K}$  કરશે. જો આપણે

વિયોજન અંશ વિશે જાણતા હોઈએ નહિ તો આપણે એવા તારણ તરફ દોરાઈશું કે 2 મોલ કણનું વજન 74.5 g છે અને એક મોલ KClનું દળ 37.25 g થશે. આ એ નિયમને પ્રકાશમાં લાવે છે કે જ્યારે દ્રાવ્યનું આયનમાં વિયોજન થતું હોય ત્યારે પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરેલ મોલર દળ હંમેશાં તેના સાચા મૂલ્ય કરતાં ઓછું હોય છે.



ઇથેનોઇક એસિડ(એસિટિક એસિડ)ના અણુઓ બેન્જિનમાં હાઇડ્રોજન બંધને કારણે દ્વિઅણુ તરીકે હોય છે. આવું સામાન્ય રીતે નીચા પરાવૈદ્યુત અચળાંક (dielectric constant) ધરાવતા દ્રાવકમાં બને છે. આ કિસ્સામાં દ્વિતીયકરણ(dimerisation)ને કારણે કણોની સંખ્યા ઘટે છે. અણુઓનું સુયોજન (association) નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

નિર્વિવાદ રીતે એમ કહી શકાય કે, જો ઇથેનોઇક એસિડના બધા જ અણુઓ બેન્જિનમાં સુયોજીત થાય તો, ઇથેનોઇક એસિડ માટે  $\Delta T_b$  અથવા  $\Delta T_f$  સામાન્ય મૂલ્યથી અડધું થશે. આ  $\Delta T_b$  અથવા  $\Delta T_f$ ના આધારે ગણેલા મોલર દળ અપેક્ષિત મૂલ્ય કરતાં બમણા મળશે. આવું મોલર દળ એટલે કે અપેક્ષિત અથવા સામાન્ય મૂલ્ય કરતાં ઓછું અથવા વધારે મૂલ્યને અસામાન્ય મોલર દળ કહે છે.

1880માં વોન્ટ હોફે (van't Hoff) એક અવયવ દાખલ કર્યો જે વોન્ટ હોફ અવયવ (i) તરીકે ઓળખાય છે અને તે સુયોજન કે વિયોજનની માત્રા વિશે ખુલાસો આપે છે. આથી તે અવયવને આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

$$i = \frac{\text{સામાન્ય મોલર દળ}}{\text{અસામાન્ય મોલર દળ}}$$

$$= \frac{\text{અવલોકિત સંખ્યાત્મક ગુણધર્મ}}{\text{ગણતરી કરેલ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મ}}$$

$$= \frac{\text{સુયોજન / વિયોજન પછીના કણોના મોલની કુલ સંખ્યા}}{\text{સુયોજન / વિયોજન અગાઉના કણોના મોલની કુલ સંખ્યા}}$$

અહીંયા અસામાન્ય મોલર દળ પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરેલું મોલર દળ હોય છે અને ગણતરી કરેલ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મ અબાધ્પશીલ દ્રાવ્ય સુયોજન અથવા વિયોજન પામ્યો નથી એમ ધારીને ગણવામાં આવે છે. સુયોજનના કિસ્સામાં  $i$ નું મૂલ્ય એક કરતાં ઓછું હોય છે અને વિયોજન માટે એક કરતાં વધારે હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, જલીય KCl દ્રાવણ માટે  $i$ નું મૂલ્ય 2ની નજીક હોય છે જ્યારે બેન્જિનમાં ઇથેનોઇક એસિડ માટે લગભગ 0.5 હોય છે.

વોન્ટ હોફ અવયવનો સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો માટેના સમીકરણમાં સમાવેશ કરીએ, તો નીચે પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\frac{p_i^0 - p_1}{p_1^0} = i \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{ઉત્કલનબિંદુનું ઉન્નયન, } \Delta T_b = i K_b m$$

$$\text{ઠારબિંદુનું અવનયન, } \Delta T_f = i K_f m$$

$$\text{દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ, } \pi = i n_2 RT / V$$

કોષ્ટક 2.4માં કેટલાક પ્રબળ વિદ્યુત વિભાજ્યોના વોન્ટ હોફ અવયન  $i$  દર્શાવ્યા છે. KCl, NaCl, MgSO<sub>4</sub> માટે જેમ દ્રાવણ વધુ મંદ બને ત્યારે  $i$  લગભગ 2ની નજીક પહોંચે છે. અપેક્ષા પ્રમાણે K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> માટે  $i$ નું મૂલ્ય 3ની નજીક મળે છે.

કોષ્ટક 2.4 : NaCl, KCl, MgSO<sub>4</sub> અને K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> માટે જુદી જુદી સાંદ્રતાએ વોન્ટ હોફ અવયવ  $i$ ના મૂલ્યો

ક્ષાર	*ના મૂલ્યો			દ્રાવ્યના સંપૂર્ણ વિયોજન માટે વોન્ટ હોફ અવયવ $i$
	0.1 m	0.01m	0.001 m	
NaCl	1.87	1.94	1.97	2.00
KCl	1.85	1.94	1.98	2.00
MgSO <sub>4</sub>	1.21	1.53	1.82	2.00
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.32	2.70	2.84	3.00

\* અપૂર્ણ વિયોજન માટે  $i$  મૂલ્યો રજૂ કરે છે.

### કોયડો 2.12

25 ગ્રામ બેન્ઝિનમાં ઓગાળેલ 2 ગ્રામ બેન્ઝોઈક એસિડ (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH), ઠારબિંદુમાં અવનયન બરાબર 1.62 K દર્શાવે છે. બેન્ઝિન માટે મોલલ અવનયન અચળાંક 4.9 K kg mol<sup>-1</sup> છે. જો એસિડ દ્રાવણમાં દ્વિઅણુ બનાવતો હોય તો એસિડનું કેટલા ટકા સુયોજન થયેલું હશે ?

### ઉકેલ

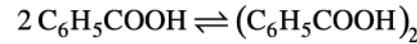
આપેલ રાશિઓ છે  $w_2 = 2$  ગ્રામ,  $K_f = 4.9$  K kg mol<sup>-1</sup>,  $w_1 = 25$  ગ્રામ,  $\Delta T_f = 1.62$  K

સમીકરણ (2.36)માં આ મૂલ્યો મૂકતાં આપણને મળશે.

$$M_2 = \frac{4.9 \text{ K kg mol}^{-1} \times 2 \text{ g} \times 1000 \text{ g kg}^{-1}}{25 \text{ g} \times 1.62 \text{ K}} = 241.98 \text{ g mol}^{-1}$$

આમ બેન્ઝિનમાં બેન્ઝોઈક એસિડનું પ્રાયોગિક મોલર દળ = 241.98 g mol<sup>-1</sup>

હવે એસિડ માટે નીચેનું સંતુલન ધ્યાનમાં લો.



જો  $x$  દ્રાવ્યનો વિયોજન અંશ દર્શાવેલ છે તો આપણી પાસે  $(1 - x)$  મોલ બેન્ઝોઈક એસિડ અવિયોજિત એસિડ હશે અને સંતુલને બેન્ઝોઈક એસિડના સુયોજિત મોલ  $\frac{x}{2}$  થશે.

આથી સંતુલને કણોના મોલની કુલ સંખ્યા છે.

$$(1 - x) + \frac{x}{2} = 1 - \frac{x}{2}$$

આમ, સંતુલને કણોના મોલની કુલ સંખ્યા વોન્ટ હોફ અવયવ  $i$  બરાબર થશે.

$$\text{પરંતુ } i = \frac{\text{સામાન્ય મોલર દળ}}{\text{અસામાન્ય મોલર દળ}}$$

$$= \frac{122 \text{ g mol}^{-1}}{241.98 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$\text{અથવા } \frac{x}{2} = 1 - \frac{122}{241.98} = 1 - 0.504 = 0.496$$

$$\text{અથવા } x = 2 \times 0.496 = 0.992$$

આથી, બેન્ઝિનમાં બેન્ઝોઈક એસિડનું સુયોજન 99.2 %

### કોયડો 2.13

1.06 g mL<sup>-1</sup> ઘનતા ધરાવતા 0.6 mL એસિટિક એસિડ (CH<sub>3</sub>COOH)ને 1 લિટર પાણીમાં ઓગાળવામાં આવ્યો. ઠારબિંદુમાં અવનયન 0.0205° C અવલોકિત કરવામાં આવ્યું. વોન્ટ હોફ અવયવ અને એસિડનો વિયોજન અચળાંક ગણો.

ઉકેલ : એસિટિક એસિડના મોલની સંખ્યા =  $\frac{0.6 \text{ mL} \times 1.06 \text{ g mL}^{-1}}{60 \text{ g mol}^{-1}}$

$$= 0.0106 \text{ mol} = n.$$

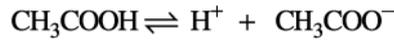
$$\text{મોલાલિટી} = \frac{0.0106 \text{ mol}}{1000 \text{ mL} \times 1 \text{ g mL}^{-1}} = 0.0106 \text{ mol kg}^{-1}$$

સમીકરણ (2.35)નો ઉપયોગ કરીને

$$\Delta T_f = 1.86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0.0106 \text{ mol kg}^{-1} = 0.0197 \text{ K}$$

$$\text{વોન્ટ હોફ અવયવ (i)} = \frac{\text{અવલોકિત ઠારબિંદુ}}{\text{ગણતરી કરેલ ઠારબિંદુ}} = \frac{0.0205 \text{ K}}{0.0197 \text{ K}} = 1.041$$

એસિટિક એસિડ નિર્બળ વિદ્યુત વિભાજ્ય છે અને તે એસિટિક એસિડના દરેક અણુદીઠ એસિટેટ અને હાઈડ્રોજન આયન એમ બે આયનોમાં વિયોજિત થશે. ધારો કે એસિટિક એસિડનો વિયોજન અંશ  $x$  છે, તો આપણી પાસે  $n(1-x)$  અવિયોજિત એસિટિક એસિડના મોલ અને  $nx \text{ mol CH}_3\text{COO}^-$  અને  $nx \text{ mol H}^+$  આયન મળશે.



$$n \text{ mol} \quad 0 \quad 0$$

$$n(1-x) \text{ mol} \quad nx \text{ mol} \quad nx \text{ mol}$$

આથી કણોના કુલ મોલ બરાબર  $n(1-x+x+x) = n(1+x)$  થશે.

$$i = \frac{n(1+x)}{n} = 1+x = 1.041$$

આથી, એસિટિક એસિડનો વિયોજન અંશ  $x = 1.041 - 1.000 = 0.041$

પછી,  $[\text{CH}_3\text{COOH}] = n(1-x) = 0.0106(1-0.041)$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = nx = 0.0106 \times 0.041, \quad [\text{H}^+] = nx = 0.0106 \times 0.041$$

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{0.0106 \times 0.041 \times 0.0106 \times 0.041}{0.0106(1.00-0.041)}$$

$$= 1.86 \times 10^{-5}$$

## સારાંશ

દ્રાવણ બે કે વધારે પદાર્થોનું સમાંગ મિશ્રણ છે. દ્રાવણને ઘન, પ્રવાહી અને વાયુમય દ્રાવણો તરીકે વર્ગીકૃત કરવામાં આવ્યા છે. દ્રાવણની સાંદ્રતા મોલ અંશ, મોલારિટી, મોલાલિટી અને ટકાવારીના પર્યાયોમાં દર્શાવાય છે. પ્રવાહીમાં વાયુનું વિલયન હેત્રીના નિયમથી અંકુશિત (governed) છે. જેના પ્રમાણે આપેલ તાપમાને વાયુની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા વાયુના આંશિક દબાણના સમપ્રમાણમાં હોય છે. દ્રાવણમાં અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યની હાજરીથી દ્રાવકનું બાષ્પદબાણ ઘટે છે અને આ બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો રાઉલ્ટના નિયમથી અંકુશિત છે. તેના પ્રમાણે દ્રાવણ પરના દ્રાવકનો સાપેક્ષ બાષ્પદબાણ ઘટાડો દ્રાવણમાં રહેલા અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યના મોલ અંશ બરાબર હોય છે. દ્વિઅંગી પ્રવાહી દ્રાવણમાં જો બંને ઘટકો બાષ્પશીલ હોય તો રાઉલ્ટના નિયમનું બીજું સ્વરૂપ વપરાય છે. રાઉલ્ટના નિયમનું આ સ્વરૂપ  $p_{\text{total}} = p^0 x_1 + p^0 x_2$  પ્રમાણે નિવેદિત કરી શકાય છે. જે દ્રાવણો સાંદ્રતાના સમગ્ર ગાળા દરમિયાન રાઉલ્ટના નિયમને અનુસરે છે તેને આદર્શ દ્રાવણો કહે છે. રાઉલ્ટના નિયમથી બે પ્રકારના વિચલન જેને ઘન વિચલન અને ઋણ વિચલન કહે છે. તેનું અવલોકન થઈ શકે છે. રાઉલ્ટના નિયમથી ખૂબ વધારે વિચલનને લીધે એજીયોટ્રોપ રચાય છે.

જે ગુણધર્મો દ્રાવ્ય કણોની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે અને તેમની રાસાયણિક ઓળખથી સ્વતંત્ર હોય છે તેમને સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો કહે છે. આ ગુણધર્મોમાં બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો, ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન, ઠારબિંદુમાં અવનયન અને અભિસરણ દબાણ છે. અભિસરણ દબાણ પ્રક્રમને ઉલટાવી શકાય જો દ્રાવણ પર અભિસરણ દબાણ કરતાં વધારે દબાણ લાગુ પાડવામાં આવે તો સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોનો ઉપયોગ દ્રાવ્યના મોલર દળ નક્કી કરવામાં થાય છે દ્રાવ્યો જે દ્રાવણમાં વિયોજન પામે છે તે ખરેખર મોલર દળ કરતાં ઓછું મોલર દળ પ્રદર્શિત કરે છે અને દ્રાવ્યો સુયોજન પામે છે તે તેમના ખરેખર મોલર દળ કરતાં વધારે મોલર દળ દર્શાવે છે.

દ્રાવ્ય કેટલે અંશે વિયોજિત કે સુયોજિત થયો છે તે જથ્થાત્મક રીતે વોન્ટ હોફ અવયવ  $i$  થી અભિવ્યક્ત કરાય છે. આ અવયવની વ્યાખ્યા આપી શકાય કે તે સામાન્ય મોલર દળ અને નક્કી કરેલ મોલર દળનો ગુણોત્તર છે. અથવા અવલોકિત સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો અને ગણતરી કરેલ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોનો ગુણોત્તર છે.

## સ્વાધ્યાય

- 2.1 દ્રાવણ - પર્યાયની વ્યાખ્યા આપો. કેટલા પ્રકારના દ્રાવણો બની શકે છે ? દરેક વિશે ઉદાહરણસહ ટૂંકમાં લખો.
- 2.2 એક એવા ઘન દ્રાવણનું ઉદાહરણ આપો જેમાં દ્રાવ્ય વાયુ હોય.
- 2.3 નીચેના પર્યાયોને વ્યાખ્યાયિત કરો :
  - (i) મોલ અંશ
  - (ii) મોલાલિટી
  - (iii) મોલારિટી
  - (iv) દળ ટકાવારી
- 2.4 પ્રયોગશાળા કાર્યમાં વપરાતો સાંદ્ર નાઈટ્રિક એસિડ દળથી 68 % નાઈટ્રિક એસિડ તરીકે જલીય દ્રાવણમાં છે. જો દ્રાવણની ઘનતા  $1.504 \text{ g mL}^{-1}$  હોય, તો એસિડના આવા નમૂનાની મોલારિટી કેટલી હશે ?

- 2.5 પાણીમાં ગ્લુકોઝના દ્રાવણ પર 10 % w/w એમ લેબલ લગાવેલું છે, તો દ્રાવણની મોલાલિટી અને દરેક ઘટકનો મોલ અંશ કેટલો હશે ? જો દ્રાવણની ઘનતા  $1.2 \text{ g mL}^{-1}$  હોય, તો દ્રાવણની મોલારિટી કેટલી થશે ?
- 2.6  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  અને  $\text{NaHCO}_3$  બંને પદાર્થોનો સમમોલર જથ્થો ધરાવતા 1 g મિશ્રણને સંપૂર્ણ પણે પ્રક્રિયા કરવા માટે 0.1 M HClના કેટલા mLની જરૂર પડશે ?
- 2.7 દળથી 25 % દ્રાવણના 300 g અને 40 % દ્રાવણના દળથી 400 g મિશ્ર કરીને એક દ્રાવણ બનાવવામાં આવ્યું. પરિણમતા દ્રાવણના દળની ટકાવારી ગણો.
- 2.8 એક પ્રતિહીમ (antifreeze) દ્રાવણ 222.6 g ઈથીલીન ગ્લાયકોલ ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ) અને 200 g પાણી મિશ્ર કરી બનાવવામાં આવ્યું. દ્રાવણની મોલાલિટી ગણો. જો દ્રાવણની ઘનતા  $1.072 \text{ g mL}^{-1}$  હોય, તો દ્રાવણની મોલારિટી કેટલી થશે ?
- 2.9 પીવાના પાણીનો એક નમૂનો ખૂબ જ ખરાબ રીતે ક્લોરોફોર્મ ( $\text{CHCl}_3$ ) વડે સંદૂષિત થયેલો જણાયો છે જેને કેન્સરજન્ય ધારવામાં આવ્યો છે. સંદૂષણનું સ્તર (પ્રમાણ) 15 ppm (દળથી) જણાયું છે.
- (i) આને દળથી ટકાવારીમાં દર્શાવો.
- (ii) પાણીના નમૂનામાં ક્લોરોફોર્મની મોલાલિટી નક્કી કરો.
- 2.10 આલ્કોહોલ અને પાણીના દ્રાવણમાં આણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા શું ભાગ ભજવે છે ?
- 2.11 શા માટે વાયુઓ હંમેશાં જેમ તાપમાન વધારવામાં આવે છે તેમ પ્રવાહીમાં ઓછા દ્રાવ્ય થવાનું વલણ ધરાવે છે ?
- 2.12 હેન્ડ્રીના નિયમનું નિવેદન કરો અને તેના કેટલાક અગત્યના અનુપ્રયોગ (applications) જણાવો.
- 2.13  $6.56 \times 10^{-3} \text{ g}$  ઈથેન ધરાવતા દ્રાવણનું આંશિક બાષ્પદબાણ દ્રાવણની ઉપર 1 bar છે. જો દ્રાવણ  $5.00 \times 10^{-2} \text{ g}$  ઈથેન ધરાવતું હોય, તો વાયુનું આંશિક દબાણ કેટલું થશે ?
- 2.14 રાઉલ્ટના નિયમથી ધન અને ઋણ વિચલનનો અર્થ શું થાય છે અને રાઉલ્ટના નિયમથી થતાં ધન અને ઋણ વિચલન  $\Delta_{\text{mix}} H$ ની સંજ્ઞા સાથે કેવી રીતે સંબંધિત છે ?
- 2.15 2 % અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ધરાવતું જલીય દ્રાવણ સામાન્ય ઉત્કલનબિંદુએ 1.004 bar દબાણ કરે છે. દ્રાવ્યનું મોલર દળ કેટલું હશે ?
- 2.16 હેપ્ટેન અને ઓક્ટેન આદર્શ દ્રાવણ બનાવે છે. 373 K તાપમાને બંને પ્રવાહી ઘટકોના બાષ્પદબાણ અનુક્રમે 105.2 kPa અને 46.8 kPa છે. 26.0 g હેપ્ટેન અને 35 g ઓક્ટેન ધરાવતા મિશ્રણનું બાષ્પદબાણ કેટલું થશે ?
- 2.17 પાણીનું બાષ્પદબાણ 300 K તાપમાને 12.3 kPa છે. તેના અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યના 1 મોલલ દ્રાવણ માટે બાષ્પદબાણ ગણો.
- 2.18 અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય(મોલર દળ  $40 \text{ g mol}^{-1}$ )નું દળ ગણો જેને 114 g ઓક્ટેનમાં ઓગાળવામાં આવે, તો બાષ્પદબાણ 80 % જેટલું ઘટી જાય.
- 2.19 90 g પાણીમાં 30 g અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ધરાવતા દ્રાવણનું 298 K તાપમાને બાષ્પદબાણ 2.8 kPa છે. આગળ જતાં 18 g પાણી દ્રાવણમાં ઉમેરવામાં આવ્યું અને નવું બાષ્પદબાણ 298 K તાપમાને 2.9 kPa થયું. ગણતરી કરો : (i) દ્રાવ્યનું મોલર દળ (ii) 298 K તાપમાને પાણીનું બાષ્પદબાણ.
- 2.20 ખાંડના 5 % દ્રાવણ(દળથી)નું ઠારબિંદુ 271 K છે. જો શુદ્ધ પાણીનું ઠારબિંદુ 273.15 K હોય, તો પાણીમાં 5 % ગ્લુકોઝ ધરાવતા દ્રાવણનું ઠારબિંદુ ગણો.
- 2.21 બે તત્ત્વો A અને B,  $\text{AB}_2$  અને  $\text{AB}_4$  સૂત્ર ધરાવતા સંયોજનનો બનાવે છે. તેમને 20 g બેન્ઝિન ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )માં ઓગાળતાં  $\text{AB}_2$ નો 1 g ઠારબિંદુમાં 2.3 Kનો ઘટાડો કરે છે જ્યારે  $\text{AB}_4$ નો 1 g 1.3 Kનો ઘટાડો કરે છે. બેન્ઝિનનો મોલલ અવનયન અચળાંક  $5.1 \text{ K kg mol}^{-1}$  છે. A અને Bના પરમાણ્વીય દળ ગણો.

- 2.22 300 K તાપમાને 36 g ગ્લુકોઝ ધરાવતા તેના દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ 4.98 bar છે. જો તે જ તાપમાને કોઈ દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ 1.52 bar હોય તો તેની સાંદ્રતા કેટલી હશે ?
- 2.23 નીચેની જોડમાં સૌથી અગત્યના પ્રકારની આંતરઆણ્વીય આકર્ષણીય પારસ્પરિકતા (આંતરક્રિયા) સૂચવો :
- n-હેક્ઝેન અને n-ઓક્ટેન
  - I<sub>2</sub> અને CCl<sub>4</sub>
  - NaClO<sub>4</sub> અને પાણી
  - મિથેનોલ અને એસિટોન
  - એસિટોનાઈટ્રાઈલ (CH<sub>3</sub>CN) અને એસિટોન (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O).
- 2.24 દ્રાવ્ય-દ્રાવક પારસ્પરિક ક્રિયાના આધારે નીચેનાને તેમની n-ઓક્ટેનમાં દ્રાવ્યતાના ચઢતા ક્રમમાં ગોઠવો અને સમજાવો.
- સાયક્લોહેક્ઝેન, KCl, CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>3</sub>CN
- 2.25 નીચેના સંયોજનોમાંથી પાણીમાં અદ્રાવ્ય, અંશતઃ દ્રાવ્ય અને અતિદ્રાવ્યને ઓળખી બતાવો :
- ફિનોલ
  - ટોલ્યુઈન
  - ફોર્મિક એસિડ
  - ઇથીલીન ગ્લાયકોલ
  - ક્લોરોફોર્મ
  - પેન્ટેનોલ
- 2.26 જો કોઈ સરોવરના પાણીની ઘનતા 1.25 g mL<sup>-1</sup> હોય અને તે 92 g Na<sup>+</sup> પ્રતિ કિલોગ્રામ પાણી ધરાવતું હોય, તો સરોવરના પાણીમાં Na<sup>+</sup> આયનની મોલાલિટી ગણો.
- 2.27 જો CuSનો દ્રાવ્યતા ગુણાકાર 6 × 10<sup>-16</sup> હોય, તો CuSની જલીય દ્રાવણમાં મહત્તમ મોલારિટી ગણો.
- 2.28 6.5 g એસ્પિરિન (C<sub>9</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>), 450 g CH<sub>3</sub>CNમાં ઓગાળવામાં આવે, તો એસ્પિરિનની એસિટોનાઈટ્રાઈલમાં દળથી ટકાવારી ગણો.
- 2.29 નેલોરફીન (C<sub>19</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>3</sub>) મોરફીનને સમાન છે જે નિદ્રાપેરકનો ઉપયોગ કરનારમાંથી તેનાં લક્ષણો (symptoms) દૂર કરવા માટે વપરાય છે. સામાન્ય રીતે અપાતા નેલોરફીનનો ડોઝ (માત્રા) 1.5 mg છે. ઉપરના ડોઝ માટે જરૂરી 1.5 × 10<sup>-3</sup> m જલીય દ્રાવણ માટેનું દળ ગણો.
- 2.30 250 mL 0.15 M બેન્ઝોઈક એસિડ(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH)નું મિથેનોલમાં દ્રાવણ બનાવવા માટેનો જથ્થો (વજન) ગણો.
- 2.31 એસિટિક એસિડ, ટ્રાયક્લોરો એસિટિક એસિડ અને ટ્રાયફ્લોરો એસિટિક એસિડના સમાન જથ્થા(વજન)ના ઉપયોગથી પાણીમાં ઠારબિંદુ અવનયન (ઘટાડો) ઉપર જણાવેલા ક્રમમાં અવલોકિત થયો છે ટૂંકમાં સમજાવો.
- 2.32 જો 10 g CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CHClCOOHને 250 g પાણીમાં ઉમેરવામાં આવે તો પાણીનું ઠારબિંદુ અવનયન ગણો. K<sub>a</sub> = 1.4 × 10<sup>-3</sup>, K<sub>f</sub> = 1.86 K kg mol<sup>-1</sup>
- 2.33 19.5 g CH<sub>2</sub>FCOOH 500 g પાણીમાં ઓગાળવામાં આવ્યો છે. પાણીના ઠારબિંદુનું અવનયન 1.0 °C નોંધાયું છે. ફ્લોરોએસિટિક એસિડનો વિયોજન અચળાંક અને વોન્ટ હોફ અવયવ ગણો.
- 2.34 293 K તાપમાને પાણીનું બાષ્પદબાણ 17.535 mm Hg છે. 293 K તાપમાને જ્યારે 450 g પાણીમાં 25 g ગ્લુકોઝ ઓગાળવામાં આવ્યો ત્યારે બાષ્પદબાણ ગણો.
- 2.35 298 K તાપમાને બેન્ઝિનમાં મિથેનની મોલાલિટી માટે હેઝી અચળાંકનું મૂલ્ય 4.27 × 10<sup>5</sup> mm Hg છે. 760 mm દબાણ હેઠળ 298 K તાપમાને મિથેનની બેન્ઝિનમાં દ્રાવ્યતા ગણો.
- 2.36 100 g પ્રવાહી A (મોલર દળ 140 g mol<sup>-1</sup>)ને 1000 g પ્રવાહી B(મોલર દળ 180 g mol<sup>-1</sup>)માં ઓગાળવામાં આવ્યો. શુદ્ધ પ્રવાહી Bનું બાષ્પદબાણ 500 torr જણાયુ. શુદ્ધ પ્રવાહી Aનું બાષ્પદબાણ ગણો અને જો દ્રાવણનું કુલ દબાણ 475 torr હોય, તો તેનું દ્રાવણમાં બાષ્પદબાણ ગણો.

- 2.37 શુદ્ધ એસિટોન અને ક્લોરોફોર્મના બાષ્પદબાણ 328 K તાપમાને અનુક્રમે 741.8 mm Hg અને 632.8 mm Hg છે. તેઓ સંઘટનના સંપૂર્ણ ગાળા દરમિયાન આદર્શ દ્રાવણ બનાવે છે તેમ ધારીને  $p_{\text{કુલ}}$ ,  $p_{\text{ક્લોરોફોર્મ}}$  અને  $p_{\text{એસિટોન}}$  નો  $x_{\text{એસિટોન}}$  ના વિધેય (function) તરીકે આલેખ દોરો. મિશ્રણના જુદા જુદા સંઘટન માટે અવલોકિત કરેલી પ્રાયોગિક માહિતી નીચે પ્રમાણે છે.

$100 \times x_{\text{એસિટોન}}$	0	11.8	23.4	36.0	50.8	58.2	64.5	72.1
$p_{\text{એસિટોન}}/\text{mm Hg}$	0	54.9	110.1	202.4	322.7	405.9	454.1	521.1
$p_{\text{ક્લોરોફોર્મ}}/\text{mm Hg}$	632.8	548.1	469.4	359.7	257.7	193.6	161.2	120.7

આ માહિતીને તે જ આલેખ પત્ર પર દોરો. તેને આદર્શ વાયુથી ધન વિચલન કે ઋણ વિચલન છે તેનું સૂચન કરો.

- 2.38 બેન્ઝિન અને ટોલ્યુઈન સંઘટનના સંપૂર્ણ ગાળા દરમિયાન આદર્શ દ્રાવણ બનાવે છે. 300 K તાપમાને શુદ્ધ બેન્ઝિન અને ટોલ્યુઈનના બાષ્પદબાણ અનુક્રમે 50.71 mm Hg અને 32.06 mm Hg છે. જો 80 g બેન્ઝિન અને 100 g ટોલ્યુઈન મિશ્રણ કરવામાં આવ્યા હોય, તો બેન્ઝિનનો બાષ્પ અવસ્થામાં મોલ અંશ ગણો.
- 2.39 હવા ઘણા વાયુઓનું મિશ્રણ છે. 298 K તાપમાને મુખ્ય ઘટકો ઓક્સિજન અને નાઈટ્રોજનનું લગભગ પ્રમાણ કદથી અનુક્રમે 20 % અને 79 % છે. 10 atm દબાણે પાણી હવા સાથે સંતુલનમાં છે. હેન્ડ્રી નિયમ અચળાંક ઓક્સિજન અને નાઈટ્રોજન માટે 298 K તાપમાને અનુક્રમે  $3.30 \times 10^7$  mm અને  $6.51 \times 10^7$  mm હોય, તો પાણીમાં આ વાયુઓનું સંઘટન (પ્રમાણ) ગણો.
- 2.40 27° C તાપમાને 0.75 atm અભિસરણ દબાણ દર્શાવે તેવા કેલ્શિયમ ક્લોરાઈડના દ્રાવણ માટે 2.5 લિટર પાણીમાં દ્રાવણ બનાવવા માટે  $\text{CaCl}_2$  ( $i = 2.47$ )નો જથ્થો (વજન) નક્કી કરો.
- 2.41 25° C તાપમાને 2 લિટર પાણીમાં 25 mg  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ઓગાળીને બનાવેલા દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ નક્કી કરો. અહીં  $\text{K}_2\text{SO}_4$ નું સંપૂર્ણ વિયોજન થાય છે તેમ ધારી લો.

#### લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

- 2.1  $\text{C}_6\text{H}_6 = 15.28 \%$ ,  $\text{CCl}_4 = 84.72 \%$
- 2.2 0.459, 0.541
- 2.3 0.024 M, 0.03 M
- 2.4 36.946 g
- 2.5  $1.5 \text{ mol kg}^{-1}$ ,  $1.45 \text{ mol L}^{-1}$ , 0.0263
- 2.9 23.4 mm Hg
- 2.10 121.67 g
- 2.11 5.077 g
- 2.12 30.96 Pa

## હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- વિદ્યુતરાસાયણિક કોષનું વર્ણન કરી શકશો અને ગેલ્વેનિક તથા વિદ્યુતવિભાજનીય કોષ વચ્ચે ભેદ દર્શાવી શકશો.
- ગેલ્વેનિક કોષનો ઈ.એમ.એફ. નન્ડર્ટના સમીકરણનો ઉપયોગ કરીને ગણી શકશો અને કોષનો પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- કોષનો પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ, કોષ પ્રક્રિયાની ગિબ્સ ઊર્જા અને સંતુલન અચળાંક વચ્ચે સંબંધ ઉપજાવી શકશો.
- આયનીય દ્રાવણના અવરોધકતા ( $\rho$ ), વાહકતા ( $k$ ) અને મોલર વાહકતા ( $\Lambda_m$ )ની વ્યાખ્યા આપી શકશો.
- આયનીય (વિદ્યુતવિભાજનીય) અને ઈલેક્ટ્રોનીય વાહકતા વચ્ચે ભેદ પાડી શકશો.
- વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણોની વાહકતાના માપન માટેની પદ્ધતિને વર્ણવી શકશો અને તેમની મોલર વાહકતા પણ ગણી શકશો.
- વાહકતા અને મોલર વાહકતાનો તેમના દ્રાવણોની સાંદ્રતા સાથેના ફેરફારને વાજબી ઠેરવી શકશો અને  $\Lambda_m^0$  (શૂન્ય સાંદ્રતા અથવા અનંત મંદને મોલર વાહકતા) વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- કોહલરોશ નિયમને પ્રતિજ્ઞાપિત (enunciate) કરી શકશો અને તેના અનુપ્રયોગોનો અભ્યાસ કરી શકશો.
- વિદ્યુતવિભાજનની જથ્થાત્મક બાબતોને સમજી શકશો.
- કેટલાક પ્રાથમિક અને દ્વિતીયક બેટરી અને બળતણ કોષને વર્ણવી શકશો.
- ક્ષારણને વિદ્યુતરાસાયણિક પ્રક્રિયા તરીકે સમજાવી શકશો.

એકમ

# 3

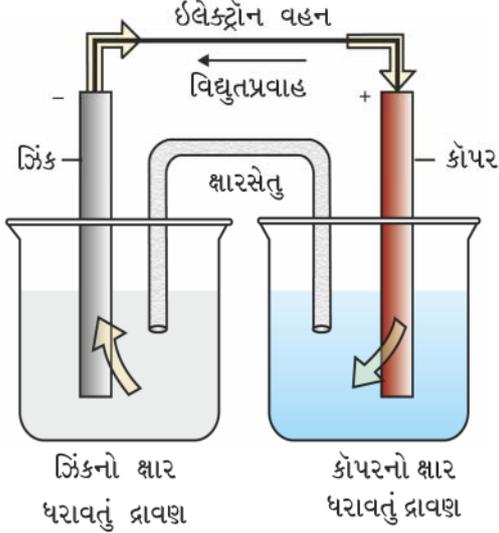
## વિદ્યુતરાસાયણવિજ્ઞાન (Electrochemistry)

**“રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓને વિદ્યુતીય ઊર્જા પેદા કરવા માટે વાપરી શકીએ, તેનાથી વિપરીત રીતે વિદ્યુતીય ઊર્જાનો ઉપયોગ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ જે સ્વયંસ્ફુરિત રીતે થતી નથી તેમને પાર પાડવા માટે કરી શકીએ.”**

વિદ્યુતરાસાયણવિજ્ઞાન સ્વયંસ્ફુરિત રાસાયણિક પ્રક્રિયા દરમિયાન મુક્ત થયેલ ઊર્જાથી વિદ્યુત ઉત્પન્ન કરવાનો અને વિદ્યુતીય ઊર્જાનો અસ્વયંસ્ફુરિત રાસાયણિક પ્રક્રિયાને પાર પાડવા (કરવા) માટે થતા ઉપયોગનો અભ્યાસ છે. આ વિષય બંને સૈદ્ધાંતિક અને પ્રાયોગિક ગણતરીઓના આધારે અગત્યનો છે. મોટી સંખ્યામાં ધાતુઓ, સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ, ક્લોરિન, ફ્લોરિન અને બીજા ઘણા રાસાયણો વિદ્યુતરાસાયણિક પદ્ધતિઓથી પેદા કરી શકાય છે. બેટરી અને બળતણ કોષ રાસાયણિક ઊર્જાનું વિદ્યુતીય ઊર્જામાં પરિવર્તન કરે છે અને મોટા પાયે તેનો ઉપયોગ ઘણાં બધાં સાધનો અને ઉપકરણો (ડીવાઈસ)માં થાય છે. વિદ્યુતરાસાયણિક રીતે કરેલી પ્રક્રિયાઓ ઊર્જા સક્ષમ અને ઓછી પ્રદૂષક છે. આથી પર્યાવરણ મૈત્રીરૂપ (ecofriendly) નવી ટેકનોલોજીના સંજ્ઞા માટે વિદ્યુતરાસાયણનો ઉપયોગ ઘણો અગત્યનો છે. સંવેદી સંકેતોનું મગજમાં કોષો મારફતે સંચરણ અને તેથી ઊલટું પણ અને કોષોની વચ્ચે સંદેશાવ્યવહાર વગેરે વિદ્યુતીય રાસાયણિક મૂળ (ઉદ્ગમસ્થાન) ધરાવે છે. વિદ્યુતરાસાયણવિજ્ઞાન એટલા માટે જ ઘણો વિશાળ અને આંતરવિષયક (interdisciplinary) વિષય છે. આ એકમમાં આપણે તેની માત્ર કેટલીક પ્રાથમિક બાબતોનો સમાવેશ કરીશું.

### 3.1 વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ (Electrochemical Cell)

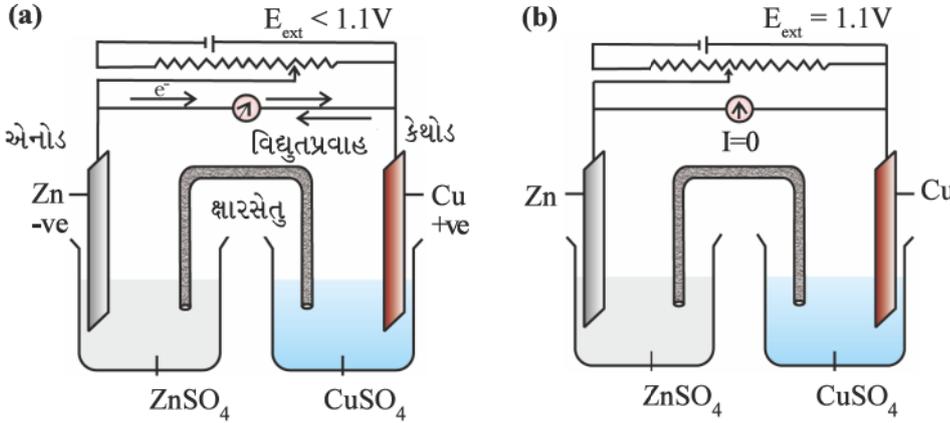
ધોરણ XI, એકમ 8માં આપણે ડેનિયલ (Daniell) કોષની રચના અને કાર્યપદ્ધતિ (આકૃતિ 3.1)નો અભ્યાસ કર્યો હતો. આ કોષ નીચેની રેડોક્ષ પ્રક્રિયા દરમિયાન મુક્ત થયેલ રાસાયણિક ઊર્જાને વિદ્યુતઊર્જામાં પરિવર્તિત કરે છે

$$\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)} \quad (3.1)$$


આકૃતિ 3.1 : ડેનિયલ કોષ જેમાં ઝિંક અને કોપરના વિદ્યુતધ્રુવો અનુક્રમે તેમના ક્ષારના દ્રાવણમાં ડૂબાડેલા છે.

અને જ્યારે  $\text{Zn}^{2+}$  અને  $\text{Cu}^{2+}$  આયનોની સાંદ્રતા એક એકમ (unity) ( $1 \text{ mol dm}^{-3}$ )\* હોય ત્યારે તેનો વિદ્યુતીય પોટેન્શિયલ 1.1 V જેટલો હોય છે. આવા ઉપકરણને ગેલ્વેનિક અથવા વોલ્ટેઈક કોષ કહે છે.

જો ગેલ્વેનિક કોષ (આકૃતિ 3.2 (a))માં બાહ્ય વિરુદ્ધ પોટેન્શિયલ લાગુ પાડીએ તો અને ધીમે ધીમે વધારતા જઈએ તો આપણને જણાશે કે જ્યાં સુધી બાહ્ય વિરુદ્ધ પોટેન્શિયલ 1.1 V (આકૃતિ 3.2 (b)) થશે નહિ ત્યાં સુધી પ્રક્રિયા ચાલુ રહે અને પ્રક્રિયા સંપૂર્ણ રીતે બંધ થશે નહિ અને કોષમાંથી પ્રવાહ વહેવાનો બંધ થશે નહિ. બાહ્ય પોટેન્શિયલમાં હજુ પણ વધારો કરવામાં આવે તો પ્રક્રિયા ફરી શરૂ થશે પણ વિરુદ્ધ દિશામાં (આકૃતિ 3.2 (c)) થશે. હવે તે વિદ્યુતવિભાજનીય કોષ તરીકે કાર્ય કરે છે. જે એવું ઉપકરણ છે જેમાં વિદ્યુતીય ઊર્જા અસ્વયંસ્ફુરિત રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ થવા માટે વપરાશે. બંને પ્રકારના કોષ ઘણા અગત્યના છે અને આપણે હવે પછીના પાનાઓ(pages)માં તેમની કેટલીક વિશિષ્ટ બાબતો શીખીશું.



જ્યારે  $E_{\text{ext}} < 1.1\text{V}$

- ઇલેક્ટ્રોન ઝિંકના સળિયા પરથી કોપરના સળિયા પર વહે છે, તેથી વિદ્યુત પ્રવાહ Cu થી Zn તરફ વહેશે.
- એનોડ પર ઝિંક ઓગળે છે અને કેથોડ પર કોપર નિક્ષેપિત (જમા) થાય છે.

આકૃતિ 3.2 : ડેનિયલ કોષની કાર્યવિધિ જ્યારે બાહ્ય વોલ્ટેજ  $E_{\text{ext}}$  કોષના પોટેન્શિયલથી વિરુદ્ધ જેટલો લાગુ પાડવામાં આવે છે.

જ્યારે  $E_{\text{ext}} = 1.1\text{V}$

- ઇલેક્ટ્રોન કે વિદ્યુત પ્રવાહ વહેશે નહિ.
- રાસાયણિક પ્રક્રિયા થશે નહિ.

જ્યારે  $E_{\text{ext}} > 1.1\text{V}$

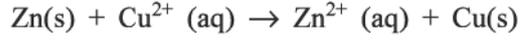
- ઇલેક્ટ્રોન Cu થી Zn તરફ વહે છે અને વિદ્યુત પ્રવાહ Zn થી Cu તરફ વહે છે.
- ઝિંક ધાતુ ઝિંક વિદ્યુતધ્રુવ પર નિક્ષેપિત થશે અને કોપર વિદ્યુતધ્રુવ પર કોપર ઓગળશે.

\* ચૂસ્તપણે કહીએ તો સાંદ્રતાને બદલે સક્રિયતાનો ઉપયોગ કરવો જોઈએ. તે સાંદ્રતાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. મંદ દ્રાવણમાં તે સાંદ્રતા બરાબર થાય છે. આના વિશે વધુ જાણકારી તમે ઉચ્ચતર ધોરણોમાં શીખશો.

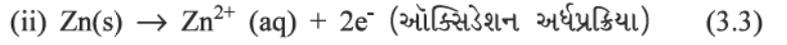
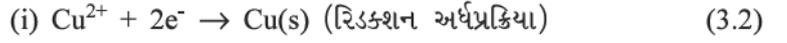
### 3.2 ગેલ્વેનિક કોષો (Galvanic Cells)

અગાઉ (ધોરણ XI એકમ 8) દર્શાવ્યા પ્રમાણે ગેલ્વેનિક કોષ એવો વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ છે જે સ્વયંસ્ફુરિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયાની રાસાયણિક ઊર્જા વિદ્યુતીય ઊર્જામાં પરિવર્તિત કરે છે. આ ઉપકરણમાં સ્વયંસ્ફુરિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયાની ગિબ્સઊર્જાનું વિદ્યુતીય કાર્યમાં રૂપાંતર થાય છે, જેનો ઉપયોગ મોટર ચલાવવા અથવા હીટર, પંખો, ગીઝર વગેરે જેવા વિદ્યુતીય સાધનોમાં કરી શકાય.

ડેનિયલ કોષ અગાઉ ચર્ચા કરી છે તેવો કોષ છે જેમાં નીચેની રેડોક્ષ પ્રક્રિયા થાય છે.



આ પ્રક્રિયા બે અર્ધ પ્રક્રિયાઓનું સંયોગીકરણ છે જેનો સરવાળો કુલ કોષ પ્રક્રિયા આપે છે.



આ પ્રક્રિયાઓ ડેનિયલ કોષના બે જુદા જુદા ભાગોમાં થાય છે. રિડક્શન અર્ધપ્રક્રિયા કોંપર વિદ્યુતધ્રુવ પર થાય છે. જ્યારે ઓક્સિડેશન અર્ધપ્રક્રિયા ઝિંક વિદ્યુતધ્રુવ પર થાય છે. કોષના આ બંને ભાગોને અર્ધકોષ અથવા રેડોક્ષયુગ્મ (couple) પણ કહેવામાં આવે છે. કોંપર વિદ્યુતધ્રુવને રિડક્શન અર્ધ કોષ અને ઝિંક ધ્રુવને ઓક્સિડેશન અર્ધકોષ પણ કહી શકાય છે.

આપણે જુદા જુદા અર્ધ કોષના સંયોગીકરણથી ડેનિયલ કોષની ભાત (pattern) પર અસંખ્ય ગેલ્વેનિક કોષોની રચના કરી શકીએ. દરેક અર્ધકોષ ધાત્વીય વિદ્યુતધ્રુવ ધરાવે છે જે વિદ્યુતવિભાજ્યમાં ડૂબાડેલ હોય છે. આ બંને અર્ધકોષને વોલ્ટમીટર મારફતે ધાત્વીય વાયર બાહ્ય રીતે સ્વિચથી જોડવામાં આવે છે. બંને અર્ધકોષના વિદ્યુતવિભાજ્યને આંતરિક રીતે આકૃતિ 3.1માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ક્ષારસેતુ મારફતે જોડવામાં આવે છે. કેટલીક વાર બંને વિદ્યુતધ્રુવને એક જ વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણમાં ડૂબાડવામાં આવે છે અને આવા કિસ્સામાં ક્ષારસેતુની જરૂર પડતી નથી.

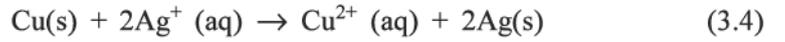
દરેક વિદ્યુતધ્રુવ-વિદ્યુતવિભાજ્ય આંતરસપાટી પર ધાતુ આયન દ્રાવણમાંથી વિદ્યુતધ્રુવ પર નિક્ષેપિત થવાનું વલણ ધરાવે છે અને તેને ધનવીજભારિત બનાવવાનો પ્રયત્ન કરે છે. આ જ સમયે, વિદ્યુતધ્રુવના ધાતુ પરમાણુઓને આયન તરીકે દ્રાવણમાં જવાનું વલણ હોય છે અને વિદ્યુતધ્રુવ પર ઈલેક્ટ્રોન છોડી જાય છે જેથી તેને ઋણ વીજભારિત બનાવવાનો પ્રયત્ન કરે છે. સંતુલને, વીજભારનું અલગીકરણ હોય છે અને બંને એકબીજાની વિરુદ્ધ પ્રક્રિયાના વલણના આધારે દ્રાવણની સાપેક્ષમાં ધનભાર કે ઋણભાર ધરાવે છે. વિદ્યુતધ્રુવ અને વિદ્યુતવિભાજ્ય વચ્ચે પોટેન્શિયલ તફાવત વિકસે છે અને તેને વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ કહે છે. જ્યારે અર્ધ પ્રક્રિયામાં સમાવિષ્ટ આયનોની સાંદ્રતા એક હોય છે ત્યારે વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ તરીકે ઓળખાય છે. IUPAC પ્રણાલિકા પ્રમાણે પ્રમાણિત રિડક્શન પોટેન્શિયલને હવે પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ કહે છે. ગેલ્વેનિક કોષમાં જે અર્ધકોષમાં ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયા થાય છે તેને એનોડ કહે છે અને તેનો દ્રાવણની સાપેક્ષમાં પોટેન્શિયલ ઋણ હોય છે. બીજા અર્ધકોષમાં જેમાં રિડક્શન પ્રક્રિયા થાય છે તેને કેથોડ કહે છે અને તેને દ્રાવણની સાપેક્ષમાં ધન પોટેન્શિયલ હોય છે. આથી બંને ધ્રુવો વચ્ચે પોટેન્શિયલ તફાવત ઉદ્ભવે છે અને જેવી સ્વિચને ચાલુ (ON) સ્થિતિ પર મૂકવામાં આવે છે ત્યારે ઋણ વિદ્યુતધ્રુવથી ધન વિદ્યુતધ્રુવ તરફ ઈલેક્ટ્રોનનો પ્રવાહ જાય છે. વિદ્યુતપ્રવાહ(current)નું વહન (flow) ઈલેક્ટ્રોનના પ્રવાહની દિશાથી વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે.

ગેલ્વેનિક કોષના બંને વિદ્યુતધ્રુવો વચ્ચેના પોટેન્શિયલ તફાવતને કોષ પોટેન્શિયલ કહે છે અને તેને વોલ્ટમાં મપાય છે. કેથોડ અને એનોડના વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ (રિડક્શન પોટેન્શિયલ)નો તફાવત એટલે કોષ પોટેન્શિયલ. તેને કોષનો કોષ ઇલેક્ટ્રોમોટિવ ફોર્સ (વિદ્યુત ચાલકબળ) (emf) કહે છે જ્યારે કોષમાંથી કોઈ પ્રવાહ ખેંચવામાં આવતો નથી. હવે એ સ્વીકારાયેલ પ્રણાલિકા છે કે ગેલ્વેનિક કોષમાં એનોડને ડાબી બાજુ પર અને કેથોડને જમણી બાજુ પર દર્શાવાય છે. ગેલ્વેનિક કોષને તેમાંની ધાતુ અને વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણ વચ્ચે એક ઊભી રેખા દોરીને દર્શાવાય છે અને ક્ષારસેતુ વડે જોડેલા બંને વિદ્યુત વિભાજ્યોને તેમની વચ્ચે બે ઊભી રેખા દોરીને દર્શાવવામાં આવે છે. આ પ્રણાલિકા પ્રમાણે કોષનો પોટેન્શિયલ ધન હોય છે અને તેને જમણી બાજુના અર્ધકોષના પોટેન્શિયલ અને ડાબી બાજુના અર્ધકોષના પોટેન્શિયલમાંથી બાદ કરીને દર્શાવાય છે. એટલે કે,

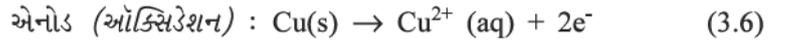
$$E_{\text{cell}} = E_{\text{right}} - E_{\text{left}}$$

આને નીચેના ઉદાહરણથી દર્શાવી શકાય :

કોષ પ્રક્રિયા :



અર્ધકોષ પ્રક્રિયાઓ :

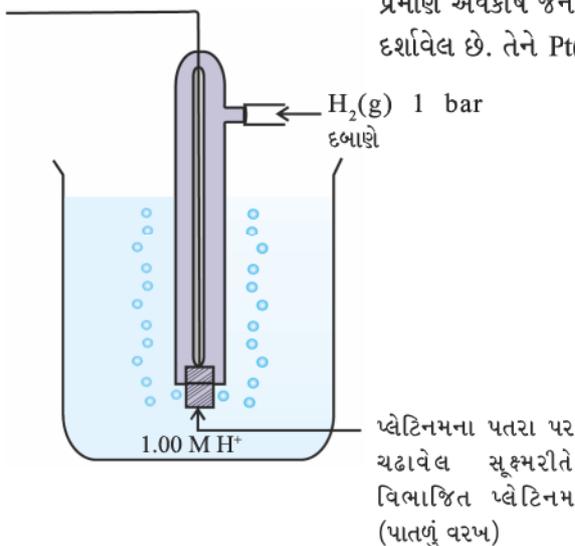


એ જોઈ શકાય છે કે (3.5) અને (3.6)નો સરવાળો કોષમાં કુલ પ્રક્રિયા (3.4) તરફ દોરે છે અને સિલ્વર વિદ્યુતધ્રુવ કેથોડ તરીકે અને કોપર વિદ્યુતધ્રુવ એનોડ તરીકે વર્તે છે. આને આ રીતે રજૂ કરી શકાય :



$$\text{અને આપણને મળશે } E_{\text{cell}} = E_{\text{right}} - E_{\text{left}} = E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} - E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} \quad (3.7)$$

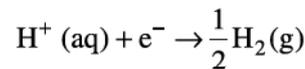
### 3.2.1 વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલનું માપન (Measurement of Electrode Potential)



આકૃતિ 3.3 : પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ (SHE)

વ્યક્તિગત અર્ધકોષનો પોટેન્શિયલ માપી શકાય નહિ. આપણે બે અર્ધકોષ પોટેન્શિયલ વચ્ચેનો તફાવત માપી શકીએ છીએ જે આપણને કોષનો ઇ.એમ.એફ. આપે છે. જો આપણે ઇચ્છાધીન (મનસ્વી) રીતે કોઈ એક અર્ધકોષનો પોટેન્શિયલ પસંદ કરીએ તો આપણે આના સંદર્ભમાં બીજા અર્ધકોષનો પોટેન્શિયલ નક્કી કરી શકીએ. પ્રણાલિકા પ્રમાણે અર્ધકોષ જેને પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ કહે છે અને જે (આકૃતિ 3.3)માં દર્શાવેલ છે. તેને  $\text{Pt(s)} \mid \text{H}_2(\text{g}) \mid \text{H}^+(\text{aq})$  તરીકે દર્શાવાય છે અને તેનો પોટેન્શિયલ

બધા જ તાપમાને શૂન્ય આંકવામાં આવ્યો છે. આ પોટેન્શિયલ નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે છે.



પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ પ્લેટિનમ બ્લેકનું પડ ચઢાવેલ પ્લેટિનમ વિદ્યુતધ્રુવ છે. વિદ્યુતધ્રુવને એસિડના દ્રાવણમાં ડૂબાડવામાં આવે છે અને શુદ્ધ હાઈડ્રોજન વાયુ તેમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે. હાઈડ્રોજનના રિડક્શન પામેલા અને ઓક્સિડેશન પામેલા બંને સ્વરૂપોની સાંદ્રતા એક જળવાઈ રહે છે (આકૃતિ 3.3). આ એમ સૂચવે છે કે હાઈડ્રોજન વાયુનું દબાણ 1 bar છે અને દ્રાવણમાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા એક મોલર છે.

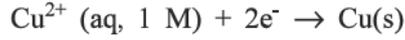
298 K તાપમાને પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવને એનોડ (સંદર્ભ અર્ધકોષ) તરીકે અને બીજો અર્ધકોષ કેથોડ તરીકે લઈને રચાતો કોષ પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ અર્ધકોષ || બીજો અર્ધકોષ. ઈ.એમ.એફનું મૂલ્ય બીજા અર્ધકોષના રિડક્શન પોટેન્શિયલનું મૂલ્ય આપે છે. જો ઓક્સિડેશન પામેલી અને રિડક્શન પામેલી સ્પેસીઝના સ્વરૂપ જમણી બાજુના અર્ધકોષમાં એક એકમ હોય તો કોષ પોટેન્શિયલ પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ બરાબર થશે. આપેલ અર્ધકોષનો  $E^{\ominus}_R$

$$E^{\ominus} = E^{\ominus}_R - E^{\ominus}_L$$

$E^{\ominus}_L$  પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ માટે શૂન્ય છે.

$$E^{\ominus} = E^{\ominus}_R - 0 = E^{\ominus}_R$$

કોષ Pt(s) | H<sub>2</sub>(g, 1 bar) | H<sup>+</sup>(aq, 1 M) || Cu<sup>2+</sup>(aq, 1M) | Cuનો માપન કરેલ ઈ.એમ.એફ. 0.34 V છે અને તે નીચેની પ્રક્રિયાને અનુરૂપ અર્ધકોષના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલના મૂલ્ય બરાબર થશે.



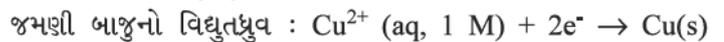
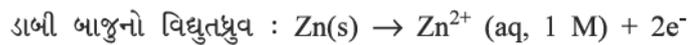
એ જ પ્રમાણે,

કોષ Pt(s) | H<sub>2</sub>(g, 1 bar) | H<sup>+</sup>(aq, 1 M) || Zn<sup>2+</sup>(aq, 1 M) | Zn નો માપન કરેલો કોષ પોટેન્શિયલ -0.76V છે જે અર્ધપ્રક્રિયા

Zn<sup>2+</sup>(aq, 1 M) + 2e<sup>-</sup> → Zn(s) માટેનો પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલને અનુરૂપ થશે.

પ્રથમ કિસ્સામાં ધન વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ સૂચવે છે કે Cu<sup>2+</sup> આયન H<sup>+</sup> આયન કરતાં વધારે સહેલાઈથી રિડક્શન પામે છે. પ્રતિગામી પ્રક્રિયા થઈ શકશે નહિ એટલે કે હાઈડ્રોજન આયન Cuનું ઓક્સિડેશન નહિ કરી શકે (અથવા વૈકલ્પિક રીતે આપણે કહી શકીએ કે ઉપર દર્શાવેલ પ્રમાણિત શરતોમાં હાઈડ્રોજન વાયુ કોપરનું રિડક્શન કરી શકે.) આમ Cu ધાતુ HClમાં ઓગળતી નથી. નાઈટ્રિક એસિડમાં તે નાઈટ્રેટ આયન વડે ઓક્સિડેશન પામે છે અને હાઈડ્રોજન આયન વડે નહિ. બીજા કિસ્સામાં ઋણ પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ સૂચવે છે કે હાઈડ્રોજન આયન ઝિંકનું ઓક્સિડેશન કરી શકશે (અથવા ઝિંક હાઈડ્રોજન આયનનું રિડક્શન કરી શકે).

આ પ્રણાલિકા પ્રમાણે આકૃતિ 3.1માં દર્શાવેલ ડેનિયલ કોષ માટેની અર્ધપ્રક્રિયાને નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :



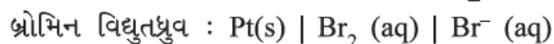
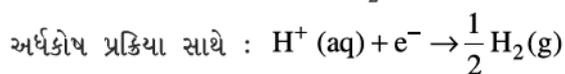
કુલ પ્રક્રિયા ઉપરની બે પ્રક્રિયાઓનો સરવાળો છે અને તે આ સમીકરણથી મેળવી શકીએ.

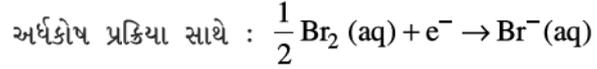


$$\text{કોષનો ઈ.એમ.એફ} = E^{\ominus}_{\text{cell}} = E^{\ominus}_R - E^{\ominus}_L$$

$$= 0.34 \text{ V} - (-0.76) \text{ V} = 1.10 \text{ V}$$

કેટલીક વખત પ્લેટિનમ અને ગોલ્ડ જેવી ધાતુઓ નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવ તરીકે ઉપયોગમાં લેવાય છે. તેઓ પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા નથી પરંતુ ઓક્સિડેશન અથવા રિડક્શન પ્રક્રિયા માટે સપાટી પૂરી પાડે છે અને ઇલેક્ટ્રોનના વહનને અનુકૂળ કરે છે ઉદાહરણ તરીકે Pt નીચેના અર્ધકોષમાં વપરાય છે.





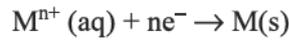
પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ ઘણા અગત્યના છે અને આપણે તેમાંથી ઘણી બધી ઉપયોગી માહિતી નિષ્કર્ષિત કરી શકીએ. કેટલીક પસંદ કરેલી અર્ધકોષ પ્રક્રિયા માટેના પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલના મૂલ્યો કોષ્ટક 3.1માં દર્શાવેલ છે. જો વિદ્યુતપ્રુવનો પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ શૂન્ય કરતાં વધારે હોય તો તેનું રિડક્શન પામેલું સ્વરૂપ હાઈડ્રોજન વાયુ કરતાં વધારે સ્થાયી છે. એ જ પ્રમાણે જો પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ ઋણ હોય તો હાઈડ્રોજન સ્પિસીઝના રિડક્શન પામેલા સ્વરૂપ કરતાં વધારે સ્થાયી છે, એ જોઈ શકાય છે કે ફ્લોરિનનો પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ કોષ્ટકમાં સૌથી ઊંચો છે જે સૂચવે છે, કે, ફ્લોરિન વાયુ (F<sub>2</sub>)ને ફ્લોરાઈડ આયન(F<sup>-</sup>)માં રિડક્શન પામવાનું મહત્તમ વલણ છે. તેથી જ ફ્લોરિન વાયુ સૌથી પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે અને ફ્લોરાઈડ આયન સૌથી નિર્બળ રિડક્શનકર્તા છે. લિથિયમને સૌથી ઓછો વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ છે જે સૂચવે છે કે લિથિયમ આયન સૌથી નિર્બળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે, જ્યારે, લિથિયમ ધાતુ જલીય દ્રાવણમાં સૌથી વધુ શક્તિશાળી રિડક્શનકર્તા છે. એ પણ જોઈ શકાય છે કે આપણે કોષ્ટક 3.1માં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ છીએ તેમ પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ ઘટે છે. આની સાથે પ્રક્રિયાની ડબીબાજુની સ્પિસીઝની ઓક્સિડેશનશક્તિ ઘટે છે. પ્રક્રિયાની જમણીબાજુની સ્પિસીઝની રિડક્શનશક્તિ વધે છે. વિદ્યુતરાસાયણિક કોષોનો વિશાળ પાયા પર ઉપયોગ, દ્રાવણની pH નક્કી કરવામાં, દ્રાવ્યતા ગુણાકાર, સંતુલન અચળાંક અને અન્ય ઉષ્માગતિકીય ગુણધર્મો અને પોટેન્શ્યોમેટ્રિક (વિભવમાપી) અનુમાપનોમાં પણ ઉપયોગી છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 3.1 તમે Mg<sup>2+</sup> / Mg પ્રણાલીનો પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ કેવી રીતે નક્કી કરશો ?
- 3.2 તમે ઝિંકના પાત્રમાં કૉપર સલ્ફેટનું દ્રાવણ ભરી રાખી શકો ?
- 3.3 પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ માટેના કોષ્ટકનો ઉપયોગ કરો અને એવા ત્રણ પદાર્થો સૂચવો જે યોગ્ય પરિસ્થિતિમાં ફેરસ આયનનું ઓક્સિડેશન કરી શકે ?

### 3.3 નર્સ્ટ સમીકરણ (Nernst Equation)

આપણે આગળના વિભાગમાં એમ ધાર્યું હતું કે વિદ્યુતપ્રુવ પ્રક્રિયામાં સમાવિષ્ટ સ્પિસીઝની સાંદ્રતા એક છે. આ હંમેશાં સાચું હોવું જરૂરી નથી. નર્સ્ટ (nernst) દર્શાવ્યું કે :



વિદ્યુતપ્રુવ પ્રક્રિયા માટે પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતપ્રુવના સંદર્ભમાં કોઈ પણ સાંદ્રતાએ વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલ માપી શકીએ.

$$E_{(\text{M}^{n+}/\text{M})} = E^{\circ}_{(\text{M}^{n+}/\text{M})} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{M}]}{[\text{M}^{n+}]}$$

પરંતુ ઘન પદાર્થની સાંદ્રતા M એક એકમ લઈએ છીએ અને તેથી આપણને મળશે.

$$E_{(\text{M}^{n+}/\text{M})} = E^{\circ}_{(\text{M}^{n+}/\text{M})} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{1}{[\text{M}^{n+}]} \quad (3.8)$$

E<sup>○</sup><sub>M<sup>n+</sup>/M</sub> ને આપણે વ્યાખ્યાયિત કરી ચૂક્યા છીએ R વાયુ અચળાંક (8.314 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>) છે. F ફેરડે અચળાંક (96487 C mol<sup>-1</sup>), T તાપમાન કેલ્વિનમાં અને [M<sup>n+</sup>] સ્પિસીઝ M<sup>n+</sup>ની સાંદ્રતા છે.

કોષ્ટક 3.1 : 298 K તાપમાને પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ

આયનો જલીય સ્પિસીઝ તરીકે હાજર છે અને H<sub>2</sub>O પ્રવાહી તરીકે, વાયુઓ અને ઘનને અનુક્રમે g અને s તરીકે દર્શાવ્યા છે.

પ્રક્રિયા (ઓક્સિડેશન પામેલું સ્વરૂપ + ne <sup>-</sup> )	→ રિડક્શન પામેલ સ્વરૂપ	E°/V
F <sub>2</sub> (g) + 2e <sup>-</sup>	→ 2F <sup>-</sup>	2.87
Co <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup>	→ Co <sup>2+</sup>	1.81
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ 2H <sub>2</sub> O	1.78
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 8H <sup>+</sup> + 5e <sup>-</sup>	→ Mn <sup>2+</sup> + 4H <sub>2</sub> O	1.51
Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	→ Au(s)	1.40
Cl <sub>2</sub> (g) + 2e <sup>-</sup>	→ 2Cl <sup>-</sup>	1.36
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> + 14H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup>	→ 2Cr <sup>3+</sup> + 7H <sub>2</sub> O	1.33
O <sub>2</sub> (g) + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup>	→ 2H <sub>2</sub> O	1.23
MnO <sub>2</sub> (s) + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Mn <sup>2+</sup> + 2H <sub>2</sub> O	1.23
Br <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup>	→ 2Br <sup>-</sup>	1.09
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup>	→ NO(g) + 2H <sub>2</sub> O	0.97
2Hg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	0.92
Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	→ Ag(s)	0.80
Fe <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup>	→ Fe <sup>2+</sup>	0.77
O <sub>2</sub> (g) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.68
I <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup>	→ 2I <sup>-</sup>	0.54
Cu <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	→ Cu(s)	0.52
Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Cu(s)	0.34
AgCl(s) + e <sup>-</sup>	→ Ag(s) + Cl <sup>-</sup>	0.22
AgBr(s) + e <sup>-</sup>	→ Ag(s) + Br <sup>-</sup>	0.10
2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ H <sub>2</sub> (g)	0.00
Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Pb(s)	-0.13
Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Sn(s)	-0.14
Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Ni(s)	-0.25
Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Fe(s)	-0.44
Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	→ Cr(s)	-0.74
Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Zn(s)	-0.76
2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup>	→ H <sub>2</sub> (g) + 2OH <sup>-</sup> (aq)	-0.83
Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	→ Al(s)	-1.66
Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Mg(s)	-2.36
Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	→ Na(s)	-2.71
Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	→ Ca(s)	-2.87
K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	→ K(s)	-2.93
Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	→ Li(s)	-3.05

ઓક્સિડેશનકર્તાની વધતી પ્રબળતા

રિડક્શનકર્તાની વધતી પ્રબળતા

1. ઋણ E°નો અર્થ થાય છે કે રેડોક્ષ યુગલ (couple) H<sup>+</sup>/H<sub>2</sub> યુગલ કરતાં વધારે પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે.
2. ધન E°ના અર્થ એમ થાય છે કે રેડોક્ષ યુગલ H<sup>+</sup>/H<sub>2</sub> યુગલ કરતાં વધારે નિર્બળ રિડક્શનકર્તા છે.

ડેનિયલ કોષમાં  $\text{Cu}^{2+}$  અને  $\text{Zn}^{2+}$  આયનની આપેલ કોઈ પણ સાંદ્રતા માટે વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ માટે લખી શકીએ.

કેથોડ માટે :

$$E_{(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})} = E_{(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})}^{\ominus} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})]} \quad (3.9)$$

એનોડ માટે :

$$E_{(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})} = E_{(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})}^{\ominus} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{[\text{Zn}^{2+}(\text{aq})]} \quad (3.10)$$

કોષ પોટેન્શિયલ  $E_{(\text{cell})} = E_{(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})} - E_{(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})}$

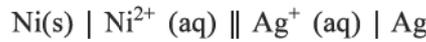
$$\begin{aligned} &= E_{(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})}^{\ominus} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})]} - E_{(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})}^{\ominus} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{[\text{Zn}^{2+}(\text{aq})]} \\ &= E_{(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})}^{\ominus} - E_{(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn})}^{\ominus} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})]} - \ln \frac{1}{[\text{Zn}^{2+}(\text{aq})]} \\ E_{(\text{cell})} &= E_{(\text{cell})}^{\ominus} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]} \quad (3.11) \end{aligned}$$

એ જોઈ શકાય છેકે  $E_{(\text{cell})}$  બંને  $\text{Cu}^{2+}$  અને  $\text{Zn}^{2+}$  આયનોની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે. તે  $\text{Cu}^{2+}$  આયનની સાંદ્રતામાં વધારા સાથે તથા  $\text{Zn}^{2+}$  આયનોની સાંદ્રતામાં ઘટાડા સાથે વધે છે.

સમીકરણ 3.11માં પ્રાકૃતિક લઘુગણક (natural logarithm)ને 10ના પાયામાં પરિવર્તિત કરતાં અને R, F ના મૂલ્યો અને  $T = 298 \text{ K}$  મૂકીએ તો તે લઘુસ્વરૂપ પ્રાપ્ત કરશે.

$$E_{(\text{cell})} = E_{(\text{cell})}^{\ominus} - \frac{0.059}{2} \log \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]} \quad (3.12)$$

આપણે બંને ધ્રુવો માટે સરખી સંખ્યાના ઇલેક્ટ્રોનનો (n) ઉપયોગ કરવો જોઈએ અને આથી નીચેના કોષ



માટે, કોષ પ્રક્રિયા  $\text{Ni}(\text{s}) + 2\text{Ag}^{+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2\text{Ag}(\text{s})$  છે.

નન્સ્ટ સમીકરણ આ પ્રમાણે લખી શકાય.

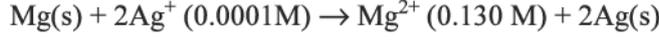
$$E_{(\text{cell})} = E_{(\text{cell})}^{\ominus} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{Ni}^{2+}]}{[\text{Ag}^{+}]^2}$$

અને  $a \text{ A} + b \text{ B} \xrightarrow{ne^{-}} c \text{ C} + d \text{ D}$  પ્રકારની સામાન્ય વિદ્યુતરાસાયણિક પ્રક્રિયા માટે, નન્સ્ટ સમીકરણ આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\begin{aligned} E_{(\text{cell})} &= E_{(\text{cell})}^{\ominus} - \frac{RT}{nF} \ln Q \\ &= E_{(\text{cell})}^{\ominus} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} \quad (3.13) \end{aligned}$$

### કોયડો 3.1

એ કોષ દર્શાવો જેમાં નીચેની પ્રક્રિયા થાય છે.



જો  $E_{(\text{cell})}^{\ominus} = 3.17\text{ V}$  હોય તો તેનો  $E_{(\text{cell})}$  ગણો.

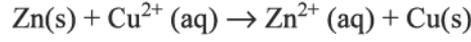
**ઉકેલ :**

કોષ આ પ્રમાણે લખી શકાય.  $\text{Mg}|\text{Mg}^{2+} (0.130\text{ M})||\text{Ag}^+ (0.0001\text{M})|\text{Ag}$

$$\begin{aligned} E_{(\text{cell})} &= E_{(\text{cell})}^{\ominus} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2} \\ &= 3.17\text{ V} - \frac{0.059\text{V}}{2} \log \frac{0.130}{(0.0001)^2} = 3.17\text{ V} - 0.21\text{V} = 2.96\text{ V}. \end{aligned}$$

### 3.3.1 નન્સ્ટ સમીકરણમાંથી સંતુલન અચળાંક (Equilibrium Constant from Nernst Equation)

ડેનિયલ કોષ (આકૃતિ 3.1)માં પ્રવાહ બંધ કરી દઈએ, તો આપણે નોંધી શકીએ કે પ્રક્રિયા



થાય છે અને જેમ સમય પસાર થાય છે તેમ  $\text{Zn}^{2+}$  આયનની સાંદ્રતા વધતી જાય છે અને  $\text{Cu}^{2+}$  આયનની સાંદ્રતા ઘટતી જાય છે. આ જ સમયે વોલ્ટમીટર પર કોષનો વોલ્ટેજ ઘટતો જાય છે. કેટલાક સમય પછી આપણે નોંધી શકીએ છીએ કે  $\text{Cu}^{2+}$  અને  $\text{Zn}^{2+}$  આયનની સાંદ્રતામાં ફેરફાર થતો નથી અને એ જ સમયે વોલ્ટમીટર શૂન્ય વાંચન દર્શાવે છે. આ સૂચવે છે કે સંતુલન પ્રાપ્ત થઈ ગયેલ છે. આ પરિસ્થિતિમાં નન્સ્ટ સમીકરણ આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$E_{(\text{cell})} = 0 = E_{(\text{cell})}^{\ominus} - \frac{2.303RT}{2F} \log \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

$$\text{અથવા } E_{(\text{cell})}^{\ominus} = \frac{2.303RT}{2F} \log \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

પરંતુ સંતુલને

$$\text{પ્રક્રિયા 3.1 માટે } \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]} = K_C \text{ થશે.}$$

અને  $T = 298\text{ K}$  તાપમાને ઉપરનું સમીકરણ આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$E_{(\text{cell})}^{\ominus} = \frac{0.059\text{V}}{2} \log K_C = 1.1\text{V} \quad (E_{(\text{cell})}^{\ominus} = 1.1\text{V})$$

$$\log K_C = \frac{(1.1\text{V} \times 2)}{0.059\text{ V}} = 37.288$$

$$298\text{ K તાપમાને } K_C = 2 \times 10^{37}$$

સામાન્ય રીતે

$$E_{(\text{cell})}^{\ominus} = \frac{2.303RT}{nF} \log K_C \quad (3.14)$$

આમ સમીકરણ (3.14) પ્રક્રિયાના સંતુલન અચળાંક અને જે કોષમાં પ્રક્રિયા થાય છે તેનો પ્રમાણિત વિદ્યુતપ્રેવ પોટેન્શિયલ છે. આમ પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક અન્ય રીતે માપવો મુશ્કેલ હોય ત્યારે કોષના અનુરૂપ  $E^{\ominus}$  મૂલ્યો પરથી ગણી શકાય છે.

### કોયડો 3.2



પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક ગણો.

$$E_{(\text{cell})}^{\ominus} = 0.46 \text{ V}$$

ઉકેલ :

$$E_{(\text{cell})}^{\ominus} = \frac{0.059\text{V}}{2} \log K_C = 0.46 \text{ V} \text{ અથવા}$$

$$\log K_C = \frac{0.46 \text{ V} \times 2}{0.059 \text{ V}} = 15.6$$

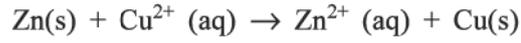
$$K_C = 3.92 \times 10^{15}$$

### 3.3.2 વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ અને પ્રક્રિયાની ગિબ્સઊર્જા (Electrochemical Cell and Gibbs Energy of the Reaction)

એક સેકન્ડમાં થયેલ વિદ્યુતીય કાર્ય વિદ્યુતીય પોટેન્શિયલ અને પસાર થયેલ કુલ વિદ્યુતભારના ગુણાકાર બરાબર છે. જો આપણે ગેલ્વેનિક કોષમાંથી મહત્તમ કાર્ય મેળવવું હોય, તો વિદ્યુતભાર પ્રતિવર્તી રીતે પસાર કરવો જોઈએ. ગેલ્વેનિક કોષ દ્વારા થયેલું પ્રતિવર્તીય કાર્ય તેની ગિબ્સ-ઊર્જામાં ઘટાડા બરાબર થાય છે અને આથી ધારો કે કોષનો ઈ.એમ.એફ  $E$  હોય અને  $nF$  પસાર કરેલ વિદ્યુતભાર હોય, તો  $\Delta_r G$  પ્રક્રિયાની ગિબ્સ-ઊર્જા છે. આથી,

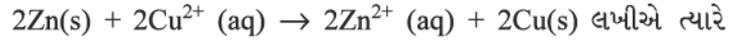
$$\Delta_r G = -nFE_{(\text{cell})} \quad (3.15)$$

એ યાદ રાખવું જોઈએ કે  $E_{(\text{cell})}$  ગહન (intensive) પરિબળ છે. પરંતુ  $\Delta_r G$  માત્રાત્મક ઉષ્માગતિમય ગુણધર્મ છે અને તેનું મૂલ્ય  $n$  પર આધારિત છે. આથી આપણે પ્રક્રિયા લખીએ કે,



$$\Delta_r G = -2FE_{(\text{cell})}$$

પણ આપણે જ્યારે પ્રક્રિયા



$$\Delta_r G = -4FE_{(\text{cell})}$$

જો બધી જ પ્રક્રિયા કરતી સ્પિસીઝની સાંદ્રતા એક હોય તો,  $E_{(\text{cell})} = E_{(\text{cell})}^{\ominus}$  અને આપણને મળશે.

$$\Delta_r G^{\ominus} = -nFE_{(\text{cell})}^{\ominus} \quad (3.16)$$

આમ  $E_{(\text{cell})}^{\ominus}$  ના માપન પરથી આપણે અગત્યની ઉષ્માગતિકીય રાશિ પ્રક્રિયા માટેની પ્રમાણિત ગિબ્સ-ઊર્જા  $\Delta_r G^{\ominus}$  મેળવી શકીએ.  $\Delta_r G^{\ominus}$  ના મૂલ્ય પરથી નીચેના સમીકરણથી સંતુલન અચળાંક ગણી શકીએ.

$$\Delta_r G^{\ominus} = -RT \ln K.$$

### કોયડો 3.3

ડેનિયલ કોષ માટે પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ 1.1 V છે.  $\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$  પ્રક્રિયા માટે પ્રમાણિત ગિબ્સ-ઊર્જા ગણો.

ઉકેલ :

$$\Delta_r G^{\ominus} = -nFE_{(\text{cell})}^{\ominus}$$

ઉપરની પ્રક્રિયામાં  $n = 2$  છે.  $F = 96487 \text{ C mol}^{-1}$  અને  $E_{(\text{cell})}^{\ominus} = 1.1 \text{ V}$

આથી,  $\Delta_r G^{\ominus} = -2 \times 1.1 \text{ V} \times 96487 \text{ C mol}^{-1}$

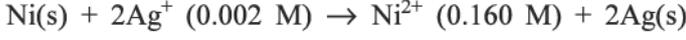
$$= -21227 \text{ J mol}^{-1}$$

$$= -21.227 \text{ kJ mol}^{-1}$$

### લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

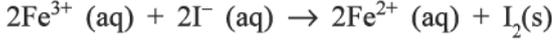
3.4 pH = 10 વાળા દ્રાવણ સાથે સંપર્કમાં રહેલા હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવનો પોટેન્શિયલ ગણો.

3.5 નીચેની પ્રક્રિયા થતી હોય તેવા કોષનો ઇ.એમ.એફ. ગણો.



$$E_{(\text{cell})}^{\ominus} = 1.05 \text{ V આપેલ છે.}$$

3.6 એક કોષ જેમાં નીચેની પ્રક્રિયા થાય છે.



298 K તાપમાને તેનો  $E_{(\text{cell})}^{\ominus} = 0.236 \text{ V}$  છે. કોષ પ્રક્રિયાની પ્રમાણિત ગિબ્સ-ઊર્જા અને સંતુલન અચળાંક ગણો.

### 3.4 વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણોની વાહકતા (Conductance of Electrolytic Solutions)

વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણોમાંથી વિદ્યુતની વાહકતાના અભ્યાસ પહેલાં આપણે કેટલાક પર્યાયોને વ્યાખ્યાયિત કરવા જરૂરી છે. વિદ્યુતીય અવરોધને સંજ્ઞા 'R' વડે દર્શાવાય છે અને તે ઓહ્મ (ohm) ( $\Omega$ )માં મપાય છે. જે SI પાયાના એકમોમાં ( $\text{kg m}^2 / (\text{S}^3 \text{ A}^2)$ ) બરાબર છે. તેને વ્હીટસ્ટોન બ્રિજ (Wheatstone bridge) જેના વિષે તમે ભૌતિકવિજ્ઞાનના અભ્યાસથી પરિચિત છો તેના વડે માપી શકાય છે. કોઈ પણ પદાર્થનો વિદ્યુતીય અવરોધ (R) તેની લંબાઈના (l) સમપ્રમાણમાં અને તેના આડછેદ (A)ના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. એટલે કે,

$$R \propto \frac{l}{A} \text{ અથવા } R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.17)$$

સમપ્રમાણતાનો અચળાંક  $\rho$  ને (ગ્રીક શબ્દ ર્હો(rho)) પ્રતિરોધકતા (resistivity) (વિશિષ્ટ અવરોધ) કહે છે. તેના SI એકમ ohm metre ( $\Omega \text{ m}$ ) અને ઘણી વાર તેનો ઉપગુણક ohm centimetre ( $\Omega \text{ cm}$ ) પણ વપરાય છે. IUPAC વિશિષ્ટ અવરોધને બદલે પ્રતિરોધકતાની ભલામણ કરે છે અને તેથી આ પુસ્તકમાં બાકીના સ્થળોએ પ્રતિરોધકતા પર્યાયનો ઉપયોગ કરીશું. ભૌતિક રીતે, પદાર્થની અવરોધકતા તે તેનો અવરોધ છે, જ્યારે તે એક મીટર લાંબો હોય અને તેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ એક  $\text{m}^2$  હોય છે. એ જોઈ શકાય છે કે,

$$1 \Omega \text{ m} = 100 \Omega \text{ cm} \text{ અથવા } 1 \Omega \text{ cm} = 0.01 \Omega \text{ m}$$

અવરોધના વ્યસ્ત(inverse)ને વાહકતા G કહે છે અને આપણને સંબંધ મળશે કે,

$$G = \frac{l}{R} = \frac{A}{\rho l} = \kappa \frac{A}{l} \quad (3.18)$$

વાહકતાનો SI એકમ સીમેન્સ (siemens) છે. જે સંજ્ઞા S વડે દર્શાવાય છે અને તે  $\text{ohm}^{-1}$  બરાબર થાય છે તે mho અથવા  $\Omega^{-1}$  વડે પણ ઓળખાય છે. પ્રતિરોધકતાના વ્યસ્તને વાહકતા (વિશિષ્ટ વાહકતા) કહે છે જેને સંજ્ઞા  $\kappa$  (ગ્રીક કાપ્પા-kappa) કહે છે. IUPACએ વિશિષ્ટ વાહકતાને બદલે વાહકતા પર્યાયની ભલામણ કરેલ છે અને તેથી આપણે આ પુસ્તકના શેષ ભાગમાં વાહકતા પર્યાયનો ઉપયોગ કરીશું. વાહકતાનો SI એકમ  $\text{Sm}^{-1}$  છે પણ ઘણી વાર  $\kappa$  ને  $\text{Scm}^{-1}$  તરીકે અભિવ્યક્ત કરે છે. કોઈ પદાર્થની વાહકતા  $\text{Sm}^{-1}$ માં ત્યારે હોય છે જ્યારે તેની લંબાઈ 1 m અને તેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ  $1\text{m}^2$  હોય છે. એ નોંધવું જોઈએ કે  $1 \text{ Scm}^{-1} = 100 \text{ Sm}^{-1}$

કોષ્ટક 3.2 : 298.15 K તાપમાને પસંદ કરેલા કેટલાક પદાર્થોની વાહકતાના મૂલ્યો

પદાર્થ	વાહકતા $\text{Sm}^{-1}$	પદાર્થ	વાહકતા $\text{Sm}^{-1}$
વાહકો		જલીય દ્રાવણો	
સોડિયમ	$2.1 \times 10^3$	શુદ્ધ પાણી	$3.5 \times 10^{-5}$
કોપર	$5.9 \times 10^3$	0.1 M HCl	3.91
સિલ્વર	$6.2 \times 10^3$	0.01 M KCl	0.14
ગોલ્ડ	$4.5 \times 10^3$	0.01 M NaCl	0.12
આયર્ન	$1.0 \times 10^3$	0.1 M HAc	0.047
ગ્રેફાઇટ	$1.2 \times 10$	0.01 M HAc	0.016
અવાહકો		અર્ધવાહકો	
કાચ	$1.0 \times 10^{-16}$	CuO	$1 \times 10^{-7}$
ટેફ્લોન	$1.0 \times 10^{-18}$	Si	$1.5 \times 10^{-2}$
		Ge	2.0

કોષ્ટક 3.2 પરથી જોઈ શકાય છે કે વાહકતાની માત્રા વિશાળ પ્રમાણમાં ચલિત થાય છે અને તે પદાર્થના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખે છે. વળી તે તાપમાન અને દબાણ કે જ્યારે માપન કરવામાં આવેલ છે તેના પર પણ આધાર રાખે છે. પદાર્થોને તેમની વાહકતાના માત્રાના આધારે, વાહકો, અવાહકો તથા અર્ધવાહકો તરીકે વર્ગીકૃત કરવામાં આવ્યા છે. ધાતુઓ અને તેમની મિશ્રધાતુઓની વાહકતા ઘણી જ વધારે હોય છે અને તેઓ વાહક તરીકે ઓળખાય છે. કેટલીક અધાતુઓ જેવી કે કાર્બન બ્લેક, ગ્રેફાઇટ અને કેટલાક કાર્બનિક પોલિમર\* પણ ઇલેક્ટ્રોનીય વાહક છે. કાચ, સિરેમિક વગેરે પદાર્થો જેમને ઘણી ઓછી વાહકતા હોય છે તે અવાહકો તરીકે ઓળખાય છે. સિલિકોન, ડોપિંગ કરેલ સિલિકોન અને ગેલિયમ આર્સેનાઇડ જેમની વાહકતા વાહકો અને અવાહકોની વચ્ચે હોય છે તેમને અર્ધવાહકો કહે છે અને તે ઉપયોગી ઇલેક્ટ્રોનીય પદાર્થો છે. કેટલાંક પદાર્થો જેમને વ્યાખ્યા પ્રમાણે અતિવાહકો કહે છે તેમની પ્રતિરોધકતા શૂન્ય હોય છે અથવા અનંત વાહકતા હોય છે. અગાઉ ધાતુઓ અને તેમની મિશ્રધાતુઓ ઘણા નીચા તાપમાને (0થી 15 K) અતિવાહકો તરીકે જાણીતા હતા પરંતુ હવે અસંખ્ય સિરેમિક પદાર્થો અને મિશ્ર ઓક્સાઇડ 150 K જેટલા ઊંચા તાપમાને અતિવાહકતા દર્શાવે છે.

ધાતુઓ દ્વારા વિદ્યુતીય વાહકતાને ધાત્વીય અથવા ઇલેક્ટ્રોનીય વાહકતા કહે છે અને તે ઇલેક્ટ્રોનના સંચલન(movement)ને લીધે હોય છે. ઇલેક્ટ્રોનીય વાહકતા નીચેના પર આધાર રાખે છે.

- ધાતુનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) અને બંધારણ
- સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા પ્રતિ પરમાણુ
- તાપમાન (તે તાપમાનના વધારા સાથે ઘટે છે.)

\* ઇલેક્ટ્રોનીય વાહકતાવાળા પોલિમર-1977માં મેક ડાયમીડ (Mac Diamid), હીજર (Heeger) અને શીરાકાવા (Shirakawa) એ શોધી કાઢ્યું કે એસિટિલીનનું પોલિમરાઇઝેશન (બહુલીકરણ) કરીને પોલિએસિટિલીન તરીકે ઓળખાતો પોલિમર જ્યારે આયોડિનની બાષ્પમાં રાખવામાં (exposed) આવે છે. ત્યારે ધાત્વીય ચળકાટ અને વાહકતા પ્રાપ્ત કરે છે. ત્યારબાદ ઘણા કાર્બનિક વાહક પોલિમર જેવા કે પોલિએનીલીન, પોલિપાયરોલ અને પોલિથાયોફિન બનાવાયા છે. આ કાર્બનિક ધાતુઓ સૂંપણપણે કાર્બન, હાઇડ્રોજન અને પ્રસંગોપાત નાઇટ્રોજન ઓક્સિજન અથવા સલ્ફરના બનેલા હોય છે તે સામાન્ય ધાતુઓ કરતાં ઘણા હલકાં હોય છે અને તેમનો ઉપયોગ હલકા વજનની બેટરી બનાવવામાં થાય છે. વળી, તેમનો પોલિમરના યાંત્રિક ગુણધર્મો જેવાં કે લચક (નમ્યતા) તેથી ઇલેક્ટ્રોનીય ઉપકરણો જેવાં કે ટ્રાન્ઝિસ્ટર, જે પ્લાસ્ટિકની જેમ વાળી શકાય છે તે પણ બનાવી શકાય. વાહકતા પોલિમરની શોધ માટે મેક ડાયમીડ, હીજર અને શીરાકોવાને 2000માં રસાયણવિજ્ઞાનનું નોબેલ પારિતોષિક પુરસ્કૃત કરવામાં આવેલું.

ઈલેક્ટ્રોન એક છેડેથી દાખલ થઈને બીજા છેડેથી બહાર નીકળી જાય છે તેથી ધાત્વીય વાહકતાનું સંઘટન બદલાયા વગરનું રહે છે. અર્ધવાહકમાંથી વાહકતાની ક્રિયાવિધિ ઘણી જ જટિલ છે.

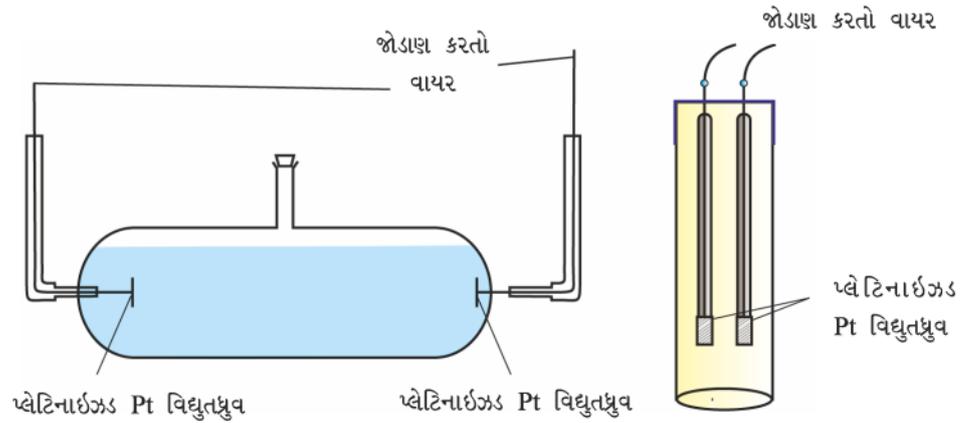
આપણે એ જાણીએ જ છીએ (ધોરણ XI, એકમ 7) કે અતિશુદ્ધ પાણીમાં પણ ઓછા પ્રમાણમાં હાઈડ્રોજન અને હાઈડ્રોક્સિલ આયન ( $\sim 10^{-7} M$ ) હોય છે જે તેને ઘણી ઓછી વાહકતા ઉછીની (lend) આપે છે ( $3.5 \times 10^{-5} S m^{-1}$ ). જ્યારે વિદ્યુત વિભાજ્યને પાણીમાં ઓગાળવામાં આવે છે ત્યારે તેઓ તેમના પોતાના આયનો દ્રાવણને પૂરા પાડે છે અને તેથી તેની વાહકતા વધે છે. દ્રાવણમાં હાજર આયનો વડે વિદ્યુતના વહનને વિદ્યુત વિભાજનીય અથવા આયનીય વાહકતા કહેવામાં આવે છે. વિદ્યુતવિભાજ્ય (આયનીય) વાહકતા નીચેના પર આધાર રાખે છે.

- ઉમેરેલા વિદ્યુતવિભાજ્યનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ)
- નીપજેલા આયનોનું કદ અને તેમનું દ્રાવકયોજન (solvation)
- દ્રાવકનો સ્વભાવ અને તેની સ્નિગ્ધતા
- વિદ્યુતવિભાજ્યની સાંદ્રતા
- તાપમાન (તે તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે.)

આયનીય દ્રાવણમાંથી સીધો (DC) વિદ્યુતપ્રવાહ લાંબા સમય માટે પસાર કરવામાં આવે તો વિદ્યુતરાસાયણિક પ્રક્રિયાને લીધે તેના સંઘટનના ફેરફાર તરફ દોરી જાય છે (વિભાગ 3.4.1).

### 3.4.1 આયનીય દ્રાવણોની વાહકતાનું માપન (Measurement of the Conductivity of Ionic Solutions)

આપણે જાણીએ છીએ કે અજ્ઞાત અવરોધનું ચોક્કસ માપન વ્હીટ્સ્ટોન બ્રિજની મદદથી કરી શકીએ છીએ. તેમ છતાં પણ, આયનીય દ્રાવણનો અવરોધ માપવામાં બે સમસ્યાનો સામનો કરવો પડે છે. પ્રથમ, સીધો પ્રવાહ (DC) પસાર કરવાથી દ્રાવણનું સંઘટન બદલાય છે. બીજું કે દ્રાવણને વ્હીટ્સ્ટોન બ્રિજ સાથે ધાત્વીય વાયર અથવા ઘન વાહકથી જોડી શકાતું નથી. પ્રથમ સમસ્યાનું નિરાકરણ શક્તિનો ઉલટસુલટ પ્રવાહ (AC) સ્રોત વાપરીને દૂર કરી શકાય છે. બીજી સમસ્યા ખાસ ડિઝાઇન કરેલું પાત્ર જેને વાહકતા કોષ કહે છે તેનો ઉપયોગ કરી ઉકેલી શકાય. તે ઘણી ડિઝાઇનમાં મળે છે અને બે સાદી ડિઝાઇન આકૃતિ 3.4માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 3.4 : બે જુદા જુદા પ્રકારના વાહકતા કોષો

મૂળભૂત રીતે તે બે પ્લેટિનમ ધ્રુવો જેના પર પ્લેટિનમ બ્લેકનું પડ હોય છે (સૂક્ષ્મ વિભાજિત ધાત્વીય Pt પર વિદ્યુતરાસાયણિક રીતે વિદ્યુતધ્રુવ પર નિક્ષેપિત કરેલ હોય છે.) તે આડછેદનું ક્ષેત્રફળ 'A' જેટલું અને વિદ્યુતધ્રુવો અંતર 'l' થી અલગ રાખેલ હોય છે. તેથી આ બંને વિદ્યુતધ્રુવો તેમની વચ્ચે રહેલું દ્રાવણ લંબાઈ 'l' અને આડછેદ ક્ષેત્રફળ 'A' ધરાવતા હોય છે. આવા કોલમમાં લંબાઈ l અને આડછેદ ક્ષેત્રફળ A થાય છે. દ્રાવણના આવા કોલમનો અવરોધ નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય :

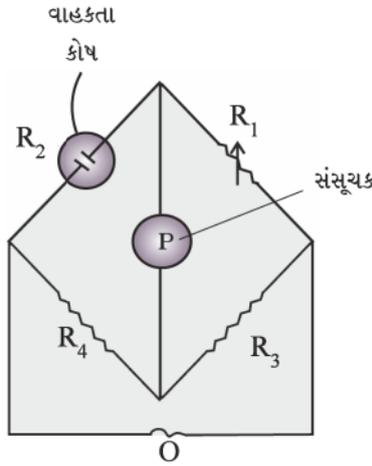
$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{l}{kA} \quad (3.17)$$

$\frac{l}{A}$  રાશિને કોષ અચળાંક કહે છે. અને તેને સંજ્ઞા  $G^*$  વડે દર્શાવાય છે. તેનો આધાર બંને ધ્રુવો વચ્ચેના અંતર અને તેમના આડછેદ ક્ષેત્રફળ પર રહે છે. તેના પરિમાણ લંબાઈ- $l$  હોય છે અને જો  $l$  અને  $A$  જાણતા હોઈએ તો ગણી શકાય.  $l$  અને  $A$ ના માપન સગવડ ભરેલા નથી એટલું જ નહિ પરંતુ અવિશ્વસનીય હોય છે. કોષ અચળાંકનું માપન સામાન્ય રીતે જેની વાહકતા જાણતા હોઈએ તેવું દ્રાવણ ધરાવતા કોષનો અવરોધ માપીને કરી શકીએ છીએ. આ હેતુ માટે સામાન્ય રીતે આપણે KClનું દ્રાવણ વાપરીએ છીએ જેની વાહકતા જુદી જુદી સાંદ્રતાએ અને જુદા જુદા તાપમાને ચોકસાઈપૂર્વક જાણીતી હોય છે (કોષ્ટક 3.3). કોષ અચળાંક  $G^*$  નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય.

$$G^* = \frac{l}{A} = R \kappa \quad (3.18)$$

કોષ્ટક 3.3 : 298.15 K તાપમાને KCl દ્રાવણોની વાહકતા અને મોલર વાહકતા

સાંદ્રતા /	મોલારિટી	વાહકતા		મોલર વાહકતા	
mol L <sup>-1</sup>	mol m <sup>-3</sup>	S cm <sup>-1</sup>	S m <sup>-1</sup>	S cm <sup>2</sup> mol <sup>-1</sup>	S m <sup>2</sup> mol <sup>-1</sup>
1.000	1000	0.1113	11.13	111.3	111.3 × 10 <sup>-4</sup>
0.100	100.0	0.0129	1.29	129.0	129.0 × 10 <sup>-4</sup>
0.010	10.00	0.00141	0.141	141.0	141.0 × 10 <sup>-4</sup>



આકૃતિ 3.5 : વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણનો અવરોધ નક્કી કરવા માટેની ગોઠવણ

એકવાર કોષ અચળાંક નક્કી થઈ જાય પછી આપણે તેનો ઉપયોગ કોઈ પણ દ્રાવણનો અવરોધ અથવા વાહકતા નક્કી કરવામાં કરી શકીએ. અવરોધના માપન માટેની ગોઠવણી આકૃતિ 3.5માં દર્શાવેલ છે.

તે બે અવરોધ  $R_3$  અને  $R_4$  ધરાવે છે, ચલ (variable) અવરોધ  $R_1$  અને વાહકતા કોષ જેનો અજ્ઞાત અવરોધ  $R_2$  છે. વ્હીટસ્ટોન બ્રિજને આંદોલક O વડે પુરવઠો પૂરો પાડવામાં આવે છે. (આંદોલક ઉલટસુલટ પ્રવાહ શક્તિ પ્રતિ સેકન્ડ 550થી 5000 સાયકલ્સ શ્રાવ્ય આવૃત્તિનો સ્ત્રોત). P યોગ્ય સંસૂચક(હેડફોન અથવા ઈલેક્ટ્રોનિક્સ ઉપકરણ) છે અને જ્યારે પ્રવાહ સંસૂચકમાંથી વહેતો હોતો નથી. બ્રિજને સમતોલિત કરવામાં આવે છે. ત્યારે આ પરિસ્થિતિમાં

$$\text{અજ્ઞાત અવરોધ } R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} \quad (3.19)$$

હાલના સમયમાં બહુ ખર્ચાળ નહિ તેવા વાહકતામીટર પ્રાપ્ય છે જે સીધા જ વાહકતા કોષમાંના દ્રાવણની વાહકતા અથવા અવરોધ વાંચે છે. એકવાર વાહકતા અચળાંક અને કોષમાંના દ્રાવણનો અવરોધ નક્કી કરવામાં આવે, તો દ્રાવણની વાહકતા નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય.

$$\kappa = \frac{\text{કોષ અચળાંક}}{R} = \frac{G^*}{R} \quad (3.20)$$

એક જ દ્રાવણમાં જુદા જુદા વિદ્યુતવિભાજ્યોના દ્રાવણો અને આપેલ તાપમાને વાહકતાના મૂલ્યો જુદા પડે છે. તેનું દ્રાવણ આયનના ભાર અને કદ જેમાં તે વિયોજિત

થાય છે. આયનની સાંદ્રતા અથવા આપેલ પોટેન્શિયલ દ્રવણતા હેઠળ આયન જેટલી સરળતાથી ધૂમે છે તે છે. આથી એ જરૂરી બને છે કે એક ભૌતિક દૃષ્ટિએ વધુ અર્થપૂર્ણ રાશિ જેને મોલર વાહકતા કહે છે અને સંજ્ઞા  $\Lambda_m$  (ગ્રીક, લામ્બડા) વડે દર્શાવાય છે તેને વ્યાખ્યાયિત કરીએ. તે દ્રાવણની વાહકતા સાથે નીચેના સમીકરણથી સંબંધિત છે.

$$\text{મોલર વાહકતા } \Lambda_m = \frac{\kappa}{c} \quad (3.21)$$

ઉપરના સમીકરણ  $\kappa$ ને  $\text{Sm}^{-1}$ માં દર્શાવાય છે અને સાંદ્રતા  $c$ ને  $\text{mol m}^{-3}$ માં દર્શાવાય છે. આથી  $\Lambda_m$ ના એકમ  $\text{Sm}^2 \text{mol}^{-1}$  થશે. એ નોંધવું જોઈએ કે  $1 \text{ mol m}^{-3} = 1000 (\text{L/m}^3) \times \text{મોલારિટી (mol/L)}$  અને તેથી

$$\Lambda_m (\text{Sm}^2 \text{mol}^{-1}) = \frac{\kappa (\text{Sm}^{-1})}{1000 \text{ L m}^{-3} \times \text{મોલારિટી (mol L}^{-1})}$$

જો આપણે  $k$  માટે એકમ  $\text{S cm}^{-1}$  અને સાંદ્રતાને માટે  $\text{mol cm}^{-3}$  એકમ વાપરીએ, તો  $\Lambda_m$ નો એકમ  $\text{Scm}^2 \text{mol}^{-1}$  થશે. તે નીચેનું સમીકરણ વાપરીને ગણી શકાય.

$$\Lambda_m (\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1}) = \frac{\kappa (\text{Scm}^{-1}) \times 1000 (\text{cm}^3 / \text{L})}{\text{મોલારિટી (mol / L)}}$$

સાહિત્યમાં બંને પ્રકારના એકમ વપરાય છે અને તેઓ એકબીજા સાથે નીચેના સમીકરણોથી સંબંધિત છે.

$$1 \text{ S m}^2 \text{mol}^{-1} = 10^4 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1} \text{ અથવા}$$

$$1 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1} = 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{mol}^{-1}$$

### કોયડો 3.4

0.1 mol L<sup>-1</sup> KCl દ્રાવણ ભરેલા એક વાહકતા કોષનો અવરોધ 100 Ω છે. તે જ કોષને જો 0.02 mol L<sup>-1</sup> KCl દ્રાવણ વડે ભરીએ તો અવરોધ 520 Ω છે. 0.02 M KCl દ્રાવણની વાહકતા અને મોલર વાહકતા ગણો. 0.1 mol L<sup>-1</sup> KCl દ્રાવણની વાહકતા 1.29 S/m છે.

### ઉકેલ :

કોષ અચળાંક આ સમીકરણથી આપી શકાય :

$$\text{કોષ અચળાંક} = G^* = \text{વાહકતા} \times \text{અવરોધ}$$

$$= 1.29 \text{ S/m} \times 100 \Omega = 129 \text{ m}^{-1} = 1.29 \text{ cm}^{-1}$$

0.02 mol L<sup>-1</sup> KCl દ્રાવણની વાહકતા = કોષ અચળાંક/ અવરોધ

$$= \frac{G^*}{R} = \frac{129 \text{ m}^{-1}}{520 \Omega} = 0.248 \text{ S m}^{-1}$$

$$\text{સાંદ્રતા } c = 0.02 \text{ mol L}^{-1}$$

$$= 1000 \times 0.02 \text{ mol m}^{-3}$$

$$= 20 \text{ mol m}^{-3}$$

$$\text{મોલર વાહકતા} = \Lambda_m = \frac{\kappa}{c}$$

$$= \frac{248 \times 10^{-3} \text{ S m}^{-1}}{20 \text{ mol m}^{-3}}$$

$$= 1.24 \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{mol}^{-1}$$

$$\text{વૈકલ્પિક રીતે, } \kappa = \frac{1.29 \text{ cm}^{-1}}{520 \Omega}$$

$$= 0.248 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$$

$$\begin{aligned}\text{અને } \Lambda_m &= \kappa \times 1000 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1} \text{ મોલારિટી}^{-1} \\ &= \frac{0.248 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1} \times 1000 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}}{0.02 \text{ mol L}^{-1}} \\ &= 124 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}\end{aligned}$$

**કોયડો 3.5** 1 cm વ્યાસ અને 50 cm લંબાઈના સ્તંભમાંના 0.05 mol L<sup>-1</sup> NaOH દ્રાવણનો અવરોધ 5.55 × 10<sup>3</sup> ohm છે, તો અવરોધકતા, વાહકતા અને મોલર વાહકતા ગણો.

**ઉકેલ :**  $A = \pi r^2 = 3.14 \times 0.5^2 \text{ cm}^2 = 0.785 \text{ cm}^2 = 0.785 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$l = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}R &= \frac{\rho l}{A} \text{ અથવા } \rho = \frac{RA}{l} = \frac{5.55 \times 10^3 \Omega \times 0.785 \text{ cm}^2}{50 \text{ cm}} \\ &= 87.135 \Omega \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{વાહકતા} &= \kappa = \frac{1}{\rho} = \left(\frac{1}{87.135}\right) \text{ S cm}^{-1} \\ &= 0.01148 \text{ S cm}^{-1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{મોલર વાહકતા } \Lambda_m &= \frac{\kappa \times 1000}{c} \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1} \\ &= \frac{0.01148 \text{ S cm}^{-1} \times 1000 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}}{0.05 \text{ mol L}^{-1}} \\ &= 229.6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}\end{aligned}$$

જો આપણે જુદી જુદી રાશિઓના મૂલ્યો 'cm' ને બદલે 'm'ના પર્યાયમાં ગણવા હોય તો,

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{RA}{l} \\ &= \frac{5.55 \times 10^3 \Omega \times 0.785 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{0.5 \text{ m}}\end{aligned}$$

$$= 87.135 \times 10^{-2} \Omega \text{ m}$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{100}{87.135} \Omega \text{ m} = 1.148 \text{ S m}^{-1}$$

$$\begin{aligned}\text{અને } \Lambda_m &= \frac{\kappa}{c} = \frac{1.148 \text{ S m}^{-1}}{50 \text{ mol m}^{-3}} \\ &= 229.6 \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}\end{aligned}$$

**3.4.2 વાહકતા અને મોલર વાહકતાનું સાંદ્રતા સાથે વિચરણ (Variation of Conductivity and Molar Conductivity with Concentration)**

વિદ્યુત વિભાજ્યની સાંદ્રતા સાથે વાહકતા અને મોલર વાહકતા બંને બદલાય છે. નિર્બળ અને પ્રબળ બંને વિદ્યુત વિભાજ્યો માટે સાંદ્રતાના ઘટાડા સાથે વાહકતા હંમેશાં ઘટે છે અને એ હકીકત વડે સમજાવી શકાય કે દ્રાવણનું મંદન કરતાં પ્રતિ એકમ કદમાં આયનોની સંખ્યા જે પ્રવાહને લઈ જાય છે તે ઘટે છે. કોઈ પણ આપેલ

સાંદ્રતાએ એકમ આડછેદ અને એક એકમ લંબાઈ રાખેલ પ્લેટિનમ ધ્રુવો વચ્ચે રાખેલા દ્રાવણની એકમ કદની વાહકતા હોય છે. આ નીચેના સમીકરણથી સ્પષ્ટ છે.

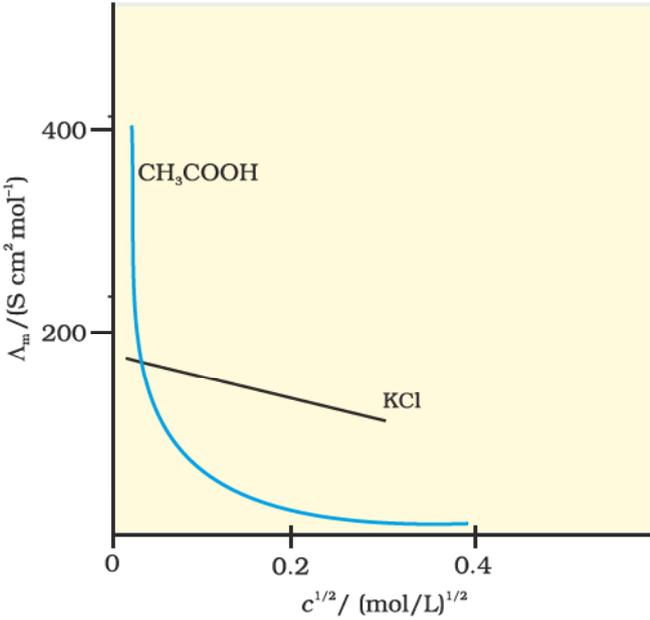
$$G = \frac{\kappa A}{l} = \kappa \quad (\text{બંને } A \text{ અને } l \text{ તેમના યોગ્ય એકમો } m \text{ કે } cm \text{ માં એક હોય છે.})$$

દ્રાવણની મોલર વાહકતા આપેલ સાંદ્રતાએ બે ધ્રુવો જેમના આડછેદ  $A$  અને  $l$  એકમ કદની લંબાઈના ધ્રુવો વચ્ચે રાખેલા કદ  $V$  જે એક મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવે છે તે છે. આથી,

$$\Lambda_m = \frac{\kappa A}{l} = \kappa$$

$$l = 1 \text{ અને } A = V \text{ (1 મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવતું કદ)}$$

$$\Lambda_m = \kappa V \quad (3.22)$$



આકૃતિ 3.6 : એસિટિક એસિડના (નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય) મોલર વાહકતા વિરુદ્ધ  $c^{1/2}$  આલેખ એસિટિક એસિડ (નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય) અને પોટેશિયમ ક્લોરાઇડ (પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યના પાણીમાં દ્રાવણ)

મોલર વાહકતા સાંદ્રતામાં ઘટાડા સાથે વધે છે આનું કારણ એ છે કે 1 મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવતા દ્રાવણનું કુલ કદ  $V$  પણ વધે છે. એ જણાવું છે કે દ્રાવણના મંદનને કારણે  $\kappa$ માં ઘટાડો તેના કદમાં થયેલા વધારાને સરભર કરતાં વધારે હોય છે. ભૌતિક રીતે, એનો અર્થ એમ થાય છે કે આપેલ સાંદ્રતાએ  $\Lambda_m$ ને વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય કે તે વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણની વાહકતા છે જેને વાહકતા કોષના બે ધ્રુવો વચ્ચે એકમ અંતરે રાખેલા પરંતુ એટલો મોટો આડછેદ કે દ્રાવણના પૂરતા કદને સમાવી શકે. જે 1 મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવે છે. જ્યારે સાંદ્રતા શૂન્ય તરફ જાય છે ત્યારે મોલર વાહકતા સીમિત મોલર વાહકતા તરીકે ઓળખાય છે અને તેને સંજ્ઞા  $\Lambda_m^0$  તરીકે દર્શાવાય છે. ચલની સાંદ્રતા સાથેના ફેરફાર પ્રબળ અને નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે અલગ હોય છે (આકૃતિ 3.6)

### પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યો

પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે  $\Lambda_m$  મંદન સાથે ધીરે ધીરે વધે છે અને તેને નીચેના સમીકરણથી રજૂ કરી શકાય.

$$\Lambda_m = \Lambda_m^0 - A c^{1/2} \quad (3.23)$$

એ જોઈ શકાય છે કે જો આપણે (આકૃતિ 3.6)  $\Lambda_m$  વિરુદ્ધ  $c^{1/2}$ નો આલેખ દોરીએ તો આપણને સીધી રેખા મળશે અને આંતરછેદ બરાબર  $\Lambda_m^0$  અને ઢાળ બરાબર  $-A$ . અચળાંક  $A$ નું મૂલ્ય આપેલ તાપમાન અને દ્રાવક માટે વિદ્યુતવિભાજ્યના પ્રકાર એટલે કે દ્રાવણમાં વિયોજિત થયેલા વિદ્યુતવિભાજ્યના ધન આયન અને ઋણ આયન પર આધાર રાખે છે. આમ  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  જે અનુક્રમે 1 - 1, 2 - 1 અથવા 2 - 2 પ્રકારના વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે ઓળખાય છે. કોઈ એક પ્રકારના બધા જ વિદ્યુતવિભાજ્યો માટે  $A$ નું મૂલ્ય સરખું હોય છે.

**કોયડો 3.6** 298 K તાપમાને KCl દ્રાવણની જુદી જુદી સાંદ્રતાની મોલર વાહકતા નીચે આપેલી છે.

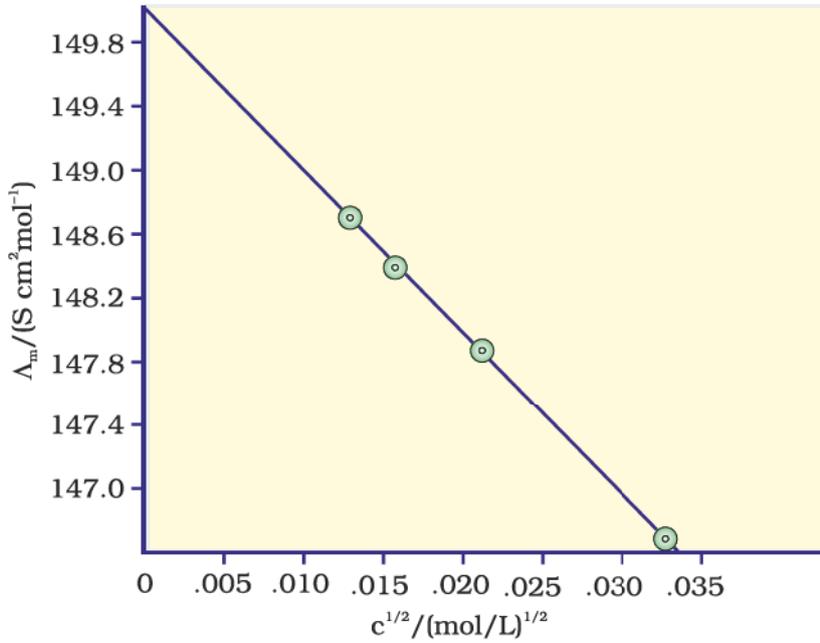
$c/\text{mol L}^{-1}$	$\Lambda_m/\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$
0.000198	148.61
0.000309	148.29
0.000521	147.81
0.000989	147.09

દર્શાવો કે  $\Lambda_m$  અને  $c^{1/2}$  વચ્ચેનો આલેખ સીધી રેખા છે. KCl માટે  $\Lambda_m^0$  અને  $A$ ના મૂલ્યો નક્કી કરો.

**ઉકેલ :** સાંદ્રતાનું વર્ગમૂળ લેતાં આપણને મળશે.

$c^{1/2} / (\text{mol L}^{-1})^{1/2}$	$\Lambda_m/\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$
0.01407	148.61
0.01758	148.29
0.02283	147.81
0.03145	147.09

$\Lambda_m$  (y - ધરી) અને  $c^{1/2}$  (x - ધરી) પરનો આલેખ આકૃતિ 3.7 માં દર્શાવેલ છે. એ જોઈ શકાય છે કે તે લગભગ સીધી રેખા છે. આંતરછેદ ( $c^{1/2} = 0$ ) પરથી આપણને મળશે.  $\Lambda_m^0 = 150.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  અને  $A = -$  ઢાળ  $= 87.46 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} / (\text{mol/L}^{-1})^{1/2}$



આકૃતિ 3.7 :  $\Lambda_m$  વિરુદ્ધ  $c^{1/2}$  નું વિચરણ

કોહલરોશે (Kohlrausch) ઘણા પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યોના  $\Lambda_m^0$  તપાસ્યા અને કેટલીક નિયમિતતા અવલોકિત કરી. તેમણે NaX અને KX જેવા વિદ્યુતવિભાજ્યો જેમાં X લગભગ અચળ છે. તેમના  $\Lambda_m^0$  ના મૂલ્યોમાં તફાવત નોંધ્યાં. ઉદાહરણ તરીકે 298 K તાપમાને

$$\begin{aligned}\Lambda_m^0(\text{KCl}) - \Lambda_m^0(\text{NaCl}) &= \Lambda_m^0(\text{KBr}) - \Lambda_m^0(\text{NaBr}) \\ &= \Lambda_m^0(\text{KI}) = \Lambda_m^0(\text{NaI}) \approx 23.4 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}\end{aligned}$$

અને તે જ પ્રમાણે શોધ્યું હતું કે,

$$\Lambda_m^0(\text{NaBr}) - \Lambda_m^0(\text{NaCl}) = \Lambda_m^0(\text{KBr}) - \Lambda_m^0(\text{KCl}) \approx 1.8 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

ઉપરના અવલોકનનો પરથી તેમણે આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમના કોહલરોશના નિયમનું સ્પષ્ટ નિરૂપણ (enunciation) કર્યું. આ નિયમ નિવેદિત કરે છે કે વિદ્યુતવિભાજ્યની સીમિત મોલર વાહકતાને વિદ્યુત વિભાજ્યના ધન આયન અને ઋણ આયનના વ્યક્તિગત ફાળાના સરવાળા બરાબર હોય છે. આમ, જો  $\lambda_{\text{Na}^+}^0$  અને  $\lambda_{\text{Cl}^-}^0$  અનુક્રમે સોડિયમ અને ક્લોરાઇડ આયનની સીમિત મોલર વાહકતા હોય તો સોડિયમ ક્લોરાઇડની મોલર વાહકતા નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય.

$$\Lambda_m^0(\text{NaCl}) = \lambda_{\text{Na}^+}^0 + \lambda_{\text{Cl}^-}^0 \quad (3.24)$$

સામાન્ય રીતે, જો કોઈ વિદ્યુતવિભાજ્ય વિયોજનને કારણે  $v_+$  ધનાયન અને  $v_-$  ઋણાયન આપતા હોય, તો તેની સીમિત મોલર વાહકતા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$\Lambda_m^0 = v_+ \lambda_+^0 + v_- \lambda_-^0 \quad (3.25)$$

અહીં  $\lambda_+^0$  અને  $\lambda_-^0$  અનુક્રમે ધનાયન અને ઋણાયનની સીમિત મોલર વાહકતા છે. 298 K તાપમાને કેટલાક ધનાયન અને ઋણાયનના  $\lambda^0$  ના મૂલ્યો કોષ્ટક 3.4માં આપ્યા છે.

કોષ્ટક 3.4 : 298 K તાપમાને કેટલાક આયનોની પાણીમાં સીમિત મોલર વાહકતા

આયન	$\lambda^0 / (\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1})$	આયન	$\lambda^0 / (\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1})$
H <sup>+</sup>	349.6	OH <sup>-</sup>	199.1
Na <sup>+</sup>	50.1	Cl <sup>-</sup>	76.3
K <sup>+</sup>	73.5	Br <sup>-</sup>	78.1
Ca <sup>2+</sup>	119.0	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	40.9
Mg <sup>2+</sup>	106.0	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	160.0

### નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યો

એસિટિક એસિડ જેવા નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યને ઊંચી સાંદ્રતાએ વિયોજન અંશ નીચાં હોય છે અને તેથી આવા વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે  $\Lambda_m$  માં મંદન સાથે ફેરફાર વિયોજન અંશના વધારાને કારણે હોય છે અને પરિણામરૂપે દ્રાવણમાં રહેલા કુલ કદ જે 1 mol વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવે છે. આવા કિસ્સામાં  $\Lambda_m$  તીવ્ર રીતે (steeply) (આકૃતિ 3.6) મંદન સાથે વધે છે અને તે પણ ખાસ કરીને નીચી સાંદ્રતાએ આથી  $\Lambda_m^0$  નું મૂલ્ય  $\Lambda_m$  ના મૂલ્યોને શૂન્ય સાંદ્રતાએ આંતરછેદ કરીને મેળવી શકાય નહિ. અનંત મંદને (એટલે કે સાંદ્રતા  $c \rightarrow 0$ ) વિદ્યુતવિભાજ્ય સંપૂર્ણપણે ( $\alpha = 1$ ) વિયોજિત થાય છે પરંતુ આટલી નીચી સાંદ્રતાએ આવા દ્રાવણોની વાહકતા એટલી ઓછી હોય છે કે ચોકસાઈપૂર્વક માપી શકાતી નથી. આથી, નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે  $\Lambda_m^0$  નું મૂલ્ય કોહલરોશના આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમન નિયમથી મેળવી શકાય છે (કોયડો 3.8). કોઈ પણ સાંદ્રતા  $c$  એ

જો  $\alpha$  વિયોજન અંશ હોય તો તેને તેની  $c$  સાંદ્રતાએ મોલર વાહકતા  $\Lambda_m$  અને સીમિત મોલર વાહકતા  $\Lambda_m^0$  ના ગુણોત્તર તરીકે સન્નિકટન કરી શકાય. આથી આપણને મળશે.

$$\alpha = \frac{\Lambda_m}{\Lambda_m^0} \quad (3.26)$$

પરંતુ આપણે જાણીએ છીએ કે એસિટિક એસિડ (ધોરણ XI એકમ 7) જેવા નિર્બળ વિદ્યુત વિભાજ્ય માટે

$$K_a = \frac{c\alpha^2}{(1-\alpha)} = \frac{c\Lambda_m^2}{\Lambda_m^0 \left(1 - \frac{\Lambda_m}{\Lambda_m^0}\right)} = \frac{c\Lambda_m^2}{\Lambda_m^0 (\Lambda_m^0 - \Lambda_m)} \quad (3.27)$$

*કોહલરોશ નિયમના અનુપ્રયોગો*

કોહલરોશનો આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમનનો ઉપયોગ કરીને એ શક્ય છે કે કોઈ વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે  $\Lambda_m^0$  નું મૂલ્ય વ્યક્તિગત આયનોના  $\lambda^0$  મૂલ્યો પરથી ગણી શકાય. વળી, એસિટિક એસિડ જેવા નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યનો વિયોજન અચળાંક જો  $\Lambda_m^0$  અને આપેલ સાંદ્રતાએ  $\Lambda_m$  ના મૂલ્યો પરથી ગણી શકાય.

### કોયડો 3.7

કોષ્ટક 3.4માં આપેલ માહિતી પરથી  $\text{CaCl}_2$  અને  $\text{MgSO}_4$  માટે  $\Lambda_m^0$  ગણો.

#### ઉકેલ :

આપણે કોહલરોશના નિયમ પરથી જાણીએ છીએ કે

$$\begin{aligned} \Lambda_m^0(\text{CaCl}_2) &= \lambda_{\text{Ca}^{2+}}^0 + 2\lambda_{\text{Cl}^-}^0 = 119.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} + 2(76.3) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ &= (119.0 + 152.6) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ &= 271.6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Lambda_m^0(\text{MgSO}_4) &= \lambda_{\text{Mg}^{2+}}^0 + \lambda_{\text{SO}_4^{2-}}^0 = 106.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} + 160.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ &= 266 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$

### કોયડો 3.8

$\text{NaCl}$ ,  $\text{HCl}$  અને  $\text{NaAc}$  ના  $\Lambda_m^0$  ના મૂલ્યો અનુક્રમે 126.4, 425.9 અને 91.0  $\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  છે.  $\text{HAc}$  માટે  $\Lambda^0$  ગણો.

#### ઉકેલ :

$$\begin{aligned} \Lambda_m^0(\text{HAc}) &= \lambda_{\text{H}^+}^0 + \lambda_{\text{Ac}^-}^0 = \lambda_{\text{H}^+}^0 + \lambda_{\text{Cl}^-}^0 + \lambda_{\text{Ac}^-}^0 + \lambda_{\text{Na}^+}^0 - \lambda_{\text{Cl}^-}^0 - \lambda_{\text{Na}^+}^0 \\ &= \Lambda_m^0(\text{HCl}) + \Lambda_m^0(\text{NaAc}) - \Lambda_m^0(\text{NaCl}) \\ &= (425.9 + 91.0 - 126.4) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ &= 390.5 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$

### કોયડો 3.9

$0.001028 \text{ mol L}^{-1}$  એસિટિક એસિડની વાહકતા  $4.95 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$  છે. જો એસિટિક એસિડ માટે  $\Lambda_m^0$   $390.5 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  હોય, તો તેનો વિયોજન અચળાંક ગણો.

#### ઉકેલ :

$$\Lambda_m = \frac{\kappa}{c} = \frac{4.95 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}}{0.001028 \text{ mol L}^{-1}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{L}} = 48.15 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

$$\alpha = \frac{\Lambda_m}{\Lambda_m^0} = \frac{48.15 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{390.5 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 0.1233$$

$$\kappa = \frac{c\alpha^2}{(1-\alpha)} = \frac{0.001028 \text{ mol L}^{-1} \times (0.1233)^2}{(1-0.1233)} = 1.78 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$$

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 3.7 દ્રાવણની વાહકતા મંદન સાથે શા માટે ઘટે છે ?
- 3.8 પાણી માટે  $\Lambda_m^0$  નું મૂલ્ય નક્કી કરવાનો માર્ગ સૂચવો.
- 3.9  $0.025 \text{ mol L}^{-1}$  મિથેનોઈક એસિડની મોલર વાહકતા  $46.1 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  છે. વિયોજન અંશ અને વિયોજન અચળાંક ગણો.  $\lambda^0(\text{H}^+) = 349.6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  અને  $\lambda^0(\text{HCOO}^-) = 54.6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  આપેલ છે.

### 3.5 વિદ્યુતવિભાજનીય કોષ અને વિદ્યુતવિભાજન (Electrolytic cell and Electrolysis)

વિદ્યુતવિભાજનીય કોષમાં બાહ્ય સ્ત્રોતના વોલ્ટેજનો ઉપયોગ રાસાયણિક પ્રક્રિયા કરવા માટે થાય છે. વિદ્યુતરાસાયણિક પ્રક્રિયા પ્રયોગશાળામાં તેમજ રાસાયણિક ઉદ્યોગમાં ખૂબ જ ઉપયોગી હોય છે. વિદ્યુતવિભાજ્ય કોષમાંનો સૌથી સાદો કોષ કોપર સલ્ફેટના જલીય દ્રાવણમાં ડૂબાડેલી બે કોપરની પટ્ટીઓ ધરાવે છે. જો બંને ધ્રુવોને સીધો પ્રવાહ (DC) લાગુ પાડવામાં આવે તો કેથોડ (ઋણભારિત) પર  $\text{Cu}^{2+}$  આયન વિસર્જિત થાય છે અને નીચે પ્રમાણેની પ્રક્રિયા થાય છે.



કેથોડ ઉપર કોપર ધાતુ નિક્ષેપિત થાય છે. એનોડ પર કોપર,  $\text{Cu}^{2+}$  આયનમાં નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે પરિવર્તિત થાય છે.



આમ કોપર એનોડ પર ઓગળે છે (ઓક્સિડેશન પામે છે) અને કેથોડ પર (રિડકશન પામે છે) નિક્ષેપિત થાય છે. આ ઔદ્યોગિક પ્રક્રિયા જેમાં અશુદ્ધ કોપર ઊંચી શુદ્ધતાવાળા કોપરમાં ફેરવાય છે તેનો આ પાયો (basis) છે. અશુદ્ધ કોપરને એનોડ બનાવવામાં આવે છે જે પ્રવાહ પસાર કરતાં ઓગળે છે અને શુદ્ધ કોપર કેથોડ પર નિક્ષેપિત થાય છે ઘણી ધાતુઓ જેવી કે Na, Mg, Al વગેરે વિદ્યુતરાસાયણિક તેમના અનુરૂપ આયનોનું રિડકશન કરીને વિશાળ પાયા પર પેદા કરવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિ કોઈ યોગ્ય રાસાયણિક રિડકશનકર્તા આ હેતુ માટે મળતો નથી ત્યારે ખૂબ ઉપયોગી છે.

સોડિયમ અને મેગ્નેશિયમ ધાતુ તેમના પિગલિત ક્લોરાઇડના અને એલ્યુમિનિયમ (ધોરણ XII એકમ 6) કાયોલાઈટની હાજરીમાં એલ્યુમિનિયમ ઓક્સાઈડના વિદ્યુતવિભાજનથી પેદા કરી શકાય છે.

**વિદ્યુતવિભાજનની જથ્થાત્મક (માત્રાત્મક) બાબતો**

માઈકલ ફેરાડે (Michael Faraday) સૌપ્રથમ વૈજ્ઞાનિક હતા, જેમણે વિદ્યુતવિભાજનની જથ્થાત્મક બાબતોનું વર્ણન કર્યું. અગાઉ જેની ચર્ચા કરી તેમાંથી હવે ફેરાડેના નિયમો તરીકે આવે છે.

**ફેરાડેના વિદ્યુત વિભાજનના નિયમો**

વિદ્યુતવિભાજનના દ્રાવણો અને વિદ્યુતવિભાજનના પિગલિત(melt)ના સઘન સંશોધન બાદ 1833-34માં ફેરાડેએ પરિણામોને ખૂબ જ જાણીતા ફેરાડેના વિદ્યુત વિભાજનના બે નિયમો સ્વરૂપે રજૂ કર્યા.

- પ્રથમ નિયમ :** પ્રવાહને કારણે વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન કોઈ પણ વિદ્યુતધ્રુવ પર થતી પ્રક્રિયાનો જથ્થો (amount) વિદ્યુતવિભાજનીય(દ્રાવણ અથવા પિગલિત)માંથી પસાર થતા વિદ્યુત જથ્થાને સમપ્રમાણ હોય છે.
- દ્વિતીય નિયમ :** વિદ્યુતવિભાજનીય દ્રાવણમાંથી વિદ્યુતનો સમાન જથ્થો પસાર કરતાં જુદા જુદા પદાર્થોમાંથી મુક્ત થયેલા જથ્થાઓ તેમના રાસાયણિક તુલ્યભારના (ધાતુનું પરમાણ્વીય દળ ÷ ધનાયનનું રિડકશન કરવા માટે જરૂરી ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા) સમપ્રમાણમાં હોય છે.

ફેરાડેના સમય દરમિયાન અચળ પ્રવાહના સ્રોત પ્રાપ્ય હતા નહિ. સામાન્ય રીત એ હતી કે કુલોમીટર (પ્રમાણિત વિદ્યુતવિભાજનીય કોષ) મૂકવામાં આવતું હતું. જે ધાતુના નિક્ષેપિત અથવા વપરાયેલા જથ્થામાંથી (સામાન્ય રીતે સિલ્વર અથવા કોપર) પસાર થતા વિદ્યુતપ્રવાહના જથ્થા પરથી ગણી શકાતું. હવે આ રીત લુપ્ત થઈ ગઈ છે અને હવે આપણી પાસે અચળ પ્રવાહ (I)ના સ્રોત પ્રાપ્ય છે અને પસાર થયેલ વિદ્યુતનો જથ્થો Q નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય છે.

$$Q = It$$

Q કુલંબમાં છે જ્યારે I એમ્પિયરમાં અને t સેકન્ડમાં છે.

ઓક્સિડેશન અથવા રિડક્શન માટે જરૂરી વિદ્યુતના જથ્થા (અથવા વીજભાર)નો આધાર વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાની તત્ત્વયોગમિતિ પર રહેલ છે. ઉદાહરણ તરીકે નીચેની પ્રક્રિયામાં



એક મોલ સિલ્વર આયનના રિડક્શન માટે એક મોલ ઇલેક્ટ્રોનની જરૂર પડે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે એક ઇલેક્ટ્રોન પર વીજભાર  $1.6021 \times 10^{-19}$  C છે.

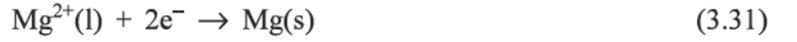
તેથી 1 મોલ ઇલેક્ટ્રોન પર વીજભાર બરાબર

$$N_A \times 1.6021 \times 10^{-19} \quad C = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 1.6021 \times 10^{-19}$$

$$C = 96487 \text{ C mol}^{-1}$$

વિદ્યુતના આ જથ્થાને ફેરાડે કહે છે અને તેને સંજ્ઞા F વડે દર્શાવવામાં આવે છે. ગણતરી માટે આપણે  $1F = 96500 \text{ C mol}^{-1}$ નો ઉપયોગ કરીએ છીએ.

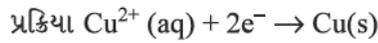
વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયા :



એ સ્પષ્ટ છે કે  $\text{Mg}^{2+}$  અને  $\text{Al}^{3+}$ ને અનુક્રમે 2 મોલ (2F) અને 3 મોલ ઇલેક્ટ્રોન (3F)ની જરૂર છે. વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન પસાર થતો વીજભાર વિદ્યુતપ્રવાહ એમ્પિયરમાં અને સમય સેકન્ડના ગુણાકાર બરાબર છે. ધાતુના વ્યાપારિક ઉત્પાદનમાં 50000 એમ્પિયર જેટલો ઊંચો પ્રવાહ ઉપયોગમાં લેવાય છે જે લગભગ 0.518 F પ્રતિ સેકન્ડ જેટલો થાય છે.

**કોયડો 3.10**  $\text{CuSO}_4$  નું દ્રાવણ 10 મિનિટ માટે 1.5 એમ્પિયર પ્રવાહ વડે વિદ્યુતવિભાજિત કરવામાં આવ્યું. કેથોડ પર નિક્ષેપિત થયેલ કોપરનું દળ કેટલું હશે ?

**ઉકેલ :**  $t = 600 \text{ s}$  વીજભાર = વિદ્યુત પ્રવાહ  $\times$  સમય =  $1.5 \text{ A} \times 600 \text{ s} = 900 \text{ C}$



પ્રમાણે, આપણને 1 mol અથવા 63 g Cu નિક્ષેપિત કરવા માટે 2F અથવા  $2 \times 96487 \text{ C}$ ની જરૂર પડશે.

$$900 \text{ C માટે નિક્ષેપિત થયેલ Cuનું દળ} = (63 \text{ g mol}^{-1} \times 900 \text{ C}) / (2 \times 96487 \text{ C mol}^{-1}) \\ = 0.2938 \text{ g}$$

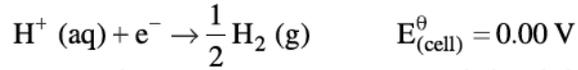
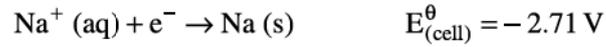
### 3.5.1 વિદ્યુતવિભાજનની નીપજો (Products of Electrolysis)

વિદ્યુતવિભાજનની નીપજોનો આધાર વિદ્યુતવિભાજિત પદાર્થના સ્વભાવ(પ્રકૃતિ) પર અને ઉપયોગ કરેલા વિદ્યુતધ્રુવો પર રહેલો છે. જો વિદ્યુતધ્રુવો નિષ્ક્રિય (દા.ત., પ્લેટિનમ અથવા ગોલ્ડ) હોય તો તે રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા નથી અને માત્ર ઇલેક્ટ્રોનના સ્રોત અથવા અપવાહિકા (sink) તરીકે કાર્ય કરે છે. બીજી તરફ જ્યારે વિદ્યુતધ્રુવ સક્રિય હોય ત્યારે વિદ્યુતધ્રુવીય પ્રક્રિયામાં ભાગ લે છે. આમ વિદ્યુતવિભાજનની નીપજ નિષ્ક્રિય અને સક્રિય વિદ્યુતધ્રુવો માટે અલગ હશે. વિદ્યુતવિભાજનની નીપજોનો આધાર

વિદ્યુતવિભાજનીય કોષમાં હાજર ઓક્સિડેશનકર્તા અથવા રિડક્શનકર્તા સ્પિસીઝ પર અને પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ પર રહેલો હોય છે. આ ઉપરાંત કેટલાક વિદ્યુતરાસાયણિક પ્રક્રમો શક્ય હોવા છતાં પણ નીચા વોલ્ટેજ ગતિકીય રીતે ધીમા હોય છે અને તે થતા હોય તેમ જણાતું નથી અને વધારાનો પોટેન્શિયલ (જેને ઓવર-પોટેન્શિયલ-અધિવિભવ કહે છે) લગાડવો પડે છે જેથી આવા પ્રક્રમોને થવા ઘણા જ મુશ્કેલ બને છે.

ઉદાહરણ તરીકે, આપણે પિગલિત NaClનો ઉપયોગ કરીએ તો વિદ્યુત વિભાજનની નીપજો સોડિયમ ધાતુ અને Cl<sub>2</sub> વાયુ છે. અહીંયા આપણી પાસે એક જ ધનાયન (Na<sup>+</sup>) છે જે કેથોડ પર રિડક્શન પામે છે (Na<sup>+</sup> + e<sup>-</sup> → Na) અને એક ઋણાયન (Cl<sup>-</sup>) જે એનોડ પર (Cl<sup>-</sup> →  $\frac{1}{2}$  Cl<sub>2</sub> + e<sup>-</sup>) ઓક્સિડેશન પામે છે. સોડિયમ ક્લોરાઇડના જલીય દ્રાવણના વિદ્યુત વિભાજન દરમિયાન નીપજો NaOH, Cl<sub>2</sub> અને H<sub>2</sub> મળે છે. આ કિસ્સામાં Na<sup>+</sup> અને Cl<sup>-</sup> આયન ઉપરાંત H<sup>+</sup> અને OH<sup>-</sup> આયન પણ દ્રાવકના અણુ H<sub>2</sub>Oની સાથે હાજર હોય છે.

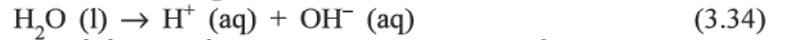
કેથોડ પર નીચેની રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ વચ્ચે હરીફાઈ થાય છે.



E<sup>θ</sup>ના વધારે મૂલ્ય ધરાવતી પ્રક્રિયા પસંદગી પામે છે અને તેથી વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન કેથોડ પર થતી પ્રક્રિયા છે.



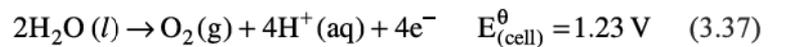
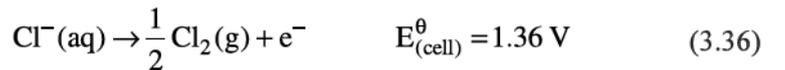
પરંતુ H<sup>+</sup> (aq), H<sub>2</sub>Oના વિયોજનથી નીપજે છે એટલે કે



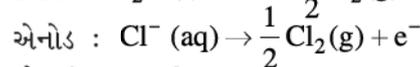
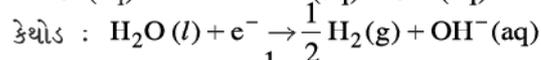
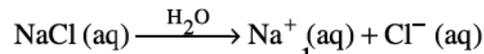
આથી કેથોડ પર ચોખ્ખી (net) પ્રક્રિયા (3.33) અને (3.34)ના સરવાળા બરાબર થશે. આથી આપણને મળશે.



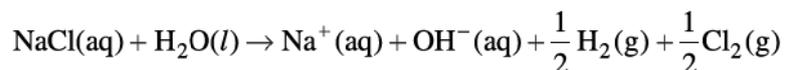
એનોડ પર, નીચેની ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાઓ શક્ય છે.



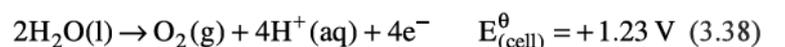
E<sup>θ</sup>નું નીચું મૂલ્ય ધરાવતી પ્રક્રિયા એનોડ પર પસંદગી પામશે અને તેથી Cl<sup>-</sup>ની પ્રક્રિયાને બદલે પાણીનું ઓક્સિડેશન થવું જોઈએ. ઓક્સિજનના ઓવરપોટેન્શિયલને કારણે પ્રક્રિયા (3.36) પસંદગી પામશે. આમ ચોખ્ખી પ્રક્રિયાનો નીચે પ્રમાણે ઉપસંહાર કહી શકાય.

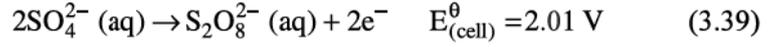


ચોખ્ખી(net) પ્રક્રિયા



પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલને સાંદ્રતાની અસર થતી હોવાને લીધે નર્સ્ટ સમીકરણ (3.8) પ્રમાણે પોટેન્શિયલ વડે વિસ્થાપિત કરવો પડે છે. સલ્ફ્યુરિક એસિડના વિદ્યુત વિભાજન દરમિયાન, એનોડ પર નીચેની પ્રક્રિયાઓ શકાય છે.





મંદ સલ્ફ્યુરિક એસિડ માટે પ્રક્રિયા (3.38) પસંદગી પામે છે. પરંતુ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ની ઊંચી સાંદ્રતાએ પ્રક્રિયા (3.39) પસંદગી પામે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 3.10 જો 0.5 એમ્પિયર પ્રવાહ ધાત્વીય તારમાંથી 2 કલાક માટે વહે છે, તો તારમાંથી કેટલા ઇલેક્ટ્રોન વહી ગયા હશે ?
- 3.11 ધાતુઓ જેનું વિદ્યુતવિભાજન રીતથી નિષ્કર્ષણ થાય છે તેની યાદી સૂચવો.
- 3.12  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$  પ્રક્રિયાને ધ્યાનમાં લો. 1 mol  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  નું રિડક્શન કરવા માટે વિદ્યુતનો કેટલો જથ્થો ઇલેક્ટ્રોનના પર્યાયમાં જરૂરી પડશે ?

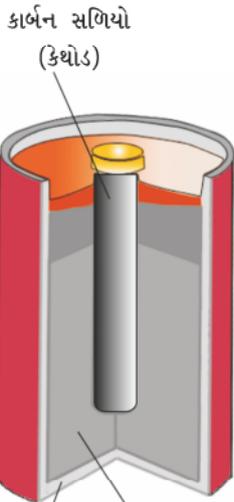
### 3.6 બેટરી (Batteries)

કોઈ પણ બેટરી (ખરેખર તો તેમાં એક અથવા વધારે કોષ શ્રેણીમાં જોડેલા હોય છે) અથવા કોષ જેનો આપણે વિદ્યુતીય ઊર્જા માટે સ્રોત તરીકે ઉપયોગ કરીએ છીએ તે મૂળભૂત રીતે તો ગેલ્વેનિક કોષ છે જેમાં રેડોક્ષ પ્રક્રિયાની રાસાયણિક ઊર્જાને વિદ્યુતીય ઊર્જામાં પરિવર્તિત કરીએ છીએ તેમ છતાં બેટરીના પ્રાયોગિક ઉપયોગ માટે તે શક્ય તેટલી હલકી, નક્કર (compact) અને તેનો વોલ્ટેજ વપરાશ દરમિયાન નોંધપાત્ર રીતે બદલાવો જોઈએ નહિ. મુખ્યત્વે બે પ્રકારની બેટરી હોય છે.

#### 3.6.1 પ્રાથમિક બેટરી

#### (Primary Batteries)

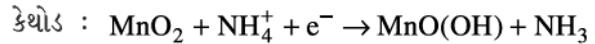
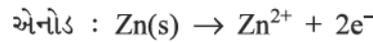
પ્રાથમિક બેટરીમાં પ્રક્રિયા માત્ર એક જ વખત થાય છે અને કેટલાક સમયના ઉપયોગ પછી બેટરી મૃત થઈ જાય છે અને તેને ફરી વાપરી શકાતી નથી. આ પ્રકારની ખૂબ જ જાણીતી બેટરીમાં સૂકો કોષ (લેકલાંશે કોષ - તેના શોધકના નામ પરથી



કાર્બન સળિયો (કેથોડ)  
ઝિંક કપ (એનોડ)  
 $\text{MnO}_2$  + કાર્બન બ્લેક +  $\text{NH}_4\text{Cl}$  લૂગદી

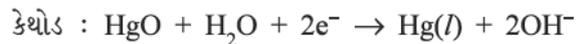
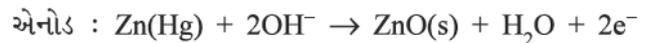
આકૃતિ 3.8 : વ્યાપારિક સૂકા કોષમાં ગ્રેફાઈટ (કાર્બન) કેથોડ, ઝિંકના પાત્રમાં હોય છે અને ઝિંકનું પાત્ર એનોડ તરીકે વર્તે છે.

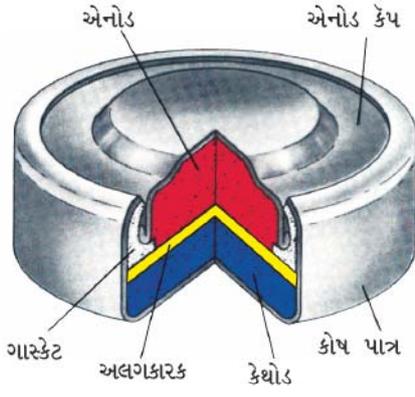
પણ કહેવાય છે) છે જે સામાન્ય રીતે ટ્રાન્ઝિસ્ટર અને ઘડિયાળમાં વપરાય છે કોષ ઝિંકનું પાત્ર ધરાવે છે જે એનોડ તરીકે કાર્ય કરે છે અને કેથોડ કાર્બન(ગ્રેફાઈટ)નો સળિયો હોય છે જેની આજુબાજુ પાઉડર કરેલો મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઈડ અને કાર્બન (આકૃતિ 3.8) વિદ્યુતધ્રુવોની વચ્ચેની જગ્યામાં એમોનિયમ ક્લોરાઈડ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) અને ઝિંક ક્લોરાઈડ ( $\text{ZnCl}_2$ )ની ભીની લૂગદી (paste) ભરેલી હોય છે. વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાઓ જટિલ છે. પરંતુ તેમને લગભગ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય.



પ્રક્રિયામાં કેથોડ પર મેંગેનીઝ + 4 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાંથી +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં રિડક્શન પામે છે. પ્રક્રિયામાં ઉત્પન્ન થયેલા એમોનિયા,  $\text{Zn}^{2+}$  આયન સાથે  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  સંકીર્ણ આપે છે. આ કોષનો પોટેન્શિયલ લગભગ 1.5 V હોય છે.

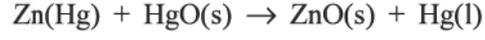
મરક્યુરિ કોષ (આકૃતિ 3.9) જે નિમ્ન પ્રવાહ ઉપકરણ જેવાં કે સાંભળવાનાં સાધનો (aids), ઘડિયાળો વગેરે માટે યોગ્ય છે તે ઝિંકનો મરક્યુરિ સાથેનો સંરસ એનોડ તરીકે અને  $\text{HgO}$  અને કાર્બનની લૂગદી કેથોડ તરીકે ધરાવે છે. વિદ્યુતવિભાજ્ય  $\text{KOH}$  અને  $\text{ZnO}$ ની લૂગદી હોય છે. વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાઓ નીચે આપેલી છે.





આકૃતિ 3.9 : સામાન્ય રીતે વપરાતો મરક્યુરિ કોષ રિડક્શનકર્તા ઝિંક છે અને ઓક્સિડેશનકર્તા મરક્યુરિ (II) ઓક્સાઇડ છે.

એકંદરે પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

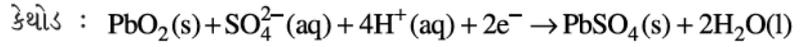
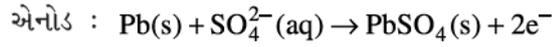


કોષ પોટેન્શિયલ લગભગ 1.35 V છે અને તેના આવરદા દરમિયાન તે અચળ રહે છે. કારણ કે એકંદરે પ્રક્રિયા કોઈ પણ આયનને કોષના આવરદા દ્રાવણમાં સમાવિષ્ટ કરતાં નથી.

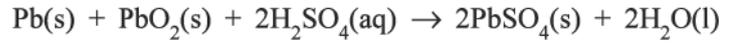
### 3.6.2 દ્વિતીયક કોષ (Secondary Batteries)

દ્વિતીયક કોષનો ઉપયોગ કર્યા પછી તેનાથી વિરુદ્ધ દિશામાં પ્રવાહ પસાર કરીને ફરી પુનર્જિવિત (Recharge) કરી શકાય છે. જેથી તેનો ફરી ઉપયોગ થઈ શકે. સારો દ્વિતીયક કોષ ઘણી બધી ડિસચાર્જિંગ અને ચાર્જિંગ પ્રક્રિયાઓ કરે છે. સૌથી અગત્યનો દ્વિતીયક કોષ લેડ સંગ્રાહક બેટરી (આકૃતિ 3.10) ઓટોમોબાઇલ અને ઈન્વર્ટર્સ(પરિવર્તકો)માં સામાન્ય રીતે વપરાય છે. તે લેડ એનોડ અને લેડની ગ્રીડ (grid) જેના પર લેડ ડાયોક્સાઇડ (PbO<sub>2</sub>) ચોંટાડેલો હોય છે તે કેથોડ તરીકે વર્તે છે. 38 % સલ્ફ્યુરિક એસિડનું દ્રાવણ વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે વપરાય છે.

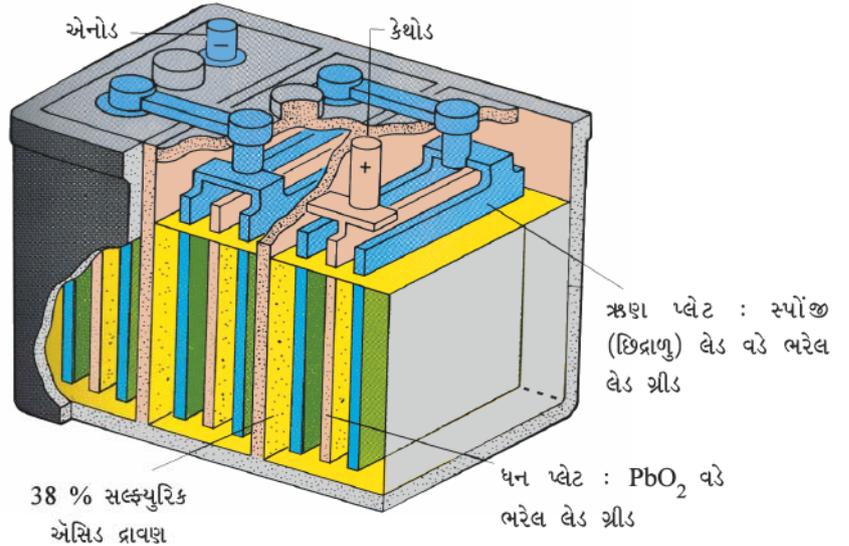
કોષ જ્યારે ઉપયોગમાં હોય ત્યારે થતી કોષ પ્રક્રિયાઓ નીચે આપેલ છે.



એટલે કે કેથોડ અને એનોડ પ્રક્રિયા ધરાવતી એકંદર પ્રક્રિયા છે.

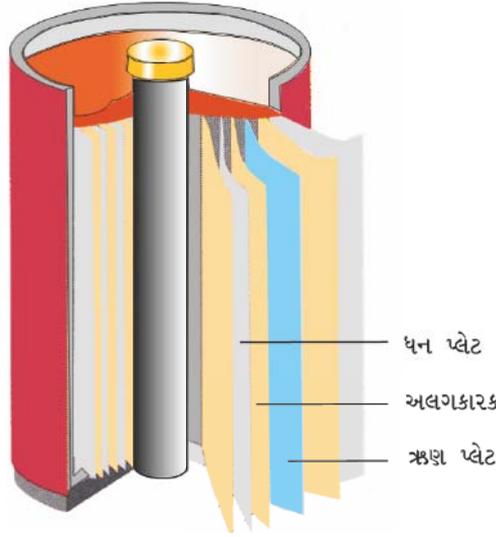


ચાર્જિંગ કરતા પ્રક્રિયા પ્રતિગામી બને છે અને એનોડ પરનો અને કેથોડ પરનો PbSO<sub>4</sub>(s) અનુક્રમે Pb અને PbO<sub>2</sub>માં પરિવર્તિત થાય છે.



આકૃતિ 3.10 : લેડ સંગ્રાહક બેટરી

આકૃતિ 3.11 : જેલી રોલ(roll)માં અને ભીના સોડિયમ અથવા પોટેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડમાં ડૂબેલો પુનઃકાર્યરત કરી શકાતો નિકલ-કેડ્મિયમ કોષ



બીજો અગત્યનો દ્વિતીયક કોષ નિકલ-કેડ્મિયમ કોષ (આકૃતિ 3.11) જેનું આયુષ્ય લેડ સંગ્રાહક કોષ કરતાં વધારે છે તે છે, પણ ઉત્પાદન કરવું ઘણું મોઘું છે. આપણે આ કોષની કાર્ય કરવાની પદ્ધતિની અને ચાર્જિંગ તથા ડિસ્ચાર્જિંગ દરમિયાનની ધ્રુવો પર થતી પ્રક્રિયાઓની વિગતોમાં નહિ જઈએ, ડિસ્ચાર્જ દરમિયાન એકંદર પ્રક્રિયા આ પ્રમાણે છે.

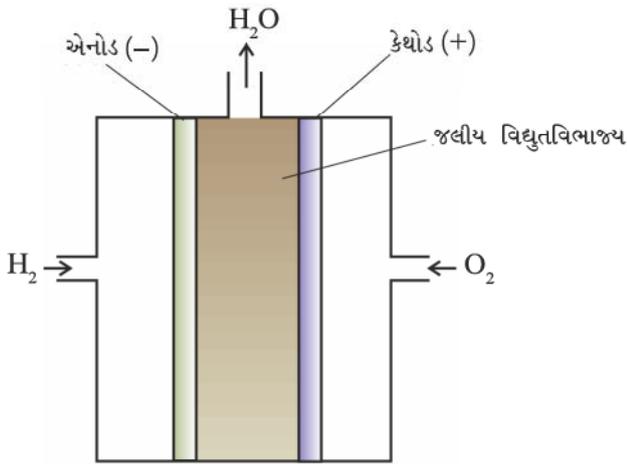


### 3.7 બળતણ (ઈંધણ) કોષ (Fuel Cells)

તાપીય (thermal) પ્લાન્ટમાં વિદ્યુતનું ઉત્પાદન વધુ અસરકારક પદ્ધતિ નથી અને તે પ્રદૂષણનો મુખ્ય (major) સ્રોત છે. આવા પ્લાન્ટમાં અશ્મિગત ઈંધણ (કોલવાયુ અથવા તેલ) રાસાયણિક ઊર્જા (દહનની ઉષ્મા). શરૂઆતમાં પાણીને ઊંચા દબાણે

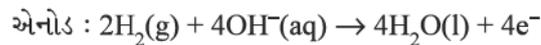
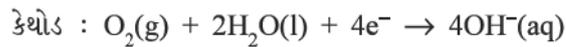
વરાળમાં ફેરવવામાં વપરાઈ જાય છે અને આને તે પછી વિદ્યુત ઉત્પન્ન કરવા માટે ટર્બાઈનને ચાલુ રાખવામાં વપરાય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે ગેલ્વેનિક કોષ રાસાયણિક ઊર્જાનું સીધું જ વિદ્યુત-ઊર્જામાં પરિવર્તન કરે છે અને તે ખૂબ જ ક્ષમતાવાળો છે. હવે એ શક્ય બન્યું છે કે આવા કોષ જેમાં પ્રક્રિયકો સતતરીતે વિદ્યુતધ્રુવોને પૂરા પાડવામાં આવે છે અને નીપજોને વિદ્યુતવિભાજનીય ભાગ(કંપાર્ટમેન્ટ)માંથી સતત દૂર કરવામાં આવે છે. ગેલ્વેનિક કોષ જેમને એવી રીતે ડિઝાઈન કરેલા હોય છે જેથી હાઈડ્રોજન, મિથેન, મિથેનોલ વગેરે જેવા ઈંધણોની રાસાયણિક ઊર્જા સીધી જ વિદ્યુતીય ઊર્જામાં પરિવર્તિત થાય આવા કોષને બળતણ(ઈંધણ) કોષ કહે છે.

સૌથી વધુ સફળ એક બળતણ કોષમાં હાઈડ્રોજનની ઓક્સિજન સાથેની પ્રક્રિયાથી પાણી બનવાની દહન પ્રક્રિયાનો ઉપયોગ થાય છે (આકૃતિ 3.12). આ કોષનો ઉપયોગ એપોલો અવકાશ કાર્યક્રમમાં વિદ્યુતીય શક્તિ પૂરી પાડવા માટે કરવામાં આવેલો. પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન થતી પાણીની બાષ્પને સંઘનિત કરીને અવકાશયાત્રીને પીવાના પાણીના પુરવઠામાં



આકૃતિ 3.12 : H<sub>2</sub> અને O<sub>2</sub>નો ઉપયોગ કરીને વિદ્યુત પેદા કરતો બળતણ કોષ

ઉમેરવામાં આવતો હતો. આ કોષમાં હાઈડ્રોજન અને ઓક્સિજન છિદ્રાળુ કાર્બન વિદ્યુતધ્રુવ મારફતે સાંદ્ર જલીય સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડના દ્રાવણમાં પસાર કરવામાં આવે છે. ખૂબ જ ઝીણો કરેલ પ્લેટિનમ અથવા પેલેડિયમ ધાતુ જેવા ઉદ્દીપકો વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાઓના વેગ વધે તે માટે વપરાય છે. વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાઓ નીચે આપેલી છે.



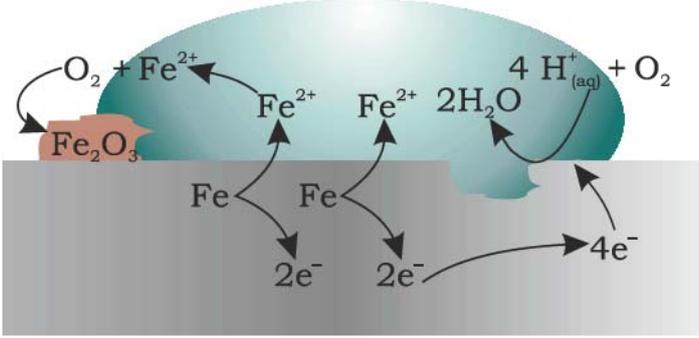
એકંદર પ્રક્રિયા  $2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O(l)}$  હોય છે.

આ કોષ જ્યાં સુધી પ્રક્રિયકો પૂરા પાડવામાં આવે છે ત્યાં સુધી સતત કાર્ય કરે છે. બળતણ કોષ તાપીય પ્લાન્ટની સરખાણીમાં જેની ક્ષમતા 40 % હોય છે

તેને સ્થાને 70 % જેટલી ક્ષમતાથી કાર્ય કરે છે. બળતણ કોષની ક્ષમતા વધારવા માટે, નવા વિદ્યુતધ્રુવના પદાર્થો, વધુ સારા ઉદ્દીપકો અને વિદ્યુત વિભાજ્યોના વિકાસમાં પ્રભાવશાળી (પ્રચંડ-tremedous) પ્રગતિ સધાઈ છે. તેમનો ઉપયોગ પ્રાયોગિક ધોરણે થઈ રહ્યો છે. બળતણ કોષ પ્રદૂષણ- મુક્ત છે અને તેમના ભવિષ્યની અગત્યના સંદર્ભમાં ઘણા પ્રકારના બળતણ કોષ બનાવવામાં આવ્યા છે અને ઉપયોગ માટે પ્રત્યન કરાયા છે.

### 3.8 ક્ષારણ (Corrosion)

ક્ષારણ ધીમે ધીમે ધાત્વીય વસ્તુઓની સપાટીને તેમના ઓક્સાઇડ અથવા ધાતુના અન્ય ક્ષારથી પડ રચે છે. લોખંડને કાટ લાગવો, ચાંદીનું ઝાંખુ પડવું, કાંસાના અને તાંબા પર લીલા રંગનું પડ થવું વગેરે કેટલાક ક્ષારણના ઉદાહરણ છે. તે મકાનો, પૂલો, વહાણો અને ધાતુમાંથી ખાસ કરીને લોખંડમાંથી બનેલી વસ્તુઓને વિશાળ



ઓક્સિડેશન :  $\text{Fe (s)} \rightarrow \text{Fe}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{e}^{-}$

રિડેક્શન :  $\text{O}_2 \text{ (g)} + 4\text{H}^{+} \text{ (aq)} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O (l)}$

વાતાવરણીય

ઓક્સિડેશન :  $2\text{Fe}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{H}_2\text{O (l)} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \text{ (g)} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ (s)} + 4\text{H}^{+} \text{ (aq)}$

આકૃતિ 3.13 : વાતાવરણમાં લોખંડનું ક્ષારણ

એનોડ :  $2\text{Fe (s)} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{e}^{-}$   $E_{(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe})}^{\ominus} = -0.44 \text{ V}$

એનોડ બિંદુ પર મુક્ત થયેલા ઇલેક્ટ્રોન ધાતુ મારફતે ખસે છે અને ધાતુના બીજા બિંદુ પર જાય છે અને  $\text{H}^{+}$ ની હાજરીમાં ઓક્સિજનનું રિડક્શન કરે છે (એમ માનવામાં આવે છે કે  $\text{H}^{+}$  હવામાંના કાર્બન ડાયોક્સાઇડનું પાણીમાં વિલયન થવાથી અને પાણીમાંના હાઇડ્રોજન આયન પણ વાતાવરણમાંથી બીજા એસિડિક ઓક્સાઇડના વિલયનથી બને છે) આ બિંદુ નીચેની પ્રક્રિયા સાથે કેથોડ તરીકે વર્તે છે.

કેથોડ :  $\text{O}_2 \text{ (g)} + 4\text{H}^{+} \text{ (aq)} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O (l)}$   $E_{\text{H}^{+}/\text{O}_2, \text{H}_2\text{O}}^{\ominus} = 1.23 \text{ V}$

એકંદર પ્રક્રિયા સમીકરણ :

$2\text{Fe (s)} + \text{O}_2 \text{ (g)} + 4\text{H}^{+} \text{ (aq)} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{H}_2\text{O (l)}$   $E_{(\text{cell})}^{\ominus} = 1.67 \text{ V}$

ફેરસ આયન આગળ ઉપર વાતાવરણના ઓક્સિજનથી ઓક્સિડેશન પામે છે અને ફેરિક આયન બનાવે છે જે જળયુક્ત ફેરિક ઓક્સાઇડ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) સ્વરૂપે કાટ તરીકે બને છે અને વધુ હાઇડ્રોજન આયનને ઉત્પન્ન કરે છે.

ક્ષારણનો અટકાવ (સંરક્ષણ) સર્વોત્તમ (prime) અગત્ય છે. તે માત્ર પૈસા બચાવે છે તેમ નથી પરંતુ કે કેટલાક અકસ્માતો જેવાં કે પૂલ તૂટી જવો અથવા ક્ષારણને લીધે મુખ્ય ઘટક(key component)ની નિષ્ફળતા છે. ક્ષારણ અટકાવવાની સૌથી સરળ એક રીત એ છે કે, ધાતુની વસ્તુની સપાટીને વાતાવરણના સંપર્કમાં આવતી અટકાવવી (રોકવી) જોઈએ. આ માટે ધાત્વીય સપાટીને રંગ અથવા બીજા રસાયણો (દા.ત., બિસફિનોલ) લગાડીને કરી શકાય. બીજી સરળ પદ્ધતિ સપાટીને અન્ય ધાતુઓ (Sn, Zn વગેરે) જે નિષ્ક્રિય છે અથવા વસ્તુને બચાવવા પ્રક્રિયા કરે છે તેના વડે ઢાંકી દેવી જોઈએ. વિદ્યુતરસાયણિક પદ્ધતિ બીજી ધાતુઓ(જેવી કે Mg, Zn વગેરે)ના બલિદાન (ભોગ) આપનાર વિદ્યુતધ્રુવો પૂરા પાડવા તે છે. તેઓ તેમની જાતે ક્ષારણ પામે છે અને વસ્તુને બચાવે છે.

## લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 3.13 લેડ સંગ્રાહક કોષના રિચાર્જિંગનું રસાયણવિજ્ઞાન તથા રિચાર્જિંગ દરમિયાન સમાવિષ્ટ બધા જ પદાર્થોની વિશેષતા લખો.
- 3.14 બળતણ કોષમાં ઈંધણ તરીકે હાઈડ્રોજન સિવાયના બે પદાર્થો જે ઈંધણ તરીકે વપરાય છે તે સૂચવો.
- 3.15 લોખંડનું ક્ષારણ કેવી રીતે થાય છે તે વિદ્યુત-રાસાયણિક કોષની ગોઠવણી કરીને સમજાવો.

## હાઈડ્રોજન આર્થિક વ્યવસ્થા (Hydrogen Economy)

હાલના સમયમાં આપણી અર્થવ્યવસ્થાને હંકારતો ઊર્જાનો મુખ્ય સ્રોત અસ્મિગત ઈંધણ જેવાં કે કોલસો, તેલ અથવા વાયુ છે. જો ગ્રહ (પૃથ્વી) પર રહેતાં વધુને વધુ લોકો પોતાની જીવનશૈલી સુધારવા માંગતા હોય તો તેમની ઊર્જાની જરૂરિયાત વધશે. હકીકતમાં, પ્રતિવ્યક્તિ (per capita) વપરાતી ઊર્જાનો વપરાશ વિકાસનું માપ છે. અલબત્ત, એવું ધારવામાં આવ્યું છે કે ઊર્જા માત્ર ઉત્પાદકીય હેતુ માટે ઉપયોગમાં લેવાયો છે અને નહિ કે માત્ર તેનો બગાડ. આપણે જાણીએ જ છીએ કે અસ્મિગત ઈંધણના દહનથી પેદા થતો કાર્બન ડાયોક્સાઈડ 'ગ્રીનહાઉસ અસર'માં પરિણમે છે. આ પૃથ્વીની સપાટીના તાપમાનમાં વધારા તરફ દોરે છે જેને કારણે ધ્રુવીય બરફ પીગળે છે અને દરિયાની (પાણીની) સપાટી વધે છે. આ કિનારા પરના નીચાણવાળા વિસ્તારમાં પૂર લાવે છે અને કેટલાક ટાપુ જેવા કે, માલદીવ પરની પ્રજા સંપૂર્ણ ડૂબવાની મુશ્કેલીનો સામનો કરે છે. આવી મહાન દુર્ઘટનાને ટાળવા માટે આપણે આપણી કાર્બનમય ઈંધણના ઉપયોગ પર નિયંત્રણ મૂકવા જોઈએ. હાઈડ્રોજન એક આદર્શ વિકલ્પ પૂરો પાડે છે કારણ કે તેનું દહન માત્ર પાણીમાં પરિણમે છે. હાઈડ્રોજન ઉત્પાદન સૌર-ઊર્જાનો ઉપયોગ કરીને પાણીનું વિપાટન (splitting) કરીને મેળવવું જોઈએ. આથી હાઈડ્રોજન પુનઃપ્રાપ્ય (renewable) અને ઊર્જાના બિનપ્રદૂષક સ્રોત તરીકે ઉપયોગ થઈ શકે. હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થાનું આ એક સ્વપ્ન છે. પાણીના વિદ્યુતવિભાજનની હાઈડ્રોજનનું ઉત્પાદન અને ઈંધણ કોષમાં હાઈડ્રોજનનું દહન એ બંને ભવિષ્યમાં અગત્યના રહેશે. આ બંને પ્રૌદ્યોગિકી (technology) વિદ્યુત-રાસાયણિક સિદ્ધાંતો પર આધારિત છે.

## સારાંશ

વિદ્યુત-રાસાયણિક કોષ વિદ્યુતવિભાજનીય દ્રાવણમાં ડૂબાડેલા બે વિદ્યુતધ્રુવ ધરાવે છે આમ, વિદ્યુતરાસાયણિક કોષનો અગત્યનો ઘટક આયનીય વાહક અથવા વિદ્યુતવિભાજ્ય છે. વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ બે પ્રકારના હોય છે. ગેલ્વેનિક કોષમાં સ્વયંસ્ફુરિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયાની રાસાયણિક ઊર્જાને વિદ્યુતીય ઊર્જામાં પરિવર્તિત કરવામાં આવે છે જ્યારે વિદ્યુતવિભાજનીય કોષમાં વિદ્યુતીય ઊર્જા અસ્વયંસ્ફુરિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયા પરિણમવામાં વપરાય છે. યોગ્ય દ્રાવણમાં ડૂબાડેલ વિદ્યુતધ્રુવના પોટેન્શિયલની પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવના સંદર્ભમાં કરવામાં આવે છે. તેનો પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ શૂન્ય લેવામાં આવે છે. કોષનો પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ કેથોડ અને એનોડના પ્રમાણિત પોટેન્શિયલના તફાવત બરાબર લેવામાં આવે છે ( $E_{(cell)}^{\ominus} = E_{cathode}^{\ominus} - E_{anode}^{\ominus}$ ). કોષના પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ કોષમાં થતી પ્રક્રિયાની ગિબ્સ-ઊર્જા ( $\Delta_r G^{\ominus} = -nFE^{\ominus}$ ) અને સંતુલન અચળાંક ( $\Delta_r G^{\ominus} = -RT \ln K$ ) સાથે સંબંધ ધરાવે છે. સાંદ્રતા પર આધારિત વિદ્યુતધ્રુવના પોટેન્શિયલ નર્સ્ટના સમીકરણ દ્વારા દર્શાવાય છે.

વિદ્યુતવિભાજનીય દ્રાવણની વાહકતા  $k$  વિદ્યુતવિભાજ્યની સાંદ્રતા, દ્રાવકનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) અને તાપમાન પર આધાર રાખે છે. મોલર વાહકતા  $\Lambda_m$  ને  $k/c$  વડે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે જ્યાં  $c$  સાંદ્રતા છે. સાંદ્રતામાં ઘટાડા સાથે વાહકતા ઘટે છે પણ મોલર વાહકતા વધે છે. પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે દ્રાવણના ઘટાડા સાથે ધીમેથી (slowly) વધે છે. જ્યારે તે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યના મંદ દ્રાવણોમાં ખૂબ જ તીવ્રતાથી વધે છે. કોહ્લરોશે શોધી કાઢ્યું કે, વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે અનંત મંદને વાહકતા વિદ્યુતવિભાજ્ય જે આયનોમાં

વિયોજિત થાય છે તે આયનોની મોલર વાહકતાના સરવાળા બરાબર થાય છે. આ આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમનના નિયમ તરીકે ઓળખાય છે. તેના ઘણા અનુપ્રયોગો છે. આયનો દ્રાવણમાંથી વિદ્યુતનું વહન કરે છે પરંતુ આયનોનું ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન વિદ્યુત-રાસાયણિક કોષમાં વિદ્યુતધ્રુવ પર થાય છે. બેટરી અને બળતણ કોષો ગેલ્વેનિક કોષના બહુ ઉપયોગી સ્વરૂપો છે. ક્ષારણ અનિવાર્ય (આવશ્યક) રીતે વિદ્યુત-રાસાયણિક પરિઘટના છે. વિદ્યુત-રાસાયણિક સિદ્ધાંતો હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થાને સુસંગત છે.

## સ્વાધ્યાય

- 3.1 નીચેની ધાતુઓને તેમના ક્ષારના દ્રાવણોમાંથી એકબીજાને વિસ્થાપિત કરતા ક્રમમાં ગોઠવો :  
Al, Cu, Fe, Mg અને Zn
- 3.2 પ્રમાણિત વિદ્યુત પોટેન્શિયલ (વિભવ) આપેલ છે :  
 $K^+/K = -2.93 \text{ V}$ ,  $Ag^+/Ag = 0.80 \text{ V}$   
 $Hg^{2+}/Hg = 0.79 \text{ V}$ ,  $Mg^{2+}/Mg = -2.37 \text{ V}$ ,  $Cr^{3+}/Cr = -0.74 \text{ V}$   
 આ ધાતુઓને તેમની રિડક્શનકર્તા તરીકેની પ્રબળતા(સામર્થ્ય)ના ચઢતા ક્રમમાં ગોઠવો.
- 3.3 જે ગેલ્વેનિક કોષમાં પ્રક્રિયા  $Zn(s) + 2Ag^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s)$  થતી હોય તેની આકૃતિ દોરો અને દર્શાવો કે,  
 (i) કયો વિદ્યુતધ્રુવ ઋણભારિત છે ?  
 (ii) કોષમાં પ્રવાહનું વહન કરતાં વાહકો.  
 (iii) દરેક વિદ્યુતધ્રુવ પર વૈયક્તિક (વ્યક્તિગત) પ્રક્રિયા.
- 3.4 જે ગેલ્વેનિક કોષોમાં નીચેની પ્રક્રિયાઓ થતી હોય તેના પ્રમાણિત કોષ પોટેન્શિયલ ગણો :  
 (i)  $2Cr(s) + 3Cd^{2+}(aq) \rightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 3Cd$   
 (ii)  $Fe^{2+}(aq) + Ag^+(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$   
 પ્રક્રિયાનો  $\Delta_r G^\circ$  અને સંતુલન અચળાંક ગણો.
- 3.5 નીચેના કોષના 298 K તાપમાને નર્સ્ટ સમીકરણ અને ઈ.એમ.એફ. લખો :  
 (i)  $Mg(s) | Mg^{2+} (0.001M) || Cu^{2+} (0.0001M) / Cu(s)$   
 (ii)  $Fe(s) | Fe^{2+} (0.001 M) || H^+ (1M) | H_2(g) (1 \text{ bar}) | Pt(s)$   
 (iii)  $Sn(s) | Sn^{2+} (0.050 M) || H^+ (0.020 M) | H_2(g) (1 \text{ bar}) | Pt(s)$   
 (iv)  $Pt(s) | Br^- (0.010 M) | Br_2 (l) || H^+ (0.030 M) | H_2(g) (1 \text{ bar}) | Pt(s)$
- 3.6 બટન સેલ જે બહોળા પ્રમાણમાં કાંડા ઘડિયાળ અને અન્ય ઉપકરણોમાં વપરાય છે, તેમાં નીચેની પ્રક્રિયા થાય છે.  
 $Zn(s) + Ag_2O (s) + H_2O (l) \rightarrow Zn^{2+} (aq) + 2Ag(s) + 2OH^- (aq)$   
 પ્રક્રિયા માટે  $\Delta_r G^\circ$  અને  $E^\circ$  ગણો.
- 3.7 વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણ માટે વાહકતા અને મોલર વાહકતા વ્યાખ્યાયિત કરો. તેમની સાંદ્રતાના ફેરફાર સાથેના ફેરફારની ચર્ચા કરો.
- 3.8 0.20 M KCl ના દ્રાવણની વાહકતા 298 K તાપમાને  $0.0248 \text{ S cm}^{-1}$  છે. તેની મોલર વાહકતા ગણો.
- 3.9 0.001 M KCl દ્રાવણ ધરાવતા વાહકતા કોષનો અવરોધ 298 K તાપમાને  $1500 \Omega$  છે. જો 0.001M KCl દ્રાવણની 298 K તાપમાને વાહકતા  $0.146 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$  હોય, તો કોષ અચળાંક કેટલા હશે ?

3.10 સોડિયમ ક્લોરાઇડની વાહકતા જુદી જુદી સાંદ્રતાએ 298 K તાપમાને માપવામાં આવી હતી અને પરિણામો નીચે આપવામાં આવ્યા છે :

સાંદ્રતા/M	0.001	0.010	0.020	0.050	0.100
$10^2 \times \kappa/\text{Sm}^{-1}$	1.237	11.85	23.15	55.53	106.74

બધી જ સાંદ્રતાઓ માટે  $\Lambda_m$  ગણો અને  $\Lambda_m$  વિરુદ્ધ  $c^{1/2}$  નો આલેખ દોરો.  $\Lambda_m^0$  નું મૂલ્ય શોધો.

3.11 0.00241 M એસિટિક એસિડની વાહકતા  $7.896 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$  છે. તેની મોલર વાહકતા ગણો. જો એસિટિક એસિડ માટે  $\Lambda_m^0$  નું મૂલ્ય  $390.5 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  હોય તો તેનો વિયોજન અચળાંક ગણો.

3.12 નીચેનાના રિડક્શન માટે કેટલો વિદ્યુતભાર (charge) જોઈએ ?

- (i) 1 mol  $\text{Al}^{3+}$  માંથી Al
- (ii) 1 mol  $\text{Cu}^{2+}$  માંથી Cu
- (iii) 1 mol  $\text{MnO}_4^-$  માંથી  $\text{Mn}^{2+}$

3.13 નીચેના ઉત્પાદન માટે ફેરાડેના પર્યાયમાં કેટલી વિદ્યુતની જરૂર પડશે ?

- (i) પિગલિત  $\text{CaCl}_2$  માંથી 20.0 g Ca
- (ii) પિગલિત  $\text{Al}_2\text{O}_3$  માંથી 40.0 g Al

3.14 નીચેના ઉત્પાદન માટે ઓક્સિડેશન પર્યાયમાં કેટલી વિદ્યુતની જરૂર પડશે ?

- (i) 1 mol of  $\text{H}_2\text{O}$  માંથી  $\text{O}_2$
- (ii) 1 mol of  $\text{FeO}$  માંથી  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

3.15 5 એમ્પિયર પ્રવાહનો 20 મિનિટ માટે ઉપયોગ કરી  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  ના દ્રાવણનું પ્લેટિનમ વિદ્યુતધ્રુવો વચ્ચે વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવ્યું. કેથોડ ઉપર Niનું કેટલું દળ નિક્ષેપિત (deposited) થશે ?

3.16 ત્રણ વિદ્યુતવિભાજન કોષ A, B, C જે અનુક્રમે  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{AgNO}_3$  અને  $\text{CuSO}_4$  ના દ્રાવણ ધરાવે છે. તેમને શ્રેણીમાં જોડેલ છે. કોષ Bમાં 1.45 g સિલ્વર કેથોડ પર જમા થયું ત્યાં સુધી 1.5 એમ્પિયર સ્થિર પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવ્યો. કેટલા સમય માટે પ્રવાહનું વહન થયું હશે ? કોપર અને ઝિંકના કેટલા દળ નિક્ષેપિત થયા હશે ?

3.17 કોષ્ટક 3.1માં આપેલ પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલનો ઉપયોગ કરીને અનુમાન કરો કે નીચેના વચ્ચે પ્રક્રિયા શક્ય છે ?

- (i)  $\text{Fe}^{3+} (\text{aq})$  અને  $\text{I}^- (\text{aq})$
- (ii)  $\text{Ag}^+ (\text{aq})$  અને  $\text{Cu}(\text{s})$
- (iii)  $\text{Fe}^{3+} (\text{aq})$  અને  $\text{Br}^- (\text{aq})$
- (iv)  $\text{Ag}(\text{s})$  અને  $\text{Fe}^{3+} (\text{aq})$
- (v)  $\text{Br}_2 (\text{aq})$  અને  $\text{Fe}^{2+} (\text{aq})$

3.18 નીચેનામાંના દરેક વિદ્યુતવિભાજનમાં નીપજ માટે પ્રાકટકથન કરો :

- (i)  $\text{AgNO}_3$  નું જલીય દ્રાવણ સિલ્વર વિદ્યુતધ્રુવો સાથે
- (ii)  $\text{AgNO}_3$  નું જલીય દ્રાવણ પ્લેટિનમ વિદ્યુતધ્રુવો સાથે
- (iii)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  નું મંદ દ્રાવણ પ્લેટિનમ વિદ્યુતધ્રુવો સાથે
- (iv)  $\text{CuCl}_2$  નું જલીય દ્રાવણ પ્લેટિનમ વિદ્યુતધ્રુવો સાથે

### લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

3.5  $E_{\text{cell}} = 0.91 \text{ V}$

3.6  $\Delta_r G^\circ = -45.54 \text{ kJmol}^{-1}$ ,  $K_c = 9.62 \times 10^7$

3.9 0.114,  $3.67 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$

## હેતુઓ

- આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....
- રાસાયણિક પ્રક્રિયાના સરેરાશ અને ત્વરિત વેગની વ્યાખ્યા આપી શકશો.
  - પ્રક્રિયક અથવા નીપજની સાંદ્રતામાં સમય સાથે ફેરફારના પર્યાયમાં રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ અભિવ્યક્ત કરી શકશો.
  - પ્રાથમિક અને જટિલ પ્રક્રિયાઓ વચ્ચે ભેદ પાડી શકશો.
  - પ્રક્રિયાની આણ્વીકતા અને ક્રમ વચ્ચે ભેદ પાડી શકશો.
  - વેગ અચળાંક વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
  - પ્રક્રિયાનો વેગ સાંદ્રતા, તાપમાન અને ઉદ્દીપક પર આધારિત છે તેની ચર્ચા કરી શકશો.
  - શૂન્ય ક્રમ અને પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાઓ માટે સંકલિત વેગ સમીકરણ ઉપજાવી શકશો.
  - શૂન્ય ક્રમ અને પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાઓ માટે વેગ અચળાંક નક્કી કરી શકશો.
  - સંઘાત સિદ્ધાંત વર્ણવી શકશો.

## એકમ

# 4

## રાસાયણિક ગતિકી (Chemical Kinetics)

**“રાસાયણિક ગતિકી આપણને રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ કેવી રીતે થાય છે તે સમજવામાં મદદ કરે છે.”**

રસાયણવિજ્ઞાન તેના સ્વભાવ પ્રમાણે ફેરફાર સાથે સંકળાયેલ છે. સારી રીતે વ્યાખ્યાયિત ગુણધર્મોવાળા પદાર્થોને રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ દ્વારા જુદા ગુણધર્મોવાળા બીજા પદાર્થોમાં પરિવર્તિત કરવામાં આવે છે. કોઈ પણ રાસાયણિક પ્રક્રિયા માટે રસાયણશાસ્ત્રીઓ જાણવા (શોધવા) પ્રયત્ન કરે છે કે,

- (a) ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર દ્વારા રાસાયણિક પ્રક્રિયાનું પ્રાક્ટિક કરી શકાય તેની શક્યતા (તમે જાણો છો કે જે પ્રક્રિયામાં અચળ તાપમાને અને દબાણે  $\Delta G < 0$  છે તે શક્ય છે).
- (b) પ્રક્રિયા કેટલે અંશે આગળ વધશે તે રાસાયણિક સંતુલનમાંથી નક્કી કરી શકાય છે.
- (c) પ્રક્રિયાની ઝડપ એટલે કે પ્રક્રિયાને સંતુલને પહોંચવા લીધેલો સમય.

રાસાયણિક પ્રક્રિયાને સંપૂર્ણ રીતે સમજવા માટે તેની શક્યતા અને કેટલે અંશે થશે તે જાણવા ઉપરાંત પ્રક્રિયાના વેગ અને તેના પર અસર કરતા પરિબળો જાણવા તેટલા જ જરૂરી છે. ઉદાહરણ તરીકે, કયા પરિબળો કેટલી ઝડપથી ખોરાકને બગાડી નાંખશે તે નક્કી કરવું ? દાંતમાં પૂરાણ(filling)માં સેટિંગ કરવાનો પદાર્થ કેવો બનાવવો ? અથવા ઓટોએન્જિનમાં ઈંધણ કેટલા વેગથી બળે છે તેનું નિયંત્રણ ? આ બધા જ પ્રશ્નોનો ઉત્તર રસાયણવિજ્ઞાનની એ શાખા દ્વારા આપી શકાય કે જે પ્રક્રિયાના વેગના અભ્યાસ અને તેમની ક્રિયાવિધિ સાથે સંકળાયેલ છે, તેને રાસાયણિક ગતિકી કહે છે. ‘Kinetics’ શબ્દ ગ્રીક શબ્દ ‘Kinesis’ જેનો અર્થ હલનચલન (movement) થાય છે. ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર રાસાયણિક પ્રક્રિયાની શક્યતા વિષે કહે છે. જ્યારે રાસાયણિક ગતિકી પ્રક્રિયાના વેગ વિશે કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે, ઉષ્માગતિકીય માહિતી સૂચવે છે કે હીરો ગ્રેફાઈટમાં પરિવર્તિત થશે પરંતુ વાસ્તવમાં પરિવર્તન વેગ એટલો ધીમો છે કે ફેરફાર બિલકુલ કલ્પી શકાતો (perceptible) નથી. આથી, લોકો માને છે કે હીરો કાયમી છે. ગતિકીનો અભ્યાસ પ્રક્રિયાની ઝડપ અથવા વેગ સમજવામાં મદદ

કરે છે એટલું જ નહિ પણ એવા પરિબલોનું વર્ણન કરે છે જેના દ્વારા પ્રક્રિયાના વેગ બદલી શકાય. પરિબલો જેવાં કે સાંદ્રતા, તાપમાન, દબાણ અને ઉદ્દીપક વગેરે પ્રક્રિયા વેગને અસર કરે છે. સ્થૂળસ્તરે (macroscopic level) આપણને રસ હોય છે કે કેટલા જથ્થાએ પ્રક્રિયા કરી અથવા બન્યા અને તેમનો વપરાશ અથવા બનાવટ થઈ. આણ્વીય સ્તરે પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ જેમાં દિક્વિન્યાસ (orientation) સંઘાતમાં ભાગ લેતા અણુઓની ઊર્જા સમાવેશ ચર્ચવામાં આવે છે.

આ એકમમાં આપણે પ્રક્રિયાના સરેરાશ અને ત્વરિત વેગ સાથે તથા તેમને અસર કરતાં પરિબલો સાથે સંકળાયેલા રહીશું. પ્રક્રિયાવેગના સંઘાત (અથડામણ) સિદ્ધાંત વિશે કેટલાક પ્રાથમિક વિચારો પણ આપેલ છે. આ બધું જ સમજવા માટે આપણે સૌપ્રથમ પ્રક્રિયાના વેગ વિશે શીખીશું.

#### 4.1 રસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ (Rate of a Chemical Reaction)

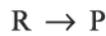
કેટલીક પ્રક્રિયાઓ જેવી કે આયનીય પ્રક્રિયાઓ ઘણી ઝડપી છે. ઉદાહરણ તરીકે, જો સિલ્વર નાઈટ્રેટ અને સોડિયમ ક્લોરાઈડના જલીય દ્રાવણને ભેગા કરવામાં આવે; તો સિલ્વર ક્લોરાઈડનું અવક્ષેપન ત્વરિત થાય છે, જ્યારે બીજી બાજુ પર કેટલીક પ્રક્રિયાઓ ઘણી ધીમી છે. ઉદાહરણ તરીકે, હવા અને ભેજની હાજરીમાં લોખંડને કાટ લાગવો. આ ઉપરાંત કેટલીક એવી પ્રક્રિયાઓ જે મધ્યમ (moderate) ગતિએ આગળ વધે છે. જેમ કે ખાંડનું વ્યુત્ક્રમણ (inversion), સ્ટાર્યનું જળવિભાજન તમે દરેક વિભાગ (કેટેગરી) માટે વધુ ઉદાહરણો વિશે વિચારી શકો છો ?

તમે જાણતા જ હશો કે, ઓટોમોબાઈલની ઝડપ અમુક ચોક્કસ સમયમાં તેના સ્થાનમાં ફેરફાર અથવા કાપેલા અંતરના પર્યાયમાં અભિવ્યક્ત કરવામાં આવે છે. એ જ પ્રમાણે, પ્રક્રિયાની ઝડપ અથવા પ્રક્રિયાનો વેગ એકમ સમયમાં પ્રક્રિયક અથવા નીપજની સાંદ્રતામાં ફેરફાર તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય. વધુ ચોક્કસ થવા માટે તેમને નીચેના પર્યાયોમાં વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.

(i) કોઈ પણ એક પ્રક્રિયકની સાંદ્રતામાં ઘટાડાનો વેગ અથવા

(ii) કોઈ પણ એક નીપજની સાંદ્રતામાં વધારાનો વેગ

એક કાલ્પનિક (hypothetical) પ્રક્રિયાને ધ્યાનમાં લો. જેમાં પ્રણાલીનું કદ અચળ રહે છે.



એક મોલ પ્રક્રિયક R એક મોલ નીપજ P ઉત્પન્ન કરે છે જો  $[R]_1$  અને  $[P]_1$  અનુક્રમે  $t_1$  સમયે R અને Pની સાંદ્રતા છે અને  $[R]_2$  અને  $[P]_2$   $t_2$  સમયે તેમની સાંદ્રતા છે.

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta[R] = [R]_2 - [R]_1$$

$$\Delta[P] = [P]_2 - [P]_1$$

ઉપરના સમીકરણોમાં ચોરસ કૌંસ (square brackets) મોલર સાંદ્રતા દર્શાવવા માટે વપરાયેલ છે.

Rના અદૃશ્ય થવાનો વેગ

$$= \frac{R\text{ની સાંદ્રતામાં ઘટાડો}}{\text{લીધેલો સમય}} = - \frac{\Delta[R]}{\Delta t} \quad (4.1)$$

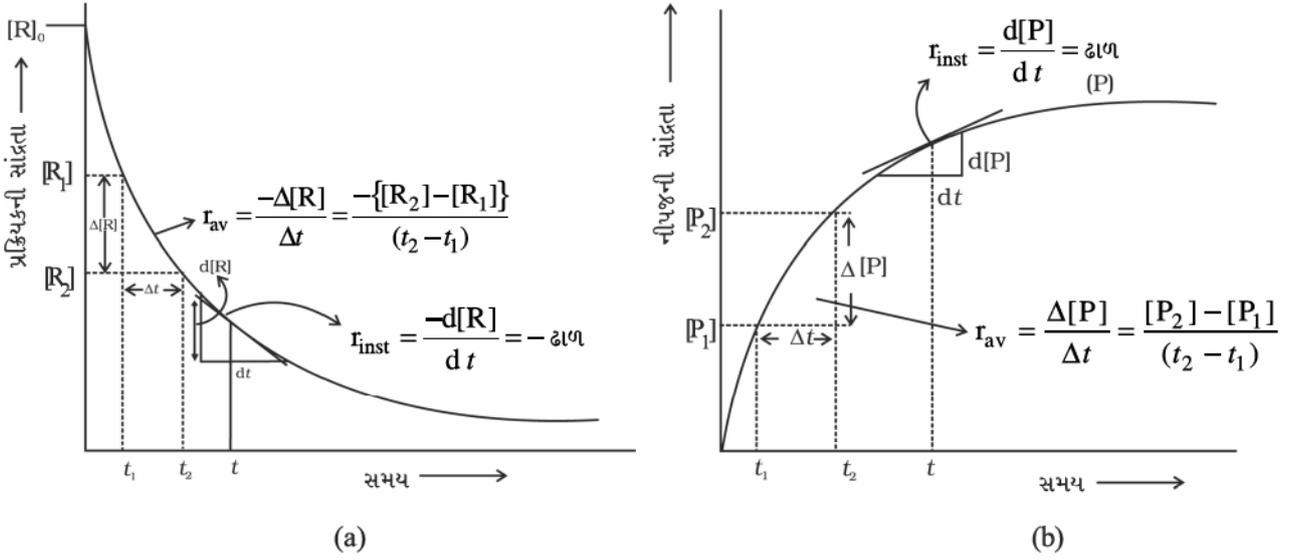
Pના દશ્ય થવાનો વેગ

$$= \frac{\text{Pની સાંદ્રતામાં વધારો}}{\text{લીધેલો સમય}} = + \frac{\Delta[P]}{\Delta t} \quad (4.2)$$

$\Delta[R]$  ઋણ રાશિ છે (કારણ કે પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા ઘટે છે) તેને -1 વડે ગુણવાથી પ્રક્રિયાનો વેગ ધન રાશિ બનશે.

ઉપર આપેલ સમીકરણ (4.1) અને (4.2) પ્રક્રિયાના સરેરાશ વેગ  $r_{av}$  રજૂ કરે છે.

સરેરાશ વેગ પ્રક્રિયકો અથવા નીપજોની સાંદ્રતામાં ફેરફાર અને તે ફેરફાર થવા માટે લીધેલા સમય પર આધાર રાખે છે (આકૃતિ 4.1).



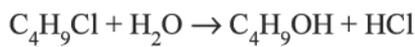
આકૃતિ 4.1 : પ્રક્રિયાનો ત્વરિત અને સરેરાશ વેગ

પ્રક્રિયા વેગના એકમો :

સમીકરણ (4.1) અને (4.2)માંથી એ સ્પષ્ટ છે કે વેગના એકમો સાંદ્રતા સમય<sup>-1</sup> છે. ઉદાહરણ તરીકે જો સાંદ્રતા mol L<sup>-1</sup> છે અને સમય સેકન્ડમાં છે, તો એકમ mol L<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> થશે. વળી, વાયુમય પ્રક્રિયામાં જ્યારે વાયુઓની સાંદ્રતા તેમના આંશિક દબાણના પર્યાયોમાં દર્શાવેલા હોય તો વેગ સમીકરણનો એકમ atm s<sup>-1</sup> થશે.

#### કોયડો 4.1

C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>Cl (બ્યુટાઇલ ક્લોરાઇડ)ની સાંદ્રતા જુદા જુદા સમયે નીચે આપેલી છે. પ્રક્રિયાનો સરેરાશ વેગ ગણો.



#### ઉકેલ :

સમયના જુદા જુદા ગાળા દરમિયાન

t/s	0	50	100	150	200	300	400	700	800
-----	---	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

[C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> Cl]/mol L <sup>-1</sup>	0.100	0.0905	0.0820	0.0741	0.0671	0.0549	0.0439	0.0210	0.017
--	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------

આપણે સમયના જુદા જુદા ગાળા દરમિયાન સાંદ્રતામાં તફાવત નક્કી કરી શકીએ અને આ પ્રમાણે સરેરાશ વેગ  $\Delta[R]$  ને  $\Delta t$  વડે ભાગીને મેળવી શકીએ (કોષ્ટક 4.1).

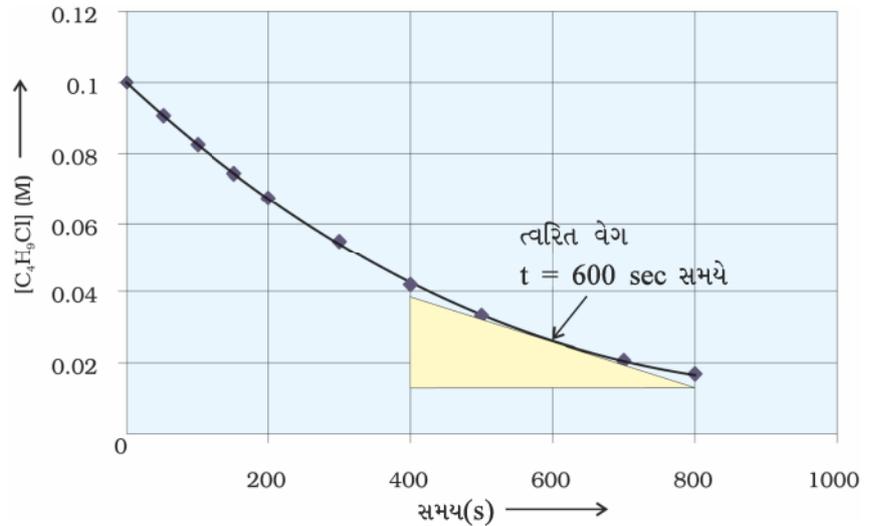
કોષ્ટક 4.1 : બ્યુટાઈલ ક્લોરાઈડના જળવિભાજનના સરેરાશ વેગ

$[C_4H_9Cl]_{t_1} /$ mol L <sup>-1</sup>	$[C_4H_9Cl]_{t_2} /$ mol L <sup>-1</sup>	$t_1/s$	$t_2/s$	$r_{av} \times 10^4 / \text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$ $= - \{ [C_4H_9Cl]_{t_2} - [C_4H_9Cl]_{t_1} / (t_2 - t_1) \} \times 10^4$
0.100	0.0905	0	50	1.90
0.0905	0.0820	50	100	1.70
0.0820	0.0741	100	150	1.58
0.0741	0.0671	150	200	1.40
0.0671	0.0549	200	300	1.22
0.0549	0.0439	300	400	1.10
0.0439	0.0335	400	500	1.04
0.0210	0.017	700	800	0.4

એ જોઈ શકાય છે (કોષ્ટક 4.1) કે સરેરાશ વેગ  $1.90 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$  થી ઘટીને  $0.4 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$  થાય છે. આથી, સરેરાશ સમય કોઈ પ્રક્રિયાનો વેગ દર્શાવવા માટે ઉપયોગ કરી શકાય નહિ. કારણ કે તે જેને માટે ગણ્યો છે તે સમયગાળા દરમિયાન તે અચળ હોવો જોઈએ. આથી, સમયની કોઈ પણ ક્ષણે ત્વરિત વેગ ગણીએ છીએ. જ્યારે આપણે સૌથી ઓછા સમયગાળા માટે સરેરાશ વેગ ગણીએ જેમ કે  $dt$  (જ્યારે  $\Delta t$  શૂન્ય થવા જાય છે). આથી ગાણિતીય રીતે અનંત સૂક્ષ્મરિતે નાના  $dt$  માટે ત્વરિત વેગ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$r_{av} = \frac{-\Delta[R]}{\Delta t} = \frac{\Delta[P]}{\Delta t} \quad (4.3)$$

$$\text{જેમ } \Delta t \rightarrow 0 \quad \text{અથવા} \quad r_{inst} = \frac{-d[R]}{dt} = \frac{d[P]}{dt}$$



આકૃતિ 4.2 : બ્યુટાઈલ ક્લોરાઈડ (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>Cl)ના જળવિભાજનનો ત્વરિત વેગ

તેને આલેખીય રીતે નક્કી કરવા માટે R અને Pની સાંદ્રતા વિરુદ્ધ સમયના બેમાંથી એક વક્ર પરથી ઢાળની સ્પર્શરેખા દોરવાથી મેળવી શકાય (આકૃતિ 4.1). આથી કોયડો 4.1માં,  $r_{\text{inst}}$  600 s સમયે ઉદાહરણ તરીકે લઈએ, તો તેને બ્યુટાઈલ ક્લોરાઈડની સાંદ્રતાનો સમયના વિધેય વિરુદ્ધ આલેખ દોરવાથી મેળવી શકાય.  $t = 600$  s (આકૃતિ 4.2) એ વક્રને સ્પર્શ કરતી સ્પર્શરેખા દોરવામાં આવે છે.

ઢાળની આ સ્પર્શરેખા ત્વરિત વેગ આપશે.

$$\begin{aligned}\text{આથી } 600 \text{ s સમયે } r_{\text{inst}} &= \left( \frac{0.0165 - 0.037}{(800 - 400)\text{s}} \right) \text{mol L}^{-1} \\ &= 5.12 \times 10^{-5} \text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}\end{aligned}$$

$$t = 250 \text{ s એ } r_{\text{inst}} = 1.22 \times 10^{-4} \text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$$

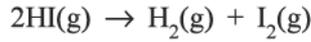
$$t = 350 \text{ s એ } r_{\text{inst}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$$

$$t = 450 \text{ s એ } r_{\text{inst}} = 0.4 \times 10^{-5} \text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$$

હવે પ્રક્રિયા  $\text{Hg}(\ell) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HgCl}_2(\text{s})$  ધ્યાનમાં લઈએ. જેમાં પ્રક્રિયક અને નીપજના તત્વયોગમિતિય ગુણાંક સરખા છે. પ્રક્રિયાનો વેગ નીચે પ્રમાણે આપી શકાય.

$$\text{પ્રક્રિયાનો વેગ} = -\frac{\Delta[\text{Hg}]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{Cl}_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{HgCl}_2]}{\Delta t}$$

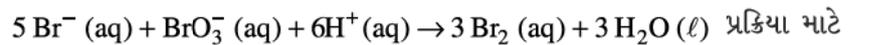
એટલે કે કોઈ પણ પ્રક્રિયકનો અદૃશ્ય થવાના વેગ, દરેક નીપજનો દૃશ્ય થવાનો વેગ સરખા છે. પરંતુ નીચેની પ્રક્રિયામાં HIના બે મોલ વિભાજન પામે છે અને  $\text{H}_2$  અને  $\text{I}_2$ ના દરેકના 1 મોલ ઉત્પન્ન કરે છે.



આવી પ્રક્રિયાઓના વેગ જેમાં પ્રક્રિયકો અથવા નીપજોના તત્વયોગમિતિય ગુણાંક બરાબર એક હોતા નથી, તેને માટે કોઈપણ પ્રક્રિયકના અદૃશ્ય થવાના વેગને અથવા કોઈપણ નીપજોના દૃશ્ય થવાના વેગને તેને અનુરૂપ તત્વયોગમિતિય ગુણાંક વડે ભાગવામાં આવે છે. હવે, HIના વપરાશનો વેગ  $\text{H}_2$  અથવા  $\text{I}_2$  બનવાના વેગ કરતાં બમણો છે, તેમને સરખા કરવા માટે  $\Delta[\text{HI}]$  પર્યાયને 2 વડે ભાગવા પડશે, આ પ્રક્રિયાના વેગ થશે.

$$\text{પ્રક્રિયાનો વેગ} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{HI}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{H}_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{I}_2]}{\Delta t}$$

એ જ પ્રમાણે,



$$\text{વેગ} = -\frac{1}{5} \frac{\Delta[\text{Br}^-]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{BrO}_3^-]}{\Delta t} = -\frac{1}{6} \frac{\Delta[\text{H}^+]}{\Delta t} = \frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{Br}_2]}{\Delta t} = \frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}]}{\Delta t}$$

વાયુમય પ્રક્રિયા માટે અચળ તાપમાને સ્પિસીઝની સાંદ્રતા તેના આંશિક દબાણને સમપ્રમાણ હોય છે. આથી પ્રક્રિયક અથવા નીપજના વેગ તેમના આંશિક દબાણમાં ફેરફારના વેગ તરીકે અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

### કોયડો 4.2

$\text{CCl}_4$  માં  $\text{N}_2\text{O}_5$  નું 318 K તાપમાને વિઘટન દ્રાવણમાં  $\text{N}_2\text{O}_5$  ની સાંદ્રતાનું નિયંત્રણ કરીને અભ્યાસ કરવામાં આવેલ છે. પ્રારંભમાં  $\text{N}_2\text{O}_5$  ની સાંદ્રતા  $2.33 \text{ mol L}^{-1}$  છે અને 184 મિનિટ પછી તે ઘટીને  $2.08 \text{ mol L}^{-1}$  થાય છે. પ્રક્રિયા નીચેના સમીકરણ પ્રમાણે થાય છે.



આ પ્રક્રિયાનો સરેરાશ વેગ કલાક, મિનિટ અને સેકન્ડના સમયમાં ગણો. આ સમય દરમિયાન  $\text{NO}_2$  ના ઉત્પન્ન થવાનો વેગ કેટલો હશે ?

ઉકેલ :

$$\text{સરેરાશ વેગ} = \frac{1}{2} \left\{ -\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} \right\} = -\frac{1}{2} \left[ \frac{(2.08 - 2.33) \text{ mol L}^{-1}}{184 \text{ min}} \right]$$

$$= 6.79 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}/\text{min} = (6.79 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}) \times (60 \text{ min}/\text{hr})$$

$$= 4.07 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}/\text{h}$$

$$= 6.79 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \times 1 \text{ min}/60\text{s}$$

$$= 1.13 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$$

એ યાદ રાખવું જોઈએ કે,

$$\text{વેગ} = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} \right\}$$

$$\frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = 6.79 \times 10^{-4} \times 4 \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1} = 2.72 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

### લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

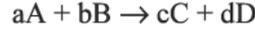
- 4.1  $\text{R} \rightarrow \text{P}$  પ્રક્રિયા માટે, પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા 0.03 M થી ઘટીને 0.02 M 25 મિનિટમાં થાય છે. સમયના એકમ મિનિટ અને સેકન્ડ બંનેનો ઉપયોગ કરીને પ્રક્રિયાનો સરેરાશ વેગ ગણો.
- 4.2 પ્રક્રિયા  $2\text{A} \rightarrow$  નીપજ, A ની સાંદ્રતા 10 મિનિટમાં  $0.5 \text{ mol L}^{-1}$  થી ઘટીને  $0.4 \text{ mol L}^{-1}$  થાય છે. આ ગાળા દરમિયાન વેગ ગણો.

4.2 પ્રક્રિયાના વેગને અસર પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિ જેવી કે પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા (વાયુઓની બાબતમાં કરતાં પરિબળો (Factors Influencing Rate of Reaction) દબાણ), તાપમાન અને ઉદ્દીપક પર આધાર રાખે છે.

4.2.1 વેગનો સાંદ્રતા પર આધાર આપેલ તાપમાને રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ એક અથવા વધારે પ્રક્રિયકો અથવા (Dependence of Rate on Concentration) નીપજોની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે. પ્રક્રિયાના વેગને પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતાના પર્યાયોમાં દર્શાવવાની રજૂઆત વેગના નિયમ તરીકે ઓળખાય છે. તેને વેગ સમીકરણ અથવા વેગ અભિવ્યક્તિ પણ કહેવામાં આવે છે.

4.2.2 વેગ અભિવ્યક્તિ અને વેગ અચળાંક કોષ્ટક 4.1માંના પરિણામો સ્પષ્ટપણે દર્શાવે છે કે પ્રક્રિયાનો વેગ સમય જેમ પસાર થાય છે તેમ ઘટે છે. કારણ કે પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા ઘટે છે. આથી ઊલટું જ્યારે પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા વધે છે ત્યારે સામાન્ય રીતે વેગ વધે છે. આથી પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે. (Rate Expression and Rate Constant)

સામાન્ય પ્રક્રિયા



જેમાં a, b, c અને d પ્રક્રિયકો અને નીપજોના તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકો છે તેને ગણતરીમાં લઈએ.

આ પ્રક્રિયા માટે વેગની અભિવ્યક્તિ છે.

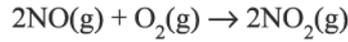
$$\text{વેગ} \propto [A]^x [B]^y \quad (4.4)$$

જ્યાં ઘાતાંક x અને y પ્રક્રિયકોના તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકો (a અને b) હોય કે ન પણ હોય. ઉપરના સમીકરણને આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\text{વેગ} = k[A]^x [B]^y \quad (4.4a)$$

$$-\frac{d[R]}{dt} = k[A]^x [B]^y \quad (4.4b)$$

સમીકરણનું આ સ્વરૂપ (4.4b) વિકલન વેગ સમીકરણ તરીકે ઓળખાય છે. જેમાં k સમપ્રમાણતા અચળાંકને વેગ અચળાંક કહે છે. સમીકરણ (4.4)ના જેવું સમીકરણ જે પ્રક્રિયાના વેગને પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા સાથે સંબંધિત કરે છે તેને વેગ નિયમ અથવા વેગ અભિવ્યક્તિ કહે છે. આમ, વેગ નિયમ એવી અભિવ્યક્તિ છે જેમાં પ્રક્રિયા વેગ પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતાના પર્યાયમાં દર્શાવવામાં આવે છે. જેમાં દરેક પર્યાય પર કોઈક ઘાતાંક મૂકવામાં (raise) આવે છે જે સંતુલિત રાસાયણિક સમીકરણમાં પ્રક્રિયા કરતી સ્પિસીઝના તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંક હોય અથવા ન પણ હોય. ઉદાહરણ તરીકે,



આપણે આ પ્રક્રિયાના વેગનું માપન પ્રારંભિક સાંદ્રતાના વિધેય તરીકે કાં તો એક પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા અચળ રાખી અને બીજા પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા બદલીને અથવા બંને પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા બદલીને કરી શકીએ. નીચેના પરિણામો મળેલ છે (કોષ્ટક 4.2).

કોષ્ટક 4.2 : NO<sub>2</sub>ના નિર્માણનો પ્રારંભિક વેગ

પ્રયોગ	પ્રારંભિક [NO]/mol L <sup>-1</sup>	પ્રારંભિક [O <sub>2</sub> ]/mol L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> ના નિર્માણનો પ્રારંભિક વેગ /mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
1.	0.30	0.30	0.096
2.	0.60	0.30	0.384
3.	0.30	0.60	0.192
4.	0.60	0.60	0.768

પરિણામો જોયા પછી એ સ્પષ્ટ છે કે જ્યારે NOની સાંદ્રતા બમણી કરવામાં આવે છે અને O<sub>2</sub>ની સાંદ્રતા અચળ રાખવામાં આવે છે ત્યારે પ્રારંભિક વેગ ચાર ગણો 0.096 થી 0.384 mol L<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> થાય છે. આ સૂચવે છે કે વેગ NOની સાંદ્રતાના વર્ગ પર આધાર રાખે છે. જ્યારે NOની સાંદ્રતા અચળ રાખવામાં આવે છે અને O<sub>2</sub>ની સાંદ્રતા બમણી કરવામાં આવે છે ત્યારે પણ વેગ બમણો થાય છે જે સૂચવે છે કે વેગ O<sub>2</sub>ની સાંદ્રતાના પ્રથમ ઘાતાંક (power) પર આધાર રાખે છે. આથી આ પ્રક્રિયા માટે વેગ અચળાંક થશે,

$$\text{વેગ} = k [NO]^2 [O_2]$$

આ વેગ અભિવ્યક્તિનું વિકલન સ્વરૂપ આ પ્રમાણે આપી શકાય

$$-\frac{d[R]}{dt} = k[NO]^2[O_2]$$

હવે, આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે આ પ્રક્રિયા માટે, પ્રાયોગિક પરિણામો પરથી વેગ સમીકરણ ઉપજાવવામાં ઘાતાંકો તેમની સંતુલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયામાંના તત્ત્વયોગમિતીય ગુણાંક જેટલા છે.

કેટલાક અન્ય ઉદાહરણ નીચે આપ્યાં છે.

પ્રક્રિયા	પ્રાયોગિક વેગ સમીકરણ
1. $CHCl_3 + Cl_2 \rightarrow CCl_4 + HCl$	વેગ = $k [CHCl_3] [Cl_2]^{1/2}$
2. $CH_3COOC_2H_5 + H_2O \rightarrow CH_3COOH + C_2H_5OH$	વેગ = $k [CH_3COOC_2H_5]^1 [H_2O]^0$

આ પ્રક્રિયાઓમાં સાંદ્રતા પર્યાયોના ઘાતાંક તેમના તત્ત્વયોગમિતીય ગુણાંકો જેટલા હોતા નથી. આથી આપણે કહી શકીએ કે,

કોઈપણ પ્રક્રિયા માટે વેગ નિયમનું પ્રાક્કથન માત્ર સંતુલિત રાસાયણિક સમીકરણ પરથી કરી શકીએ નહિ. એટલે કે વેગ નિયમ સૈદ્ધાંતિક રીતે નહિ પરંતુ પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરવો જોઈએ.

#### 4.2.3 પ્રક્રિયાનો ક્રમ (Order of Reaction)

વેગ સમીકરણ (4.4)માં

$$વેગ = k [A]^x [B]^y$$

$x$  અને  $y$  સૂચવે છે કે A અને Bની સાંદ્રતામાં ફેરફાર કેટલે અંશે સંવેદનશીલ છે. એટલે કે  $x + y$  સમીકરણ(4.4)માં પ્રક્રિયાનો એકંદર ક્રમ દર્શાવે છે. જ્યારે  $x$  અને  $y$  અનુક્રમે પ્રક્રિયકો A અને Bના સંદર્ભમાં ક્રમ દર્શાવે છે.

આથી, પ્રક્રિયા વેગ અભિવ્યક્તિમાં પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતાના ઘાતાંકના સરવાળાને રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો ક્રમ કહેવામાં આવે છે.

પ્રક્રિયાનો ક્રમ 0, 1, 2, 3 અને અપૂર્ણાંક પણ હોઈ શકે. શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયાનો અર્થ એમ છે કે પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયકની સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર છે.

#### કોયડો 4.3

પ્રક્રિયાઓ જેની વેગ અભિવ્યક્તિ

(a) વેગ =  $k [A]^{\frac{1}{2}} [B]^{\frac{3}{2}}$

(b) વેગ =  $k [A]^{\frac{3}{2}} [B]^{-1}$

છે તે પ્રક્રિયાના એકંદર ક્રમ ગણો.

#### ઉકેલ :

(a) વેગ =  $k [A]^x [B]^y$

ક્રમ =  $x + y$

તેથી ક્રમ  $\frac{1}{2} + \frac{3}{2} = 2$  એટલે કે દ્વિતીય ક્રમ.

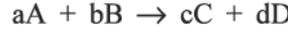
(b) ક્રમ =  $\frac{3}{2} + (-1) = \frac{1}{2}$  એટલે કે અર્ધ ક્રમ

સમતોલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયા કદી પણ પ્રક્રિયા કેવી રીતે થાય છે તેના વિષે સાચું ચિત્ર રજૂ કરતી નથી કારણ કે ભાગ્યે જ પ્રક્રિયા એક તબક્કામાં પૂરી થતી હોય છે. એક જ તબક્કામાં થતી પ્રક્રિયાઓને પ્રાથમિક પ્રક્રિયાઓ કહેવાય છે. જ્યારે પ્રાથમિક પ્રક્રિયાઓની શ્રેણી (જેને ક્રિયાવિધિ કહે છે) નીપજ આપે છે ત્યારે આવી પ્રક્રિયાઓ જટિલ પ્રક્રિયાઓ કહેવાય છે. આવી પ્રક્રિયાઓ

ક્રમિક (consecutive) (જેમ કે, ઈથેનનું CO<sub>2</sub> અને H<sub>2</sub>Oમાં દહન શ્રેણીબદ્ધ મધ્યવર્તી તબક્કામાં થાય છે જેમાં આલ્કોહોલ, આલ્ડિહાઇડ અને એસિડ બને છે.), પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા અને પાર્શ્વ (side) પ્રક્રિયાઓ (જેમ કે, ફિનોલનું નાઇટ્રેશન *o*-નાઇટ્રોફિનોલ અને *p*-નાઇટ્રોફિનોલ નીપજો આપે છે) હોઈ શકે છે.

વેગ અચળાંકના એકમો :

સામાન્ય પ્રક્રિયા



$$\text{માટે વેગ} = k [A]^x [B]^y$$

જ્યાં  $x + y = n =$  પ્રક્રિયાનો ક્રમ

$$k = \frac{\text{વેગ}}{[A]^x [B]^y}$$

$$= \frac{\text{સાંદ્રતા}}{\text{સમય}} \times \frac{1}{(\text{સાંદ્રતા})^n} \quad (\text{જ્યાં } [A] = [B])$$

સાંદ્રતાનો SI એકમ mol L<sup>-1</sup> અને સમયનો SI એકમ લઈએ તો જુદા જુદા ક્રમની પ્રક્રિયાઓ માટે *k* ના એકમોની યાદી કોષ્ટક 4.3માં કરેલી છે.

કોષ્ટક 4.3 : વેગ અચળાંકના એકમો

પ્રક્રિયા	ક્રમ	વેગ અચળાંકના એકમ
શૂન્ય ક્રમ પ્રક્રિયા	0	$\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \times \frac{1}{(\text{mol L}^{-1})^0} = \text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$
પ્રથમ ક્રમ પ્રક્રિયા	1	$\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \times \frac{1}{(\text{mol L}^{-1})^1} = \text{s}^{-1}$
દ્વિતીય ક્રમ પ્રક્રિયા	2	$\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \times \frac{1}{(\text{mol L}^{-1})^2} = \text{mol}^{-1} \text{L s}^{-1}$

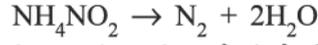
**કોયડો 4.4** નીચેના દરેક પ્રક્રિયા અચળાંક પરથી પ્રક્રિયા ક્રમ શોધી કાઢો.

(i)  $k = 2.3 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$  (ii)  $k = 3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

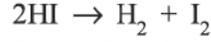
- ઉકેલ :** (i) બીજા ક્રમની પ્રક્રિયાના વેગ અચળાંકનો એકમ L mol<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> છે માટે  $k = 2.3 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , દ્વિતીય ક્રમની પ્રક્રિયા દર્શાવે છે.  
(ii) પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે વેગ અચળાંકનો એકમ s<sup>-1</sup> છે. આથી  $k = 3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા દર્શાવે છે.

#### 4.2.4 પ્રક્રિયાની આણ્વીકતા (Molecularity of a Reaction)

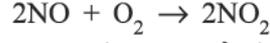
પ્રક્રિયાનો બીજો ગુણધર્મ આણ્વીકતા કહેવાય છે જે તેની ક્રિયાવિધિ સમજવામાં મદદ કરે છે. પ્રાથમિક પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા સ્પિસીઝ(પરમાણુ, આયન અથવા અણુ)ની સંખ્યા જે એકસાથે અથડાઈને (સંઘાત પામીને) રાસાયણિક પ્રક્રિયાને પૂર્ણ કરવામાં સંકળાયેલ છે તેને આણ્વીકતા કહે છે. જ્યારે એક જ પ્રક્રિયા કરતી સ્પિસીઝ સમાવિષ્ટ હોય ત્યારે પ્રક્રિયા એક આણ્વીય હોઈ શકે છે. ઉદાહરણ તરીકે એમોનિયમ નાઇટ્રાઇટનું વિઘટન.



દ્વિ-આણ્વીય પ્રક્રિયાઓમાં બે સ્પિસીઝ વચ્ચે એકસાથે સંઘાત સમાવિષ્ટ છે. ઉદાહરણ તરીકે, હાઈડ્રોજન આયોડાઈડનું વિયોજન.

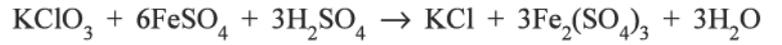


ત્રિ-આણ્વીય પ્રક્રિયાઓમાં ત્રણ સ્પિસીઝ વચ્ચે એકસાથે સંઘાત સમાવિષ્ટ છે. ઉદાહરણ તરીકે,

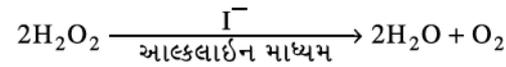


ત્રણ કરતાં વધુ અણુઓ સંઘાત પામે અને એકસાથે પ્રક્રિયા કરે તેની સંભાવ્યતા (સંભાવના) ઘણી ઓછી છે. આમ, તો આણ્વીકતા ત્રણ ધરાવતી પ્રક્રિયાઓ ઘણી ઓછી છે અને આ પ્રક્રિયા ઘણી ધીમી હોય છે.

આથી એ સ્પષ્ટ છે કે, તત્વયોગમિતિય સમીકરણમાં સમાવિષ્ટ ત્રણ કરતાં વધારે અણુઓની પ્રક્રિયાઓ ઘણી જ જટિલ હોય છે જે એક કરતાં વધુ તબક્કાઓમાં થતી હોય છે.



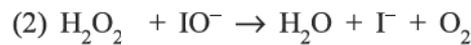
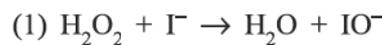
આ પ્રક્રિયા સ્પષ્ટ (apparent) રીતે સૂચવે છે કે પ્રક્રિયાનો ક્રમ દસ હશે પરંતુ ખરેખર તે દ્વિતીયક્રમની પ્રક્રિયા છે. આ દર્શાવે છે કે પ્રક્રિયા કેટલાક તબક્કામાં થાય છે. કયો તબક્કો એકંદર પ્રક્રિયાના વેગને નિયંત્રિત કરે છે ? આ પ્રશ્નનો ઉત્તર આપણે ત્યારે જ આપી શકીએ જો પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિનો અભ્યાસ કરીએ, તો; ઉદાહરણ તરીકે કોઈ એક રીતે હરીફાઈની રમતમાં ટીમની જીતની તક ટીમમાંની સૌથી ધીમી ગતિવાળી વ્યક્તિ પર આધાર રાખશે. એ જ પ્રમાણે, એકંદર પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયામાંના સૌથી ધીમા તબક્કાથી નિયંત્રિત થશે. જેને વેગ નિર્ણાયક તબક્કો કહે છે તે છે. હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડના વિઘટનની પ્રક્રિયા જેને આલ્કલાઈન માધ્યમમાં આયોડાઈડ આયન વડે ઉદ્દીપીત કરેલ છે.



આ પ્રક્રિયા માટે વેગ સમીકરણ આ પ્રમાણે જણાયું છે.

$$\text{વેગ} = \frac{-d[\text{H}_2\text{O}_2]}{dt} = k[\text{H}_2\text{O}_2][\text{I}^-]$$

આ પ્રક્રિયા બંને  $\text{H}_2\text{O}_2$  અને  $\text{I}^-$  ના સંદર્ભમાં પ્રથમક્રમની પ્રક્રિયા છે. પુરાવાઓ સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા બે તબક્કામાં થાય છે.



બંને તબક્કા દ્વિ-આણ્વીય પ્રાથમિક પ્રક્રિયાઓ છે.  $\text{IO}^-$  સ્પિસીઝને મધ્યવર્તી કહે છે કારણ કે તે પ્રક્રિયા દરમિયાન બને છે પરંતુ એકંદર પ્રક્રિયાના સમતોલિત સમીકરણમાં તે જોવા મળતી નથી. પ્રથમ તબક્કો ધીમો હોવાના કારણે વેગ નિર્ણાયક તબક્કો છે. આમ, મધ્યવર્તીની રચના(બનાવટ)નો વેગ આ પ્રક્રિયાનો વેગ નિર્ધારિત કરશે.

આથી અત્યાર સુધીની ચર્ચામાંથી આપણે નીચે પ્રમાણે તારવી શકીએ.

- પ્રક્રિયાનો ક્રમ પ્રાયોગિક રાશિ છે. તે શૂન્ય અથવા અપૂર્ણાંક હોઈ શકે પણ આણ્વીકતા શૂન્ય અથવા અપૂર્ણાંક ન હોય.
- પ્રક્રિયા ક્રમ પ્રાથમિક તથા જટિલ પ્રક્રિયાઓને લાગુ પાડી શકાય છે, જ્યારે આણ્વીકતા માત્ર પ્રાથમિક પ્રક્રિયાને લાગુ પાડી શકાય છે. જટિલ પ્રક્રિયા માટે આણ્વીકતાનો કોઈ અર્થ નથી.

- (iii) જટિલ પ્રક્રિયા માટે, ક્રમ સૌથી ધીમા તબક્કા વડે દર્શાવાય છે અને સૌથી ધીમા તબક્કાની આણ્વીકતા એકંદર પ્રક્રિયાના ક્રમ જેટલી હોય છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 4.3 પ્રક્રિયા  $A + B \rightarrow$  નીપજ માટે વેગ નિયમ  $r = k[A]^{\frac{1}{2}} [B]^2$  તરીકે દર્શાવાય છે. પ્રક્રિયાનો ક્રમ કેટલો હશે ?
- 4.4 X અણુઓનું Yમાં પરિવર્તન ગતિકીનો બીજો ક્રમ અનુસરે છે. જો Xની સાંદ્રતા ત્રણ ગણી વધારવામાં આવે, તો તે Yના નિર્માણ(બનાવટ)ને કેવી રીતે અસર કરશે ?

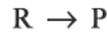
### 4.3 સંકલિત વેગ સમીકરણ (Integrated Rate Equations)

આપણે એ નોંધ્યું છે કે સાંદ્રતા પર આધારિત વેગને વિકલનીય વેગ સમીકરણ કહીએ છીએ. એ હંમેશાં અનુકૂળ નથી હોતું કે ત્વરિત વેગ નક્કી કરી શકીએ કારણ કે તે સાંદ્રતા વિરુદ્ધ સમયના આલેખમાંના (આકૃતિ 4.1) 't' બિંદુ આગળ સ્પર્શક (tangent)નો ઢાળ નક્કી કરી માપવામાં આવે છે. આ બાબત વેગ નિયમ નક્કી કરવામાં મુશ્કેલી ઊભી કરે છે અને તેથી પ્રક્રિયાનો ક્રમ નક્કી કરવો મુશ્કેલ બને છે. આ મુશ્કેલીને દૂર કરવા માટે આપણે વિકલનીય વેગ સમીકરણનું સંકલન કરી શકીએ. જેથી આપણે સીધી જ રીતે માપન કરેલ પ્રાયોગિક માહિતી એટલે કે જુદા જુદા સમયે સાંદ્રતા અને વેગ અચળાંક મળે.

સંકલિત વેગ સમીકરણ જુદા જુદા પ્રક્રિયા ક્રમને માટે જુદા જુદા હોય છે. આપણે આ સમીકરણો શૂન્ય ક્રમ અને પ્રથમ ક્રમની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ માટે નક્કી કરીશું.

#### 4.3.1 શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયા (Zero Order Reaction)

શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયાનો અર્થ છે કે પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયકની સાંદ્રતાના શૂન્ય ઘાતાંક(power)ને સમપ્રમાણ છે.



$$\text{વેગ} = -\frac{d[R]}{dt} = k[R]^0$$

કોઈ પણ રાશિનો શૂન્ય ઘાતાંક (power) એક એકમ છે.

$$\text{વેગ} = -\frac{d[R]}{dt} = k \times 1 \quad \text{અથવા}$$

$$d[R] = -k dt$$

બંને બાજુ સંકલન કરતાં

$$[R] = -k t + I \quad (4.5)$$

જ્યાં, I સંકલન અચળાંક છે.

t = 0 સમયે પ્રક્રિયક Rની સાંદ્રતા  $[R]_0$  જ્યાં  $[R]_0$  પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સાંદ્રતા છે.

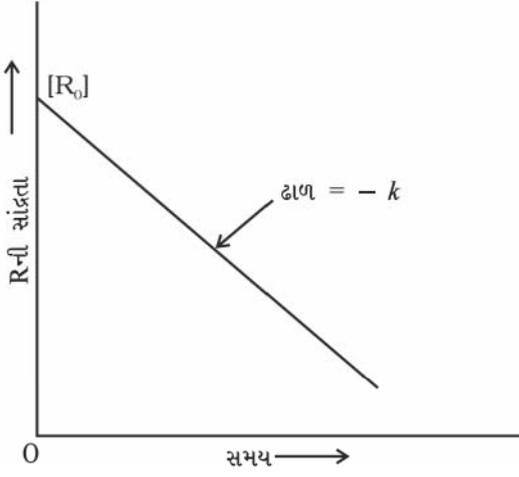
આ મૂલ્યોને સમીકરણ (4.5)માં મૂકતાં,

$$[R]_0 = -k \times 0 + I$$

$$[R]_0 = I$$

Iના મૂલ્યો સમીકરણ (4.5)માં મૂકતાં,

$$[R] = -k t + [R]_0 \quad (4.6)$$



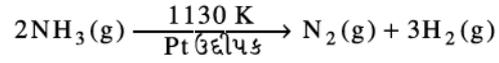
આકૃતિ 4.3 : શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયા માટે સાંદ્રતામાં ફેરફાર વિરુદ્ધ સમયનો આલેખ

સમીકરણ (4.6)ને સીધી રેખા  $y = mx + c$  ના આલેખ સાથે સરખાવીએ અને જો  $[R]$ નો  $t$  વિરુદ્ધ આલેખ દોરીએ, તો આપણને સીધી રેખા (આકૃતિ 4.3) મળશે જેના ઢાળ  $= -k$  અને આંતરછેદ બરાબર  $[R]_0$  થશે.

સમીકરણ (4.6)નું સરળીકરણ કરતાં આપણને વેગ અચળાંક  $k$  આ પ્રમાણે મળશે.

$$k = \frac{[R]_0 - [R]}{t} \quad (4.7)$$

શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયાઓ પ્રમાણમાં અસામાન્ય હોય છે પણ તેઓ વિશિષ્ટ પરિસ્થિતિમાં થાય છે. કેટલીક ઉત્સેચક ઉદ્દીપીત પ્રક્રિયાઓ અને જે પ્રક્રિયાઓ ધાતુની સપાટી પર થાય છે તે શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયાના થોડાક ઉદાહરણ છે. વાયુમય એમોનિયાનું પ્લેટિનમની સપાટી પર વિઘટન ઊંચા દબાણે શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયા છે.

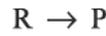


$$\text{વેગ} = k [\text{NH}_3]^0 = k$$

આ પ્રક્રિયામાં પ્લેટિનમ ઉદ્દીપક તરીકે વર્તે છે. ઊંચા દબાણે ધાતુની સપાટી વાયુ અણુઓથી સંતૃપ્ત થાય છે. આથી પ્રક્રિયાની પરિસ્થિતિમાં વધુ ફેરફાર ઉદ્દીપકની સપાટી પર એમોનિયાની સાંદ્રતામાં ફેરફાર કરવા અશક્તિમાન છે. જેથી પ્રક્રિયાનો વેગ સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર બને છે. ગોલ્ડની સપાટી પર  $\text{HI}$ નું ઉષ્મીય વિઘટન શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયાનું અન્ય ઉદાહરણ છે.

### 4.3.2 પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા (First Order Reaction)

પ્રક્રિયાઓના આ વર્ગમાં પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયક (R)ની સાંદ્રતાના ઘાતાંક બરાબર એકને સમપ્રમાણ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે,



$$\text{વેગ} = -\frac{d[\text{R}]}{dt} = k[\text{R}]$$

$$\text{અથવા } \frac{d[\text{R}]}{[\text{R}]} = -kdt$$

આ સમીકરણનું સંકલન કરતાં

$$\ln[\text{R}] = -kt + I \quad (4.8)$$

વળી,  $I$  સંકલન અચળાંક છે અને તેનું મૂલ્ય સરળતાથી નક્કી કરી શકાય છે.

જ્યારે  $t = 0$ ,  $[\text{R}] = [\text{R}]_0$  જ્યાં  $[\text{R}]_0$  પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સાંદ્રતા છે.

આથી સમીકરણ (4.8) આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\ln [\text{R}]_0 = -k \times 0 + I$$

$$\ln [\text{R}]_0 = I$$

સમીકરણ (4.8)માં  $I$ નું મૂલ્ય મૂકતાં,

$$\ln [\text{R}] = -kt + \ln [\text{R}]_0 \quad (4.9)$$

આ સમીકરણની પુનઃગોઠવણ કરતાં

$$\ln \frac{[R]}{[R]_0} = -kt$$

$$\text{અથવા } k = \frac{1}{t} \ln \frac{[R]_0}{[R]} \quad (4.10)$$

સમીકરણ (4.8)માંથી  $t_1$  સમયે,

$$*\ln[R]_1 = -kt_1 + *\ln[R]_0 \quad (4.11)$$

$t_2$  સમયે,

$$\ln[R]_2 = -kt_2 + \ln[R]_0 \quad (4.12)$$

જ્યાં  $[R]_1$  અને  $[R]_2$  અનુક્રમે પ્રક્રિયકની  $t_1$  અને  $t_2$  સમયે સાંદ્રતા છે.

સમીકરણ (4.12)ને (4.11)માંથી બાદ કરતાં,

$$\ln[R]_1 - \ln[R]_2 = -kt_1 - (-kt_2)$$

$$\ln \frac{[R]_1}{[R]_2} = k(t_2 - t_1)$$

$$k = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \frac{[R]_1}{[R]_2} \quad (4.13)$$

સમીકરણ (4.9) આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\ln \frac{[R]}{[R]_0} = -kt$$

બંને બાજુ પ્રતિઘાતાંક લેતા

$$[R] = [R]_0 e^{-kt} \quad (4.14)$$

સમીકરણ (4.9)ને  $y = mx + c$  સાથે સરખાવતાં જો આપણે  $\ln[R]$ નો  $t$  (આકૃતિ 4.4) વિરુદ્ધ આલેખ દોરીએ તો આપણને સીધી રેખા મળશે. જેમાં ઢાળ =  $-k$  અને આંતરછેદ બરાબર  $\ln[R]_0$  મળશે.

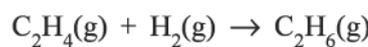
પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટેનું સમીકરણ (4.10) નીચેના સ્વરૂપમાં લખી શકાય.

$$k = \frac{2.303}{t} \log \frac{[R]_0}{[R]} \quad (4.15)$$

$$*\log \frac{[R]_0}{[R]} = \frac{kt}{2.303}$$

જો આપણે  $\log \frac{[R]_0}{[R]}$  વિરુદ્ધ  $t$ નો આલેખ દોરીએ (આકૃતિ 4.5), તો ઢાળ =  $k/2.303$ .

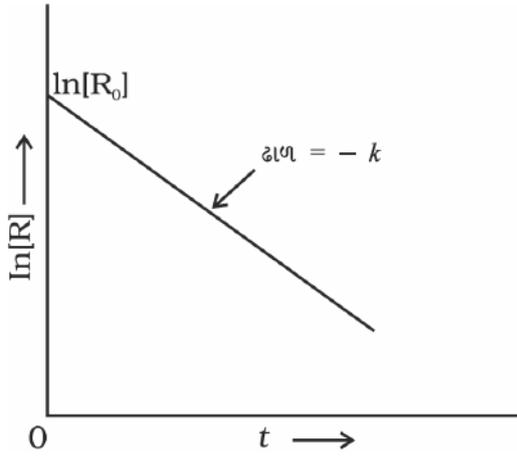
ઈથીનનું હાઈડ્રોજનીકરણ પ્રથમક્રમની પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ છે.



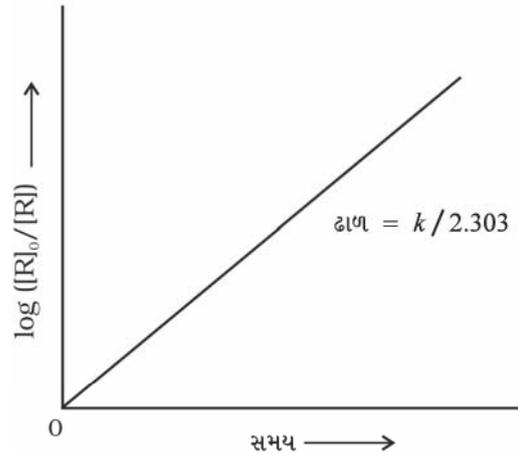
$$\text{વેગ} = k [C_2H_4]$$

બધી જ કુદરતી અને કૃત્રિમ રેડિયોસક્રિય અસ્થાયી કેન્દ્રોનો ક્ષય પ્રથમ ક્રમની ગતિકી પ્રમાણે થાય છે.

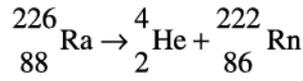
\*  $\ln$  અને  $\log$  (logarithms) માટે પરિશિષ્ટ-IV જુઓ.



આકૃતિ 4.4 : પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે  $\ln[R]$  અને  $t$ નો આલેખ



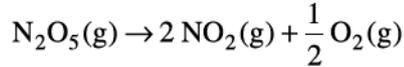
આકૃતિ 4.5 : પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે  $\log([R]_0/[R])$  વિરુદ્ધ  $t$ નો આલેખ



$$\text{વેગ} = k [\text{Ra}]$$

$\text{N}_2\text{O}_5$  અને  $\text{N}_2\text{O}$ નું વિઘટન પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાના કેટલાક વધારાના ઉદાહરણ છે.

**કોયડો 4.5** નીચેની પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાને અનુસરતી પ્રક્રિયા માટે  $\text{N}_2\text{O}_5$ ની પ્રારંભિક સાંદ્રતા 318 K તાપમાને  $1.24 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  છે.



$\text{N}_2\text{O}_5$  સાંદ્રતા 60 મિનિટ પછી  $0.20 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  છે. 318 K તાપમાને પ્રક્રિયાનો વેગ અચળાંક ગણો.

**ઉકેલ :** પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે

$$\log \frac{[R]_1}{[R]_2} = \frac{k(t_2 - t_1)}{2.303}$$

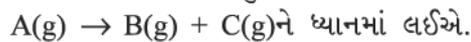
$$k = \frac{2.303}{(t_2 - t_1)} \log \frac{[R]_1}{[R]_2}$$

$$k = \frac{2.303}{(60 \text{ min} - 0 \text{ min})} \log \frac{1.24 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}}{0.20 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}}$$

$$= \frac{2.303}{60} \log 6.2 \text{ min}^{-1}$$

$$k = 0.0304 \text{ min}^{-1}$$

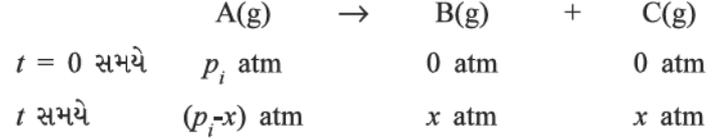
આપણે કોઈ ખાસ વાયુમય કલાની પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા



ને ધ્યાનમાં લઈએ.

ધારો કે Aનું આંશિક દબાણ  $p_i$  છે અને  $p_t$  કુલ દબાણ  $t$  સમયે છે. આવી પ્રક્રિયા માટે સંકલિત વેગ સમીકરણ નીચે પ્રમાણે ઉપજાવી શકાય. કુલ દબાણ  $P_t = p_A + p_B + p_C$  (દબાણના એકમો)

$p_A, p_B, p_C$  અનુક્રમે A, B, Cના આંશિક દબાણ છે. જો A ના દબાણમાં થતો ઘટાડો  $t$  સમયે  $x$  atm હોય તો B અને C દરેકના એક મોલ બને છે. આજ સમયે બનતા B અને C દરેકના દબાણમાં થતો વધારો  $x$  atm છે.



જ્યાં  $p_i$  પ્રારંભિક દબાણ  $t = 0$  સમયે છે.

$$p_t = (p_i - x) + x + x = p_i + x$$

$$x = (p_t - p_i)$$

$$\begin{aligned} \text{જ્યાં } p_A &= p_i - x = p_i - (p_t - p_i) \\ &= 2p_i - p_t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \left( \frac{2.303}{t} \right) \left( \log \frac{p_i}{p_A} \right) \quad (4.16) \\ &= \frac{2.303}{t} \log \frac{p_i}{(2p_i - p_t)} \end{aligned}$$

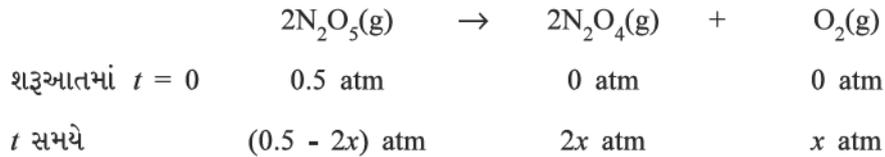
**કોયડો 4.6** અચળ દબાણે  $\text{N}_2\text{O}_5$  (g) ના ઉષ્મીય વિઘટનની પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે નીચેની માહિતી મળેલ છે.



ક્રમ નં.	સમય/s	કુલ દબાણ/(atm)
1	0	0.5
2	100	0.512

વેગ અચળાંક ગણો.

**ઉકેલ :** ધારો કે  $\text{N}_2\text{O}_5$  (g)નું દબાણ  $2x$  atm જેટલું ઘટે છે. બે મોલ  $\text{N}_2\text{O}_5$  વિઘટન પામી બે મોલ  $\text{N}_2\text{O}_4$  અને એક મોલ  $\text{O}_2$  (g) બને છે.  $\text{N}_2\text{O}_4$  (g)નું દબાણ  $2x$  atm વધે છે. જ્યારે  $x$  atm  $\text{O}_2$  (g) નું વધે છે.



$$\begin{aligned} p_t &= p_{\text{N}_2\text{O}_5} + p_{\text{N}_2\text{O}_4} + p_{\text{O}_2} \\ &= (0.5 - 2x) + 2x + x = 0.5 + x \end{aligned}$$

$$x = p_t - 0.5$$

$$p_{\text{N}_2\text{O}_5} = 0.5 - 2x$$

$$= 0.5 - 2(p_t - 0.5) = 1.5 - 2p_t$$

$$t = 100 \text{ s સમયે } p_t = 0.512 \text{ atm}$$

$$p_{\text{N}_2\text{O}_5} = 1.5 - 2 \times 0.512 = 0.476 \text{ atm}$$

સમીકરણ (4.16)નો ઉપયોગ કરતાં

$$k = \frac{2.303}{t} \log \frac{p_i}{p_A} = \frac{2.303}{100 \text{ s}} \log \frac{0.5 \text{ atm}}{0.476 \text{ atm}}$$

$$= \frac{2.303}{100 \text{ s}} \times 0.0216 = 4.98 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

### 4.3.3 પ્રક્રિયાનું અર્ધઆયુષ્ય (Half-Life of a Reaction)

પ્રક્રિયાનું અર્ધઆયુષ્ય એવો સમય છે, જ્યારે પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સાંદ્રતા ઘટીને અડધી થાય છે. તેને  $t_{1/2}$  વડે રજૂ કરવામાં આવે છે.

શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયાને વેગ અચળાંક સમીકરણ 4.7 પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$k = \frac{[\text{R}]_0 - [\text{R}]}{t}$$

$$t = t_{1/2}, [\text{R}] = \frac{1}{2}[\text{R}]_0$$

$t_{1/2}$  સમયે વેગ અચળાંક થશે.

$$k = \frac{[\text{R}]_0 - \frac{1}{2}[\text{R}]_0}{t_{1/2}}$$

$$t_{1/2} = \frac{[\text{R}]_0}{2k}$$

એ સ્પષ્ટ છે કે શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયા માટે  $t_{1/2}$  પ્રક્રિયકોની પ્રારંભિક સાંદ્રતાના સમપ્રમાણમાં છે અને વેગ અચળાંકના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં છે.

પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે,

$$k = \frac{2.303}{t} \log \frac{[\text{R}]_0}{[\text{R}]} \quad (4.15)$$

$$t_{1/2} \text{ સમયે, } [\text{R}] = \frac{[\text{R}]_0}{2} \quad (4.16)$$

આથી ઉપરનું સમીકરણ થશે.

$$k = \frac{2.303}{t_{1/2}} \log \frac{[\text{R}]_0}{[\text{R}]/2}$$

$$\text{અથવા } t_{1/2} = \frac{2.303}{k} \log 2$$

$$t_{1/2} = \frac{2.303}{k} \times 0.301$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k} \quad (4.17)$$

એ જોઈ શકાય છે કે પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે અર્ધઆયુષ્ય સમય અચળ છે એટલે કે પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતી સ્પિસીઝની પ્રારંભિક સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર છે. પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાનું અર્ધઆયુષ્ય વેગ અચળાંકમાંથી ઝડપથી ગણી શકાય છે અને તેનાથી ઊલટું પણ ગણી શકાય છે.

શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયા માટે  $t_{1/2} \propto [R]_0$ . પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે  $t_{1/2}$ ,  $[R]_0$  થી સ્વતંત્ર છે.

**કોયડો 4.7** એક પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે વેગ અચળાંક  $k = 5.5 \times 10^{-14} \text{ s}^{-1}$  જણાયો છે. પ્રક્રિયાનું અર્ધઆયુષ્ય શોધો.

**ઉકેલ :** પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે અર્ધઆયુષ્ય

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{5.5 \times 10^{-14} \text{ s}^{-1}} = 1.26 \times 10^{13} \text{ s}$$

**કોયડો 4.8** દર્શાવો કે પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયામાં 99.9 % પ્રક્રિયા પૂર્ણ કરવા માટે જરૂરી સમય પ્રક્રિયા અર્ધઆયુષ્ય ( $t_{1/2}$ ) ના 10 ગણો છે.

**ઉકેલ :** જ્યારે પ્રક્રિયા 99.9 % પૂર્ણ થાય ત્યારે  $[R]_n = [R]_0 - 0.999[R]_0$

$$k = \frac{2.303}{t} \log \frac{[R]_0}{[R]}$$

$$= \frac{2.303}{t} \log \frac{[R]_0}{[R]_0 - 0.999[R]_0} = \frac{2.303}{t} \log 10^3$$

$$t = 6.909/k$$

પ્રક્રિયાના અર્ધઆયુષ્ય માટે

$$t_{1/2} = 0.693/k$$

$$\frac{t}{t_{1/2}} = \frac{6.909}{k} \times \frac{k}{0.693} = 10$$

કોષ્ટક 4.4માં શૂન્ય અને પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટેના સંકલિત નિયમોના ગણિતીય વિશિષ્ટતાઓનો સારાંશ આપ્યો છે.

કોષ્ટક 4.4 : શૂન્ય અને પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાઓ માટે સંકલિત વેગ નિયમો

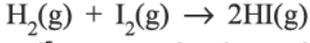
ક્રમ	પ્રક્રિયા પ્રકાર	વિકલનીય વેગ નિયમ	સંકલિત વેગ નિયમ	સીધી રેખા આલેખ	અર્ધ-આયુષ્ય	kના એકમો
0	$R \rightarrow P$	$d[R]/dt = -k$	$kt = [R]_0 - [R]$	$[R]$ વિરુદ્ધ $t$	$[R]_0/2k$	સાંદ્રતા સમય <sup>-1</sup> અથવા $\text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$
1	$R \rightarrow P$	$d[R]/dt = -k[R]$	$[R] = [R]_0 e^{-kt}$ અથવા $kt = \ln \frac{[R]_0}{[R]}$	$\ln[R]$ વિરુદ્ધ $t$	$\ln 2/k$ $= \frac{0.693}{k}$	સમય <sup>-1</sup> અથવા $\text{s}^{-1}$



$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (4.18)$$

જ્યાં A આર્હેનિયસ અવયવ અથવા આવૃત્તિ અવયવ છે. તેને પૂર્વ ઘાતાંક (Pre-exponential) અવયવ પણ કહેવામાં આવે છે. તે કોઈ ચોક્કસ પ્રક્રિયા માટે વિશિષ્ટ અચળાંક છે. R વાયુ અચળાંક અને  $E_a$  જૂલ/મોલમાં ( $J mol^{-1}$ ) માપેલ સક્રિયકરણ ઊર્જા છે.

નીચેની સરળ પ્રક્રિયાનો ઉપયોગ કરીને તે સહેલાઈથી સમજી શકાશે.



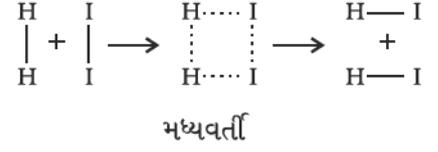
આર્હેનિયસ પ્રમાણે, જો હાઈડ્રોજનનો અણુ આયોડિનના અણુ સાથે સંઘાત પામશે અને અસ્થાયી મધ્યવર્તી (આકૃતિ 4.6) રચશે, તો આ પ્રક્રિયા પરિણમશે. તે ઘણા ઓછા સમય માટે અસ્તિત્વ ધરાવે છે અને પછી તે તૂટી જાય છે અને હાઈડ્રોજન આયોડાઈડના બે અણુઓ બનશે.

આ મધ્યવર્તીની સક્રિયકૃતસંકીર્ણ (C)ની રચના માટે જરૂરી ઊર્જાને સક્રિયકરણ ઊર્જા ( $E_a$ ) કહે છે. આકૃતિ 4.7 જો સ્થિતિજ ઊર્જા વિરુદ્ધ પ્રક્રિયા અક્ષ(co-ordinate)નો આલેખ દોરવાથી મળે છે. પ્રક્રિયા અક્ષ જ્યારે પ્રક્રિયક નીપજમાં ફેર પામે છે ત્યારે ઊર્જા ફેરફારની પરિચ્છેદિકા (profile) છે.

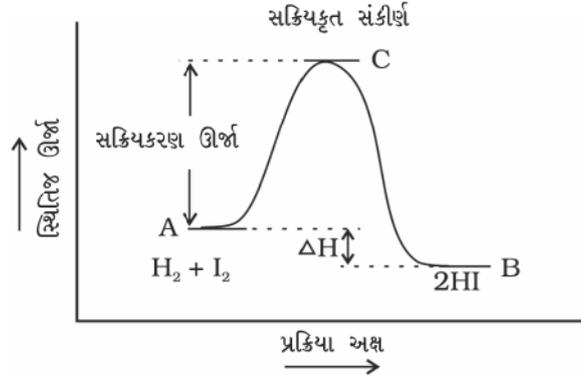
જ્યારે સંકીર્ણ વિઘટન પામીને નીપજ બનાવે છે ત્યારે કેટલીક ઊર્જા મુક્ત થાય છે. આથી પ્રક્રિયાની અંતિમ એન્થાલ્પી પ્રક્રિયકો અને નીપજોના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખે છે.

પ્રક્રિયા કરતી બધી જ સ્પિસીઝમાં બધા જ અણુઓ સમાન ગતિજ ઊર્જા ધરાવતા નથી. કોઈ પણ એક અણુની વર્તણૂક પરિશુદ્ધતા સાથે પ્રાકૃતિકરણ કરવી મુશ્કેલ છે. લુડવિગ બોલ્ટ્ઝમેન (Ludwig Boltzmann) અને જેમ્સ ક્લાર્ક મેક્સવેલ (James Clark Maxwell) એ ઘણા અણુઓની વર્તણૂક દર્શાવવા સાંખ્યિકીયશાસ્ત્રનો ઉપયોગ કર્યો. તેમના મત પ્રમાણે, આપેલ ગતિજ ઊર્જા(E) એ અણુઓના અંશ ( $N_E/N_T$ ) વિરુદ્ધ ગતિજ ઊર્જાના આલેખ (આકૃતિ 4.8) પરથી ગતિજ ઊર્જાનું વતિરણ વર્ણવી શકાય.  $N_E$ , E ઊર્જા ધરાવતા અણુની સંખ્યા છે એ  $N_T$ , અણુઓની કુલ સંખ્યા છે.

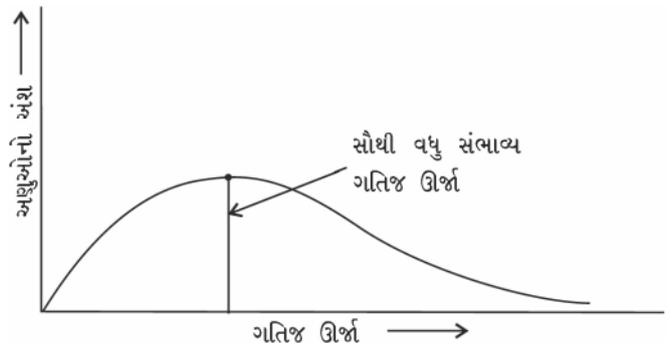
વક્રનું શિખર (peak) સૌથી વધુ સંભાવ્ય ગતિજ ઊર્જા એટલે કે અણુઓના મહત્તમ અંશની ગતિજ ઊર્જા છે. ઊર્જાના આ મૂલ્યથી ઉપર કે નીચે અણુઓની સંખ્યા ઘટતી જાય છે.



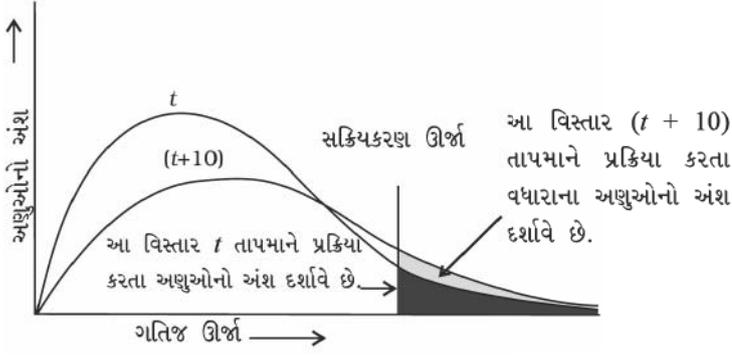
આકૃતિ 4.6 : મધ્યવર્તી દ્વારા HIનું નિર્માણ



આકૃતિ 4.7 : સ્થિતિજ ઊર્જા વિરુદ્ધ પ્રક્રિયા અક્ષનો આલેખ દર્શાવતી આકૃતિ



આકૃતિ 4.8 : વાયુમય અણુઓ વચ્ચે ઊર્જા દર્શાવતો વિતરણ વક્ર



આકૃતિ 4.9 : પ્રક્રિયાના વેગનો તાપમાન પર આધાર દર્શાવતો વિતરણ વક્ર

જ્યારે તાપમાન વધારવામાં આવે છે ત્યારે વક્રમાંનું મહત્તમ સ્થાન ઊંચી ઊર્જાના મૂલ્ય તરફ ખસે છે (આકૃતિ 4.9) અને વક્ર વધુ પહોળો થાય છે. એટલે કે જમણી બાજુ પ્રસરે છે જેથી કરીને વધુ ઊંચી ઊર્જા ધરાવતા કણોનું પ્રમાણ વધારે થાય છે. વક્રની અંદરનું ક્ષેત્રફળ (વિસ્તાર) અચળ હોવું જોઈએ કારણ કે, દરેક સમયે કુલ સંભાવ્યતા એક હોવી જોઈએ. આપણે મેક્સવેલ-બોલ્ટ્ઝમેન વિતરણવક્ર પર  $E_a$ નું સ્થાન ચિહ્નિત કરીશું (આકૃતિ 4.9).

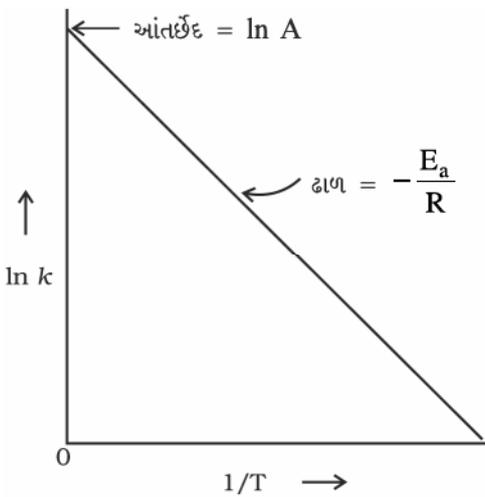
પદાર્થનું તાપમાન વધારતાં અણુઓનો અંશ વધે છે જે  $E_a$  કરતાં વધારે ઊર્જા સાથે અથડાય છે. આકૃતિમાંથી સ્પષ્ટ છે કે વક્રમાં (t + 10) તાપમાને સક્રિયકરણ ઊર્જા કરતાં વધારે ઊર્જા ધરાવતાં અણુઓનો અંશ બમણો થાય છે. જે પ્રક્રિયાના વેગને બમણા થવા તરફ દોરે છે.

આર્હેનિયસ સમીકરણ (4.18)માં અવયવ  $e^{-E_a/RT}$ ,  $E_a$  કરતાં વધારે ગતિજ ઊર્જા ધરાવતા અણુઓના અંશને અનુરૂપ છે. સમીકરણ (4.18)ની બંને બાજુ સામાન્ય (natural) ઘાતાંક લેતાં,

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A \quad (4.19)$$

આકૃતિ 4.10માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સમીકરણ (4.19) પ્રમાણે  $\ln k$  વિરુદ્ધ  $1/T$ નો આલેખ સીધી રેખા આપે છે.

આમ આર્હેનિયસ સમીકરણ (4.18)માંથી જણાયું છે કે તાપમાનનો વધારો અથવા સક્રિયકરણ ઊર્જામાં ઘટાડો પ્રક્રિયાનો વેગ અને વેગઅચળાંકમાં ઘાતાંકમાં વધારો કરશે.



આકૃતિ 4.10 :  $\ln k$  અને  $\frac{1}{T}$  વચ્ચેનો આલેખ

આકૃતિ 4.10માં ઢાળ =  $-\frac{E_a}{R}$  અને આંતરછેદ =  $\ln A$ . આથી આપણે અને A આ મૂલ્યોનો ઉપયોગ કરી ગણી શકીએ.

આપેલ તાપમાન  $T_1$  એ સમીકરણ (4.19) બનશે.

$$\ln k_1 = -\frac{E_a}{RT_1} + \ln A \quad (4.20)$$

$T_2$  તાપમાને સમીકરણ (4.19) બનશે.

$$\ln k_2 = -\frac{E_a}{RT_2} + \ln A \quad (4.21)$$

( $\ln A$  આપેલ પ્રક્રિયા માટે અચળાંક છે તેથી)

$k_1$  અને  $k_2$  અનુક્રમે તાપમાન  $T_1$  અને  $T_2$  એ વેગ અચળાંકના મૂલ્યો છે.

સમીકરણ (4.20)ને (4.21)માંથી બાદ કરતાં આપણને મળશે.

$$\ln k_2 - \ln k_1 = \frac{E_a}{RT_1} - \frac{E_a}{RT_2}$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

$$\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] \quad (4.22)$$

$$\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right]$$

#### કોયડો 4.9

એક પ્રક્રિયાના વેગ અચળાંક 500 K અને 700 K તાપમાને અનુક્રમે 0.02 s<sup>-1</sup> અને 0.07 s<sup>-1</sup> છે. E<sub>a</sub> અને A ની મૂલ્યો ગણો.

ઉકેલ :

$$\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right]$$

$$\log \frac{0.07}{0.02} = \left( \frac{E_a}{2.303 \times 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}} \right) \left[ \frac{700 - 500}{500 \times 700} \right]$$

$$0.544 = E_a \times 5.714 \times 10^{-4} / 19.15$$

$$E_a = 0.544 \times 19.15 / 5.714 \times 10^{-4} = 18230.8 \text{ J}$$

$$k = A e^{-E_a/RT} \text{ હોવાથી}$$

$$0.02 = A e^{-18230.8 / 8.314 \times 500}$$

$$A = 0.02 / 0.012 = 1.61$$

#### કોયડો 4.10

ઇથાઇલ આયોડાઇડના વિઘટનની પ્રથમક્રમની પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે થાય છે.



600 K તાપમાને 1.60 × 10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup> છે. તેની સક્રિયકરણ ઊર્જા 209 kJ / mol છે. 700 K તાપમાને પ્રક્રિયાનો વેગ અચળાંક ગણો.

ઉકેલ :

આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$\log k_2 - \log k_1 = \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

$$\log k_2 = \log k_1 + \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

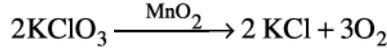
$$= \log (1.60 \times 10^{-5}) + \frac{209000 \text{ J mol}^{-1}}{2.303 \times 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} \times \left[ \frac{1}{600\text{K}} - \frac{1}{700\text{K}} \right]$$

$$\log k_2 = -4.796 + 2.549 = -2.197$$

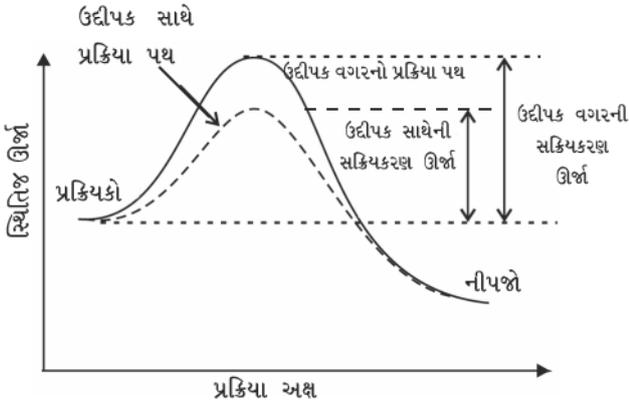
$$k_2 = 6.36 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

#### 4.4.1 ઉદ્દીપકની અસર (Effect of Catalyst)

ઉદ્દીપક એવો પદાર્થ છે જે પોતાનામાં કાયમી રાસાયણિક ફેરફારમાં પામ્યા વગર પ્રક્રિયાનો વેગ વધારે છે. ઉદાહરણ તરીકે  $\text{MnO}_2$  નીચેની પ્રક્રિયાને તેનો વેગ નોંધપાત્ર રીતે વધારવા માટે ઉદ્દીપીત કરે છે.



ઉદ્દીપક શબ્દનો પ્રયોગ જ્યારે ઉમેરેલો પદાર્થ પ્રક્રિયાના વેગ ઘટાડે છે ત્યારે કરવો જોઈએ નહિ. આવા કિસ્સામાં તેને નિરોધક (inhibitor) કહેવામાં આવે છે. ઉદ્દીપકનું કાર્ય મધ્યવર્તી સંકીર્ણ સિદ્ધાંતના આધારે સમજાવી શકાય. આ સિદ્ધાંત પ્રમાણે ઉદ્દીપક રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો સાથે ક્ષણિક બંધ રચે છે જે મધ્યવર્તી સંકીર્ણમાં પરિણમે છે. આને ક્ષણિક અસ્તિત્વ હોય છે અને વિઘટન પામીને નીપજો તથા ઉદ્દીપક આપે છે.



આકૃતિ 4.11 : સક્રિયકરણ ઊર્જા પર ઉદ્દીપકની અસર

એવું માનવામાં આવે છે કે ઉદ્દીપક વૈકલ્પિક પ્રક્રિયામાર્ગ અથવા પ્રક્રિયા ક્રિયાવિધિ પૂરી પાડે છે. જેમાં સક્રિયકરણ ઊર્જાનો ઘટાડો કરે છે. તેથી આકૃતિ 4.11માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સ્થિતિજ ઊર્જા અંતરાય(barrier)ને ઘટાડે છે.

આર્હેનિયસ સમીકરણ (4.18)માંથી સ્પષ્ટ થાય છે કે સક્રિયકરણ ઊર્જા જેટલી ઓછી તેટલો જ પ્રક્રિયા વેગ વધુ ઝડપી બનશે.

ઉદ્દીપકનું ઓછું પ્રમાણ પ્રક્રિયકોના વધારે જથ્થાને ઉદ્દીપીત કરી શકે છે. ઉદ્દીપક પ્રક્રિયાની ગિબ્સ-ઊર્જા ( $\Delta G$ )માં ફેરફાર કરતો નથી. તે સ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપીત કરે છે. પરંતુ બિનસ્વયંસ્ફુરિત પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપીત કરતો નથી. એમ પણ જણાયું છે કે તે પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક પણ બદલતો નથી. પરંતુ સંતુલન પ્રાપ્ત કરવાનો સમય ઝડપી બનાવે છે. તે પુરોગામી અને પ્રતિગામી બંને પ્રક્રિયાઓને સરખી માત્રામાં (કક્ષાએ) ઉદ્દીપીત કરે છે અને તેથી તે સરખો જ રહે છે પણ વહેલા મેળવી શકાય છે.

#### 4.5 રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓનો સંઘાત સિદ્ધાંત (Collision Theory of Chemical Reactions)

આર્હેનિયસનું સમીકરણ ઘણા વિશાળ સંજોગોમાં લાગુ પાડી શકાય છે પરંતુ સંઘાત સિદ્ધાંત જે મેક્સ ટ્રોટ્ઝ અને વિલિયમ લુઈસ (Max Trautz and William Lewis) 1916-18માં વિકસાવેલો તે પ્રક્રિયાની ઊર્જય (energetic) અને ક્રિયાવિધિય બાબતોને વધારે ગહનતાપૂર્વક સમજાવે છે. તે વાયુઓની ગતિજ ઊર્જા પર આધારિત છે. આ સિદ્ધાંત પ્રમાણે પ્રક્રિયક અણુઓને સખત ગોળાઓ તરીકે

અને પ્રક્રિયાને અણુઓ અથડાય ત્યારે થવા વિષે અભિધારણા કરી. પ્રક્રિયા મિશ્રણના પ્રતિ સેકન્ડ પ્રતિ એકમ કદે સંઘાતની સંખ્યાને સંઘાત આવૃત્તિ (Z) તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. બીજું પરિબળ (factor) જે રાસાયણિક પ્રક્રિયાના વેગને અસર કરે છે તે છે સક્રિયકરણ ઊર્જા (જેનો આપણે અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છીએ) દ્વિ-આણ્વીય પ્રાથમિક પ્રક્રિયા  $A + B \rightarrow$  નીપજો, માટે પ્રક્રિયાનો વેગ આ પ્રમાણે અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

$$\text{વેગ} = Z_{AB} e^{-E_a/RT} \quad (4.23)$$

જ્યાં  $Z_{AB}$  પ્રક્રિયકો A અને Bની સંઘાત આવૃત્તિ અભિવ્યક્ત કરે છે અને  $e^{-E_a/RT}$ ,  $E_a$  કરતાં વધારે કે ઓછી ઊર્જા ધરાવતા અણુઓનો અંશ (fraction) છે. સમીકરણ (4.23)ને આર્હેનિયસ સમીકરણ સાથે સરખાવતાં આપણે કહી શકીએ કે A સંઘાત આવૃત્તિ સાથે સંબંધિત છે.

સમીકરણ (4.23) જે પ્રક્રિયાઓ પરમાણ્વીય સ્પિસીઝ અથવા સાદા અણુને સમાવિષ્ટ કરે છે તેમના વેગ અચળાંકના મૂલ્યોનું પ્રાકૃત્યન પ્રમાણમાં સારી રીતે કરે છે. પરંતુ સંકીર્ણ અણુઓ માટે અર્થસૂચક (significant) વિચલન જોવા મળે છે. આનું કારણ એ હોઈ શકે કે અણુઓના બધા જ સંઘાત નીપજનું નિર્માણ કરતા નથી. એવા સંઘાત કે જેમાં અણુઓ પુરતી ગતિજ ઊર્જા (દહેલી શ્રેશોલ્ડ) ઊર્જા\* કહેવાય છે) અને યોગ્ય દિક્વિન્યાસ સાથે સંઘાત પામે છે, તેથી પ્રક્રિયા કરતી સ્પિસીઝ વચ્ચેના બંધનું તૂટવું અને નવા બંધો રચાઈને નીપજોનું બનવું અનુકૂળ થાય છે તેને અસરકારક સંઘાત કહેવાય છે.

ઉદાહરણ તરીકે, બ્રોમોમિથેનમાંથી મિથેનોલની બનાવટ આકૃતિ 4.12માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પ્રક્રિયક અણુઓના દિક્વિન્યાસ પર આધાર રાખે છે.

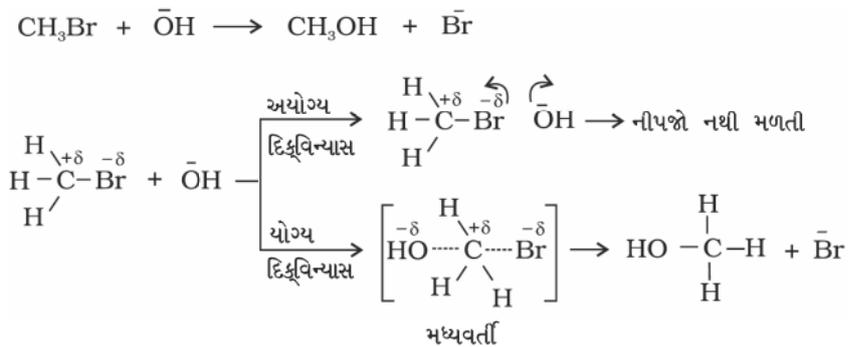
પ્રક્રિયક અણુઓનું યોગ્ય દિક્વિન્યાસ બંધની રચના તરફ દોરે છે. જ્યારે અયોગ્ય દિક્વિન્યાસ તેમને માત્ર પાછા ધકેલે છે અને નીપજ બનતી નથી.

અસરકારક સંઘાતને સમજવા માટે બીજા અવયવ P સંભાવ્યતા અથવા ત્રિ-વિમવિન્યાસી (steric) અવયવ રજૂ કરાયો હતો. તે એ હકીકતનો સમાવેશ કરે છે કે સંઘાતમાં અણુઓ યોગ્ય રીતે દિક્વિન્યાસ થયેલા હોવા જોઈએ.

$$\text{વેગ} = P Z_{AB} e^{-E_a/RT}$$

આમ, સંઘાત સિદ્ધાંતમાં સક્રિયકરણ ઊર્જા અને અણુઓનો દિક્વિન્યાસ બંને સાથે મળીને અસરકારક સંઘાત માટેનું અભિલક્ષણ (criteria) અને તેથી રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ નક્કી કરે છે.

સંઘાત સિદ્ધાંત પણ કેટલીક ખામીઓ ધરાવે છે જેમ કે તે અણુઓને / પરમાણુઓને સખત ગોળા ગણે છે અને તેમની સંરચના બાબતને અવણગે છે. તમે ઉચ્ચ ધોરણોના તમારા અભ્યાસ દરમિયાન આ સિદ્ધાંત વિશેની વિગતો અને બીજા સિદ્ધાંતો વિશે વધુ શીખશો.



આકૃતિ 4.12 : યોગ્ય અને અયોગ્ય દિક્વિન્યાસ ધરાવતા અણુઓ દર્શાવતું ચિત્ર

\* દહેલીઊર્જા = સક્રિયકરણ ઊર્જા + પ્રક્રિયા કરતી સ્પિસીઝ વડે ધારણ કરાયેલી ઊર્જા

## લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 4.7 વેગ અચળાંક પર તાપમાનની શું અસર થશે ?
- 4.8 રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ નિરપેક્ષ તાપમાન 298 Kમાંથી 10 K વધારતાં પ્રક્રિયા વેગ બમણો થાય છે.  $E_a$  ગણો.
- 4.9  $2\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$  પ્રક્રિયા માટે સક્રિયકરણ ઊર્જા  $209.5 \text{ k J mol}^{-1}$  છે. સક્રિયકરણ ઊર્જા જેટલી અથવા વધારે ઊર્જા ધરાવતા પ્રક્રિયકના અણુઓનો અંશ ગણો.

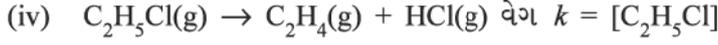
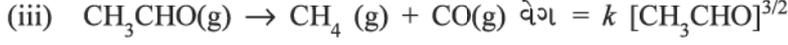
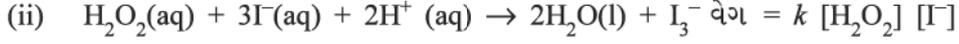
## સારાંશ

રાસાયણિક ગતિકી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓનો પ્રક્રિયા વેગ, જુદા જુદા ચલોની અસર, પમાણુઓની પુનઃ ગોઠવણી અને મધ્યવર્તીની રચના અંગેનો અભ્યાસ છે. પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયકની સાંદ્રતામાં ઘટાડો અથવા નીપજની સાંદ્રતામાં વધારો પ્રતિ સમય સાથે સંકળાયેલ છે. સમયની કોઈ એક ક્ષણે ત્વરિત વેગ તરીકે અભિવ્યક્ત કરી શકાય, અને લાંબા સમયગાળા દરમિયાનનો સરેરાશ વેગ પણ અભિવ્યક્ત કરી શકાય. ઘણા બધા પરિબળો જેવાં કે તાપમાન, પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા, ઉદ્દીપક પ્રક્રિયા વેગને અસર કરે છે. પ્રક્રિયાના વેગની ગાણિતીય રીતે રજૂઆતને વેગ નિયમ કહે છે. તેને પ્રાયોગિક રીતે જ નક્કી કરવો પડે છે એ તેનું પ્રાકૃતિક થઈ શકતું નથી. પ્રક્રિયાનો ક્રમ પ્રક્રિયકના સંદર્ભમાં તેની સાંદ્રતાનો ઘાતાંક છે જે વેગ નિયમ સમીકરણથી દર્શાવાય છે. પ્રક્રિયાનો ક્રમ જુદા જુદા પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતાના આવા બધા ઘાતાંકોનો સરવાળો છે. વેગ અચળાંક વેગ નિયમમાં સમપ્રમાણતા અવયવ છે. વેગ અચળાંક અને પ્રક્રિયાનો ક્રમ વેગ નિયમમાંથી અથવા સંકલિત વેગ સમીકરણમાંથી ગણી શકાય. માત્ર પ્રાથમિક પ્રક્રિયા માટે આણ્વીકતા વ્યાખ્યાયિત થાય છે. તેમના મૂલ્યો 1થી 3માં સીમિત છે. ક્રમ 0, 1, 2, 3 અથવા અપૂર્ણાંક પણ હોઈ શકે છે. પ્રક્રિયાનો ક્રમ અને આણ્વીકતા પ્રાથમિક પ્રક્રિયા માટે સરખા હોય છે.

વેગ અચળાંકનો તાપમાન પર આધાર આર્હેનિયસ સમીકરણ ( $k = Ae^{-E_a/RT}$ )થી વર્ણવી શકાય છે.  $E_a$  સક્રિયકરણ ઊર્જાને અનુરૂપ છે અને તેને સક્રિયકૃત સંકીર્ણ અને પ્રક્રિયક અણુઓ વચ્ચેના ઊર્જા તફાવતથી દર્શાવી શકાય છે અને A (આર્હેનિયસ અવયવ અથવા પૂર્વ-ઘાતાંક અવયવ) સંઘાત આવૃત્તિને અનુરૂપ છે. સમીકરણ સ્પષ્ટ પણે દર્શાવે છે કે તાપમાનમાં વધારો અથવા  $E_a$  માં ઘટાડો પ્રક્રિયા વેગને વધારા તરફ દોરી જશે. ઉદ્દીપકની હાજરી સક્રિયકરણ ઊર્જામાં ઘટાડો કરે છે જેથી પ્રક્રિયા માટે વૈકલ્પિક પથ પૂરો પાડે છે. સંઘાત સિદ્ધાંત પ્રમાણે, બીજો અવયવ P જેને ત્રિ-વિભવિન્યાસી અવયવ કહે છે. જે સંઘાત પામતા અણુઓના દિક્વિન્યાસનો સંદર્ભ દર્શાવે છે. તે અગત્યનો છે અને અસરકારક અથડામણમાં ફાળો આપે છે. આમ આર્હેનિયસ સમીકરણ  $k = PZ_{AB}e^{-E_a/RT}$  માં રૂપાંતરિત થાય છે.

## સ્વાધ્યાય

4.1 નીચેની પ્રક્રિયાઓ માટે વેગ અભિવ્યક્તિ (રજૂઆત) પરથી તેમના પ્રક્રિયા ક્રમ અને વેગ અચળાંકના પરિમાણો નક્કી કરો :



4.2 પ્રક્રિયા  $2\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{A}_2\text{B}$  માટે વેગ =  $k [\text{A}] [\text{B}]^2$  છે જેમાં  $k = 2.0 \times 10^{-6} \text{ mol}^{-2} \text{ L}^2 \text{ s}^{-1}$  છે. જ્યારે  $[\text{A}] = 0.1 \text{ mol L}^{-1}$ ,  $[\text{B}] = 0.2 \text{ mol L}^{-1}$  હોય ત્યારે પ્રક્રિયાનો પ્રારંભિક વેગ ગણો.  $[\text{A}]$  ઘટીને  $0.06 \text{ mol L}^{-1}$  થાય પછી પ્રક્રિયાનો વેગ ગણો.

4.3  $\text{NH}_3$ નું પ્લેટિનમની સપાટી પર વિઘટન શૂન્ય ક્રમની પ્રક્રિયા છે. જો  $k = 2.5 \times 10^{-4} \text{ mol}^{-1} \text{ L s}^{-1}$  હોય, તો  $\text{N}_2$  અને  $\text{H}_2$ ના નીપજના વેગ કેટલા હશે ?

4.4 ડાયમિથાઈલ ઇથરનું વિઘટન  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  અને  $\text{CO}$ માંની બનાવટમાં પરિણમે છે અને પ્રક્રિયા વેગ આ પ્રમાણે આપી શકાય છે.

$$\text{વેગ} = k [\text{CH}_3\text{OCH}_3]^{3/2}$$

પ્રક્રિયાનો વેગ બંધ પાત્રમાં દબાણનો વધારો કરીને અનુસરી (કરી) શકાય છે જેથી વેગ અચળાંક ડાયમિથાઈલના આંશિક દબાણમાં અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

$$\text{વેગ} = k (p_{\text{CH}_3\text{OCH}_3})^{3/2}$$

જો દબાણ bar અને સમય મિનિટમાં માપવામાં આવે, તો વેગ અને વેગ અચળાંકના એકમો શું હશે ?

4.5 રાસાયણિક પ્રક્રિયાના વેગને અસર કરતાં પરિબલો જણાવો.

4.6 એક પ્રક્રિયા પ્રક્રિયકના સંદર્ભમાં દ્વિતીય ક્રમની છે. પ્રક્રિયાનો વેગ કેવી રીતે અસર પામશે ? જો પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા (i) બમણી કરવામાં આવે (ii) અડધી કરવામાં આવે તો.

4.7 પ્રક્રિયાના વેગ અચળાંક પર તાપમાનની શું અસર છે ? તાપમાનની આ અસર વેગ અચળાંક પર જથ્થાત્મક રીતે (quantitatively) કેવી રીતે રજૂ કરી શકાય ?

4.8 પાણીમાં આભાસી પ્રથમક્રમની પ્રક્રિયામાં નીચેના પરિણામો મળ્યાં છે :

$t/\text{s}$	0	30	60	90
$[\text{A}]/\text{mol L}^{-1}$	0.55	0.31	0.17	0.085

30 અને 60 સેકન્ડ વચ્ચેના સમયગાળાનો સરેરાશ પ્રક્રિયા વેગ ગણો.

4.9 એક પ્રક્રિયા Aના સંદર્ભમાં પ્રથમ ક્રમની છે અને Bના સંદર્ભમાં દ્વિતીય ક્રમની છે :

(i) વિકલનીય વેગ સમીકરણ લખો.

(ii) Bની સાંદ્રતા ત્રણ ગણી વધારવામાં આવે, તો વેગ કેવી રીતે અસર પામશે ?

(iii) જો A અને B બંનેની સાંદ્રતા બમણી કરવામાં આવે, તો વેગ કેવી રીતે અસર પામશે ?

- 4.10 A અને B વચ્ચેની પ્રક્રિયામાં પ્રારંભિક પ્રક્રિયા વેગ ( $r_0$ ) A અને Bની જુદી જુદી સાંદ્રતાએ માપવામાં આવ્યા હતા. જે નીચે આપેલા છે :

A/mol L <sup>-1</sup>	0.20	0.20	0.40
B/mol L <sup>-1</sup>	0.30	0.10	0.05
$r_0$ / molL <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	$5.07 \times 10^{-5}$	$5.07 \times 10^{-5}$	$1.43 \times 10^{-4}$

A અને Bના સંદર્ભમાં પ્રક્રિયા ક્રમ શું હશે ?

- 4.11  $2A + B \rightarrow C + D$  પ્રક્રિયાના ગતિકી અભ્યાસ દરમિયાન નીચેના પરિણામો મળ્યાં છે :

પ્રયોગ	[A]/mol L <sup>-1</sup>	[B] mol L <sup>-1</sup>	Dની બનાવટનો પ્રારંભિક વેગ/mol L <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>
I	0.1	0.1	$6.0 \times 10^{-3}$
II	0.3	0.2	$7.2 \times 10^{-2}$
III	0.3	0.4	$2.88 \times 10^{-1}$
IV	0.4	0.1	$2.40 \times 10^{-2}$

પ્રક્રિયાનો વેગ નિયમ અને વેગ અચળાંક નક્કી કરો.

- 4.12 A અને B વચ્ચેની પ્રક્રિયા Aના સંદર્ભમાં પ્રથમ ક્રમની છે અને Bના સંદર્ભમાં શૂન્ય ક્રમની છે. નીચેના કોષ્ટકમાં ખાલી જગ્યાની પૂર્તિ કરો :

પ્રયોગ	[A]/mol L <sup>-1</sup>	B/mol L <sup>-1</sup>	પ્રારંભિક વેગ / mol L <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>
I	0.1	0.1	$2.0 \times 10^{-2}$
II	-	0.2	$4.0 \times 10^{-2}$
III	0.4	0.4	-
IV	-	0.2	$2.0 \times 10^{-2}$

- 4.13 પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાના તેમના નીચે આપેલા વેગ અચળાંક પરથી પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાના અર્ધ-આયુષ્ય (સમય) ગણો :

(i)  $200 \text{ s}^{-1}$  (ii)  $2 \text{ min}^{-1}$  (iii)  $4 \text{ years}^{-1}$

- 4.14 <sup>14</sup>C નો રેડિયોએક્ટિવ ક્ષયનો અર્ધઆયુષ્ય સમય 5730 વર્ષ છે. એક પુરાતાત્વિક કૃત્રિમવસ્તુ (artifact) જે જીવિત વૃક્ષમાં મળેલા <sup>14</sup>Cના માત્ર 80 % કાષ્ટ ધરાવે છે. નમૂનાનું આયુષ્ય (ઉંમર) અંદાજો.

- 4.15 N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ના વાયુમય કલામાં 318 K તાપમાને વિઘટનની  $[2\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow 4\text{NO}_2 + \text{O}_2]$  પ્રાયોગિક માહિતી નીચે આપેલ છે :

t/s	0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
$10^2 \times [\text{N}_2\text{O}_5]$ molL <sup>-1</sup>	1.63	1.36	1.14	0.93	0.78	0.64	0.53	0.43	0.35

- (i) [N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>] વિરુદ્ધ  $t$  આલેખ દોરો.  
(ii) પ્રક્રિયા માટેનો અર્ધઆયુષ્ય સમય શોધો.  
(iii)  $\log [\text{N}_2\text{O}_5]$  અને  $t$  વચ્ચેનો આલેખ દોરો.  
(iv) વેગ નિયમ શું હશે ?

(v) વેગ અચળાંક ગણો.

(vi)  $k$  ઉપરથી અર્ધઆયુષ્ય સમય ગણો અને (ii) સાથે સરખાવો.

4.16 પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે વેગ અચળાંક  $60 \text{ s}^{-1}$  છે. પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સાંદ્રતાથી તેના  $\frac{1}{6}$  ભાગના મૂલ્ય જેટલી સાંદ્રતા ઘટીને થવા માટે તે કેટલો સમય લેશે ?

4.17 કેન્દ્રિય વિસ્ફોટન દરમિયાન નીપજોમાંની એક  $^{90}\text{Sr}$  છે જેનું અર્ધઆયુષ્ય 28.1 વર્ષ છે. જો તે જ સમયે તાજા જન્મેલા બાળકનાં હાડકાંમાં  $1 \mu\text{g}$   $^{90}\text{Sr}$  કેલ્શિયમને બદલે શોષાયેલ હોય, તો તે બાળકમાં જો બીજી કોઈ ચયાપચયની ક્રિયાથી  $^{90}\text{Sr}$  ગુમાવાયું ન હોય, તો 10 વર્ષ અને 60 વર્ષના અંતે તેના શરીરમાં કેટલું  $^{90}\text{Sr}$  રહ્યું હશે ?

4.18 પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા માટે દર્શાવો કે 99 % પ્રક્રિયા પૂર્ણ થવા માટે જરૂરી સમય પ્રક્રિયા 90 % પૂરી થવા માટે જરૂરી સમય કરતાં બમણો છે.

4.19 એક પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા 30 % વિઘટન માટે 40 min લે છે.  $t_{1/2}$  ગણો.

4.20 એઝોઆઈસોપ્રોપેનનું હેક્ઝેન અને નાઈટ્રોજનમાં વિઘટન 543 K તાપમાને કરવામાં આવે છે. માહિતી નીચે પ્રમાણે મળેલી છે :

$t$ (sec)	P (mmHg)
0	35.0
360	54.0
720	63.0

વેગ અચળાંક ગણો.

4.21 અચળ કદે પ્રથમ ક્રમની  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ની વિઘટન પ્રક્રિયા  $\text{SO}_2\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  દરમિયાન નીચેની માહિતી મળેલી છે :

પ્રયોગ	સમય/ $\text{s}^{-1}$	કુલ દબાણ/atm
1	0	0.5
2	100	0.6

જો કુલ દબાણ 0.65 atm હોય, તો પ્રક્રિયાનો વેગ ગણો.

4.22  $\text{N}_2\text{O}_5$ ના વિઘટનના વેગ અચળાંક જુદા જુદા તાપમાને નીચે આપેલા છે :

T/ $^{\circ}\text{C}$	0	20	40	60	80
$10^5 \times k/\text{s}^{-1}$	0.0787	1.70	25.7	178	2140

$\ln k$  અને  $1/T$  વચ્ચે આલેખ દોરો અને A અને  $E_a$ ના મૂલ્યો ગણો. 30  $^{\circ}\text{C}$  અને 50  $^{\circ}\text{C}$  તાપમાને વેગ અચળાંકનું પ્રાક્ષયન કરો.

4.23 546 K તાપમાને હાઈડ્રોકાર્બનના વિઘટનનો વેગ અચળાંક  $2.418 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  છે. જો સક્રિયકરણ ઊર્જા 179.9 kJ/mol હોય, તો પૂર્વઘાતાંક (pre exponential) અવયવ(factor)નું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

4.24 કોઈ પ્રક્રિયા  $A \rightarrow$  નીપજ તરીકે ગણો જેનો  $k = 2.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  છે. જો Aની પ્રારંભિક સાંદ્રતા  $1.0 \text{ mol L}^{-1}$  હોય, તો 100 s પછી Aની શેષ સાંદ્રતા ગણો.

4.25 સુકોઝ એસિડિક દ્રાવણમાં ગ્લુકોઝ અને ફ્રુક્ટોઝમાં પ્રથમ ક્રમ વેગ નિયમ પ્રમાણે વિઘટન પામે છે. જેનો  $t_{1/2} = 3.00$  કલાક છે. 8 કલાક પછી સુકોઝના નમૂનાનો કેટલો અંશ શેષ રહ્યો હશે ?

4.26 હાઈડ્રોકાર્બનનું વિઘટન નીચેના સમીકરણને અનુસરે છે.

$$k = (4.5 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}) e^{-28000\text{K}/T}$$

$E_a$ ની ગણતરી કરો.

- 4.27  $H_2O_2$ ના પ્રથમ ક્રમ પ્રમાણે વિઘટનનો વેગ અચળાંક નીચેના સમીકરણ દ્વારા દર્શાવી શકાય.  
 $\log k = 14.34 - 1.25 \times 10^4 K/T$   
 આ પ્રક્રિયા માટે  $E_a$  ગણો અને કયા તાપમાને તેનું અર્ધ આયુષ્ય 256 મિનિટ થશે ?
- 4.28  $A$ નું નીપજોમાં વિઘટનમાં  $10^\circ C$  તાપમાને  $k$ નું મૂલ્ય  $4.5 \times 10^3 s^{-1}$  દર્શાવે છે અને સક્રિયકરણ ઊર્જા  $60 kJ mol^{-1}$  દર્શાવે છે. કયા તાપમાને  $k$ નું મૂલ્ય  $1.5 \times 10^4 s^{-1}$  થશે ?
- 4.29  $298 K$  તાપમાને પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાને  $10\%$  પૂર્ણ થવા જરૂરી સમય  $308 K$  તાપમાને તે જ પ્રક્રિયાને  $25\%$  પૂર્ણ થવા માટે લાગતા સમય જેટલો જ છે. જો  $A$ નું મૂલ્ય  $4 \times 10^{10} s^{-1}$  હોય, તો  $318 K$  તાપમાને  $k$  અને  $E_a$  ગણો.
- 4.30 એક પ્રક્રિયાનો વેગ તાપમાન  $293 K$  થી  $313 K$  વધારતાં ચાર ગણો થાય છે. પ્રક્રિયાનો સક્રિયકરણ ઊર્જા ગણો, એમ ધારીને કે તે તાપમાન સાથે બદલાતી નથી.

### લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

- 4.1  $r_{av} = 6.66 \times 10^{-6} Ms^{-1}$
- 4.2 પ્રક્રિયાનો વેગ =  $A$ નો અદૃશ્ય થવાનો વેગ =  $0.005 mol liter^{-1}min^{-1}$
- 4.3 પ્રક્રિયાનો ક્રમ 2.5 છે.
- 4.4  $X \rightarrow Y$   
 વેગ =  $k [X]^2$   
 વેગ 9 ગણો વધશે.
- 4.5  $t = 444 s$
- 4.6  $1.925 \times 10^{-4} s^{-1}$
- 4.8  $E_a = 52.987 kJmol^{-1}$
- 4.9  $1.471 \times 10^{-19}$

## હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- અંતરાપૃષ્ઠીય પરિઘટનાનું વર્ણન કરી શકશો અને તેની અગત્ય સમજાવી શકશો.
- અધિશોષણને વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો અને તેને ભૌતિક અધિશોષણ અને રાસાયણિક અધિશોષણમાં વર્ગીકૃત કરી શકશો.
- અધિશોષણની ક્રિયાવિધિ સમજાવી શકશો.
- ઘન પદાર્થો પર વાયુઓ અને દ્રાવણોના અધિશોષણને નિયંત્રિત કરતાં પરિબલો સમજાવી શકશો.
- અધિશોષણના પરિણામો ફ્રુન્ડલીય (Freundlich) અધિશોષણ સમતાપીના આધારે સમજાવી શકશો.
- ઉદ્યોગોમાં ઉદ્દીપનનો ફાળો મૂલવી શકશો.
- કલિલીય અવસ્થાનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) ગણતરીમાં લઈ શકશો.
- કલિલોની બનાવટ, ગુણધર્મો અને શુદ્ધીકરણ વર્ણવી શકશો.
- પાયસનું વર્ગીકરણ કરી શકશો અને તેમની બનાવટ તથા ગુણધર્મો વર્ણવી શકશો.
- જેલ રચના(બનાવટ)ની પરિઘટના વર્ણવી શકશો.
- કલિલના ઉપયોગોની યાદી કરી શકશો.

“ખૂબ જ અગત્યના રસાયણોમાંના કેટલાક ઘન ઉદ્દીપકની સપાટી પર થતી પ્રક્રિયા દ્વારા પેદા કરવામાં આવે છે.”

પૃષ્ઠ રસાયણવિજ્ઞાન સપાટી અથવા અંતરાપૃષ્ઠ પર થતી પરિઘટના સાથે સંકળાયેલ છે. અંતરાપૃષ્ઠ અથવા જથ્થામય કલાને જુદી પાડતી સપાટીને આડી લીટી (hyphen) અથવા ઊભી લીટી (slash) વડે દર્શાવાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, ઘન અને વાયુ વચ્ચે અંતરાપૃષ્ઠને ઘન-વાયુ અથવા ઘન/વાયુ તરીકે રજૂ કરી શકાય છે. સંપૂર્ણ મિશ્રણીયતા(miscibility)ને કારણે વાયુઓ વચ્ચે અંતરાપૃષ્ઠ હોતું નથી. પૃષ્ઠ રસાયણમાં સંપર્કમાં આવતી જથ્થામય કલા તરીકે શુદ્ધ સંયોજન અથવા દ્રાવણો હોઈ શકે છે. અંતરાપૃષ્ઠ સામાન્ય રીતે કેટલાક અણુઓની જાડાઈ જેટલા હોય છે. પરંતુ જથ્થામય કલાના કણોના કદ પર તેનું ક્ષેત્રફળ આધાર રાખે છે. ઘણી બધી અગત્યની પરિઘટનાઓ જે આ બધામાં બહુ નોંધનીય છે તે ક્ષારણ, વિદ્યુતપ્રુવ પ્રક્રમ, વિષમાંગ ઉદ્દીપન, વિલયન અને સ્ફટિકીકરણ અંતરાપૃષ્ઠ પર થાય છે. પૃષ્ઠ રસાયણનો વિષય ઉદ્યોગ, વૈશ્લેષિક કાર્ય અને રોજિંદા જીવનની પરિસ્થિતિઓમાં ઘણા અનુપ્રયોગો ધરાવે છે.

પૃષ્ઠ અભ્યાસને કાળજીપૂર્વક પૂર્ણ કરવા માટે એ આજ્ઞાત્મક બને છે કે સપાટી ખરેખર સ્વચ્છ હોવી જોઈએ.  $10^{-8}$  થી  $10^{-9}$  pascal જેટલું ઘણું ઉચ્ચ શૂન્યાવકાશ હેઠળ હવે શક્ય બન્યું છે કે ધાતુઓની સ્વચ્છ સપાટી પ્રાપ્ત કરી શકાય છે. આવી સ્વચ્છ સપાટીવાળા ધરાવતા ઘન પદાર્થોને શૂન્યાવકાશમાં રાખવામાં આવે છે નહિતો તે હવાના ઘણા ઘટકો જેવાં કે ડાયઓક્સિજન અને ડાયનાઈટ્રોજનના અણુઓથી ઢંકાઈ જાય છે.

આ એકમમાં, તમે પૃષ્ઠ રસાયણવિજ્ઞાનની કેટલીક અગત્યની ખાસિયતો (ઘટનાઓ) જેવી કે અધિશોષણ, ઉદ્દીપન અને પાયસ તથા જેલ સમાવિષ્ટ કલિલોનો અભ્યાસ કરશો.

## 5.1 અધિશોષણ (Adsorption)

એવા કેટલાક ઉદાહરણો જે સ્પષ્ટ કરે છે કે ઘન પદાર્થની સપાટી તેમના સંપર્કમાં આવતી કલાના અણુઓને આકર્ષે છે અને સપાટી પર જાળવી રાખે છે. આ અણુઓ માત્ર સપાટી પર જ રહે છે અને જથ્થાની અંદર ઊંડાણમાં જતા નથી. આણ્વીય સ્પિસીઝનું ઘન અથવા પ્રવાહીના જથ્થા કરતાં તેની સપાટી પર વધારે એકઠા થવું અધિશોષણ પર્યાયથી ઓળખાય છે. આ આણ્વીય સ્પિસીઝ અથવા પદાર્થ જે સપાટી પર સંકેન્દ્રિત અથવા એકઠા થાય છે તેને અધિશોષિત કહે છે અને જે પદાર્થની સપાટી પર એકઠા થાય છે અને અધિશોષણ કરે છે તેને અધિશોષક કહે છે.

અધિશોષણ ખરી રીતે પૃષ્ઠ ઘટના છે. ઘન પદાર્થો ખાસ કરીને ઝીણા ભૂકા રૂપ અવસ્થામાં હોય છે. તેમને વધારે સપાટી ક્ષેત્રફળ હોય છે અને આથી ચારકોલ, સિલિકા જેલ, એલ્યુમિના જેલ, માટી, કલિલ, ઘણા ઝીણા સ્વરૂપ અવસ્થામાં ધાતુઓ વગેરે સારા અધિશોષક તરીકે વર્તે છે.

અધિશોષણ ક્રિયામાં :

- જો એક બંધ પાત્ર જે ભૂકો કરેલ ચારકોલ ધરાવે છે, તેમાં વાયુઓ જેવા કે  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $Cl_2$ ,  $NH_3$  અથવા  $SO_2$  લેવામાં આવે તો એ અવલોકન મળે છે કે બંધપાત્રમાં વાયુનું દબાણ ઘટે છે. વાયુના અણુઓ ચારકોલની સપાટી પર સંકેન્દ્રિત થાય છે એટલે કે સપાટી પર અધિશોષિત થાય છે.
- કાર્બનિક રંગક ધારો કે, મીથીલીન બ્લ્યુના દ્રાવણમાં જ્યારે પ્રાણીજ કોલસો ઉમેરવામાં આવે અને દ્રાવણને બરાબર હલાવવામાં આવે તો એ અવલોકિત થાય છે કે ગાળણ રંગવિહિન છે. રંગકના અણુઓ આમ ચારકોલની સપાટી પર એકઠા થાય છે એટલે કે અધિશોષિત થાય છે.
- અપરિષ્કૃત (raw) ખાંડના જલીય દ્રાવણને પ્રાણીજ ચારકોલના પડ (પથારી-bed) પરથી પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે તે રંગવિહીન બને છે કારણકે રંગ આપતા પદાર્થો ચારકોલ પર અધિશોષિત થાય છે.
- હવા સિલિકા જેલની હાજરીમાં શુષ્ક બને છે કારણ કે પાણીના અણુઓ જેલની સપાટી પર અધિશોષિત થાય છે.

ઉપરના ઉદાહરણો પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે ઘન સપાટી વાયુ અથવા પ્રવાહીના અણુઓને અધિશોષણને કારણે ભેગા રાખી શકે છે. જે સપાટી પર અણુઓ અધિશોષિત થયેલા હોય તેના પરથી અણુઓને દૂર કરવાની પ્રક્રિયાને અપશોષણ કહેવામાં આવે છે.

### 5.1.1 અધિશોષણ અને અવશોષણ વચ્ચે તફાવત (Distinction between Adsorption and Absorption)

અધિશોષણમાં પદાર્થ માત્ર સપાટી પર જ સંકેન્દ્રિત થાય છે અને અધિશોષકના જથ્થામાં સપાટી મારફતે દાખલ થતાં નથી જ્યારે અવશોષણમાં ઘન પદાર્થના સમગ્ર જથ્થામાં એકસરખી રીતે વિતરિત થઈ જાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, જ્યારે ચાકના ટુકડાને શાહીમાં ડૂબાડવામાં આવે તો તેની સપાટી શાહીનો રંગ જાળવી રાખે છે જે રંગીન પદાર્થના અધિશોષણને કારણે છે. જ્યારે દ્રાવક ચાકના ટુકડાની અંદર ઊંડે સુધી અવશોષણને લીધે પ્રસરી જાય છે. ચાકના ટુકડાને તોડતાં જણાય છે કે તે અંદરની બાજુએ સફેદ છે. અધિશોષણ અને અવશોષણ વચ્ચેનો ભેદ પાણીની બાષ્પનું ઉદાહરણ લઈને સમજાવી શકીએ. પાણીની બાષ્પ નિર્જળીય કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ વડે અવશોષિત થાય છે પરંતુ સિલિકા જેલ પર અધિશોષિત થાય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો અધિશોષણમાં અધિશોષિતની સાંદ્રતા માત્ર અધિશોષકની સપાટી પર વધે છે. જ્યારે અવશોષણમાં ઘન પદાર્થના સમગ્ર જથ્થામાં સાંદ્રતા એકસરખી હોય છે.

અધિશોષણ અને અવશોષણ એકસાથે પણ થઈ શકે છે. બંને ઘટનાઓનું વર્ણન કરવા માટે પર્યાય શોષણ (Sorpton) વપરાય છે.

### 5.1.2 અધિશોષણ ક્રિયાવિધિ (Mechanism of Adsorption)

અધિશોષણ ઉદ્ભવવાનું કારણ એ હકીકત છે કે અધિશોષકની સપાટી પરના કણો જથ્થામાં રહેલા કણોની જેમ એકસરખા પર્યાવરણ(environment)માં હોતા નથી. અધિશોષકમાં કણો વચ્ચે લાગુ પડતું બળ એકબીજાથી સમતોલિત હોય છે પણ સપાટી

પરના કણો બધી બાજુએથી તેમના પ્રકારના અણુઓ કે પરમાણુઓ વડે ઘેરાયેલા હોતા નથી અને તે અસમતોલિત અથવા અવશેષી (residual) આકર્ષણ બળો ધરાવે છે. અધિશોષકના આ બળો સપાટી પર અધિશોષિતના અણુઓને આકર્ષવા માટે જવાબદાર છે. આપેલ તાપમાન અને દબાણે અધિશોષકના એકમ દળની સપાટીના ક્ષેત્રફળના વધારા સાથે અધિશોષણ વધે છે.

અધિશોષણનું અગત્યનું બીજું પરિબળ જે અધિશોષણને ખાસિયત આપે છે તે અધિશોષણ ઉષ્મા છે. અધિશોષણ દરમિયાન હંમેશાં સપાટીના અવશેષી બળો ઘટે છે એટલે કે પૃષ્ઠ ઊર્જામાં ઘટાડો થાય છે જે ઉષ્મા રૂપે દૃશ્યમાન થાય છે. અધિશોષણ એટલા માટે હંમેશાં ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા છે. બીજા શબ્દોમાં અધિશોષણનું  $\Delta H$ નું મૂલ્ય હંમેશાં ઋણ હોય છે. જ્યારે વાયુ અધિશોષિત થાય છે ત્યારે તેના અણુઓની હલચલની સ્વતંત્રતા પર બંધન આવે છે. આ અધિશોષણ પછી વાયુની એન્ટ્રોપી ઘટાડામાં પરિણામે છે. એટલે કે  $\Delta S$  ઋણ હોય છે. આમ અધિશોષણ પ્રણાલીની એન્ટાલ્પી અને એન્ટ્રોપીમાં ઘટાડામાં સાથે સંકળાયેલ છે. કોઈ પણ પ્રક્રિયાને સ્વયંસ્ફુરિત થવા માટે ઉષ્માગતિશાસ્ત્રીય જરૂરિયાત છે કે આપેલ તાપમાન અને દબાણે  $\Delta G$  ઋણ હોવી જોઈએ એટલે કે ગિબ્સ ઊર્જામાં ઘટાડો હોવો જોઈએ.  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  સમીકરણના આધારે, જો  $\Delta H$ નું મૂલ્ય પૂરતા પ્રમાણમાં ઘણું ઋણ હોવું જોઈએ કે જેથી  $\Delta G$  ઋણ બને કારણકે  $-T\Delta S$  ધન હોય છે. આમ, અધિશોષણ પ્રક્રિયામાં જે સ્વયંસ્ફુરિત છે તેમાં ધન છે. આ બે ફેરફારોનું સંયોગીકરણ  $\Delta G$ ને ઋણ બનાવે છે. જેમ અધિશોષણ આગળ વધે છે તેમ  $\Delta H$  ઓછી થતી જાય છે અને ઓછી ઋણ થતી જાય છે. અંતમાં  $\Delta H$ ,  $T\Delta S$  બરાબર થશે અને  $\Delta G$  શૂન્ય થશે. આ અવસ્થાએ સંતુલન પ્રાપ્ત થશે.

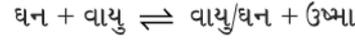
### 5.1.3 અધિશોષણના પ્રકાર (Types of Adsorption)

ઘન સપાટી પર વાયુના અધિશોષણના મુખ્ય બે પ્રકાર છે. જો ઘન પદાર્થની સપાટી પર વાયુનું એકઠા થવાનું નિર્બળ વાન ડર વાલ્સ બળોથી થતું હોય તો તેને ભૌતિક અધિશોષણ અથવા ‘ફિઝીસોર્પ્શન’ (Physisorption) કહે છે. જ્યારે વાયુ અણુઓ તથા પરમાણુઓ ઘન સપાટી પર રાસાયણિક બંધ દ્વારા એકઠા થાય છે તેને રાસાયણિક અધિશોષણ અથવા ‘કેમિસોર્પ્શન’ (Chemisorption) કહે છે. રાસાયણિક બંધ સ્વભાવે સહસંયોજક અથવા આયનીય હોઈ શકે છે. રાસાયણિક અધિશોષણ ઊંચી સક્રિયકરણ ઊર્જાનો સમાવેશ કરે છે અને તેથી તેને ઘણીવાર સક્રિયકૃત અધિશોષણ તરીકે પણ દર્શાવાય છે ઘણીવાર આ બંને પ્રક્રિયાઓ એકસાથે થતી હોય છે અને તેથી અધિશોષણના પ્રકારને ઓળખવું સહેલું નથી. નીચા તાપમાને થતું ભૌતિક અધિશોષણ તાપમાન વધારવામાં આવે તો તે રાસાયણિક અધિશોષણમાં ફેરવાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, ડાયહાઈડ્રોજન નિકલ પર પ્રથમ વાન ડર વાલ્સ બળોથી અધિશોષિત થાય છે. ડાયહાઈડ્રોજનના અણુઓ પછી હાઈડ્રોજન પરમાણુમાં વિયોજિત થાય છે જે સપાટી પર રાસાયણિક અધિશોષણ દ્વારા અધિશોષિત થાય છે.

બંને પ્રકારના અધિશોષણની કેટલીક અગત્યની લાક્ષણિકતાઓ નીચે દર્શાવેલ છે :  
ભૌતિક અધિશોષણની લાક્ષણિકતાઓ :

- વિશિષ્ટતાનો અભાવ : આપેલ અધિશોષકની સપાટી કોઈ પણ વિશિષ્ટ વાયુ માટે પસંદગી દર્શાવતા નથી કારણ કે વાન ડર વાલ્સ બળો સાર્વત્રિક છે.
- અધિશોષિતનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) : ઘન વડે અધિશોષિત થયેલ વાયુનો જથ્થો વાયુના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખે છે. સામાન્ય રીતે, સહેલાઈથી પ્રવાહીકૃત થતાં વાયુઓ (એટલે કે ઊંચા ક્રાંતિક તાપમાન ધરાવતા) ઝડપથી અધિશોષિત થાય છે કારણ કે વાન ડર વાલ્સ બળો ક્રાંતિક તાપમાનની નજીક વધારે પ્રબળ હોય છે આમ 1 g સક્રિયકૃત ચારકોલ સલ્ફર ડાયોક્સાઈડને (ક્રાંતિક તાપમાન 630 K) મિથેન (ક્રાંતિક તાપમાન 190 K) કરતાં વધુ અધિશોષિત કરે છે. જે હજુ પણ 4.5 mL ડાયહાઈડ્રોજન (ક્રાંતિક તાપમાન 33 K) કરતાં વધારે છે.

(iii) પ્રતિવર્તીય સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) : ઘન વડે વાયુનું ભૌતિક અધિશોષણ સામાન્ય રીતે પ્રતિવર્તીય છે.



જ્યારે દબાણ વધારવામાં આવે છે ત્યારે વધુ વાયુ અધિશોષિત થાય છે કારણ કે કદમાં ઘટાડો થાય છે (લ-શેટેલિયરનો નિયમ) અને દબાણ ઘટાડવાથી અધિશોષિત વાયુ દૂર થાય છે. અધિશોષણ ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા છે તેથી ભૌતિક અધિશોષણ નીચા તાપમાને ઝડપી થાય છે અને તાપમાનના વધારા સાથે તે ઘટે છે (લ શેટેલિયરનો નિયમ).

(iv) અધિશોષકની સપાટીનું ક્ષેત્રફળ : અધિશોષકની સપાટીનું ક્ષેત્રફળ વધારવાથી અધિશોષણ વધુ થાય છે. આમ ઝીણી કરેલી (દળેલી) ધાતુઓ અને છિદ્રાળુ પદાર્થો જેમના સપાટી ક્ષેત્રફળ વધારે હોય છે તે સારા અધિશોષક છે.

(v) અધિશોષણની એન્થાલ્પી : એ નિર્વિવાદ છે કે ભૌતિક અધિશોષણ ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા છે પરંતુ અધિશોષણની એન્થાલ્પી ઘણી ઓછી ( $20-40 \text{ kJmol}^{-1}$ ) છે. આનું કારણ વાયુ અણુઓ વચ્ચેનું આકર્ષણ છે અને ઘન સપાટી માત્ર નિર્બળ વાન ડર વાલ્સ બળોને કારણે હોય છે.

#### રાસાયણિક અધિશોષણની લાક્ષણિકતાઓ :

(i) ઊંચી વિશિષ્ટતા : રાસાયણિક અધિશોષણ ખૂબ જ વિશિષ્ટ હોય છે અને અધિશોષક અને અધિશોષિત વચ્ચે રાસાયણિક બંધન શક્ય હશે તો જ તે થશે. ઉદાહરણ તરીકે, ધાતુઓ પર ઓક્સિજનનું અધિશોષણ ઓક્સાઇડ રચનાને લીધે છે અને હાઇડ્રોજન સંક્રાંતિ ધાતુઓ પર હાઇડ્રોજનનું અધિશોષણ હાઇડ્રાઇડની રચનાને લીધે છે.

(ii) અપ્રતિવર્તીયતા : રાસાયણિક અધિશોષણ સંયોજનની રચનાનો સમાવેશ કરે છે. તે સ્વભાવે અપ્રતિવર્તીય છે. રાસાયણિક અધિશોષણ પણ ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા છે પણ નીચા તાપમાને ઊંચી સક્રિયકરણ ઊર્જાને કારણે ઘણી ધીમી છે. મોટા ભાગની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓની જેમ રાસાયણિક અધિશોષણ તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે. નીચા તાપમાને વાયુનું ભૌતિક અધિશોષણ ઊંચા તાપમાને રાસાયણિક અધિશોષણમાં ફેરવાઈ જાય છે. સામાન્ય રીતે ઊંચું દબાણ રાસાયણિક અધિશોષણને લાભકારક છે.

(iii) સપાટીનું ક્ષેત્રફળ : ભૌતિક અધિશોષણની જેમ રાસાયણિક અધિશોષણ અધિશોષકની સપાટીમાં વધારા સાથે વધે છે.

(iv) અધિશોષણની એન્થાલ્પી : રાસાયણિક અધિશોષણની એન્થાલ્પી ઊંચી ( $80 - 240 \text{ kJmol}^{-1}$ ) છે કારણ કે તે રાસાયણિક બંધ રચનાનો સમાવેશ કરે છે.

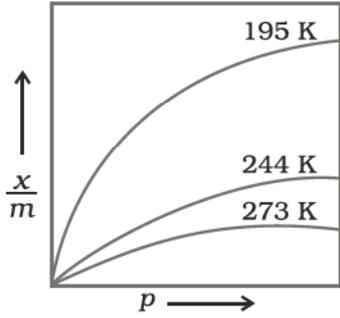
#### કોષ્ટક 5.1 : ભૌતિક અધિશોષણ અને રાસાયણિક અધિશોષણની સરખામણી

ભૌતિક અધિશોષણ	રાસાયણિક અધિશોષણ
1. તે વાન ડર વાલ્સ બળોના કારણે ઉદ્ભવે છે.	1. તે રાસાયણિક બંધ રચનાને કારણે ઉદ્ભવે છે.
2. તે સ્વભાવે વિશિષ્ટ નથી.	2. તે સ્વભાવે ખૂબ જ વિશિષ્ટ છે.
3. તે સ્વભાવે પ્રતિવર્તી છે.	3. તે અપ્રતિવર્તી છે.
4. તે વાયુના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. સહેલાઈથી પ્રવાહીકૃત કરી શકાતા વાયુઓ ઝડપથી અધિશોષિત થાય છે.	4. તે પણ વાયુના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે જે વાયુઓ અધિશોષક સાથે પ્રક્રિયા કરી શકે છે તે રાસાયણિક અધિશોષણ દર્શાવે છે.
5. આ કિસ્સામાં અધિશોષણની એન્થાલ્પી નીચી ( $20-40 \text{ kJmol}^{-1}$ ) છે.	5. આ કિસ્સામાં અધિશોષણની એન્થાલ્પી ઊંચી ( $80-240 \text{ kJmol}^{-1}$ ) છે.

6. નીચું તાપમાન અધિશોષણ માટે ફાયદાકારક છે તે તાપમાનના વધારા સાથે ઘટે છે.
7. કોઈ ખાસ ચોક્કસ સક્રિયકરણ ઊર્જાની જરૂર પડતી નથી.
8. તે સપાટી ક્ષેત્રફળ પર આધાર રાખે છે. સપાટી ક્ષેત્રફળના વધારા સાથે વધે છે.
9. ઊંચા દબાણે તે અધિશોષક સપાટી પર બહુ આણ્વીય સ્તરોમાં પરિણમે છે.

6. ઊંચું તાપમાન અધિશોષણ માટે ફાયદાકારક છે. તે તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે.
7. કેટલીક વખત ઊંચી સક્રિયકરણ ઊર્જાની જરૂર પડે છે.
8. તે પણ સપાટી ક્ષેત્રફળ પર આધાર રાખે છે. વળી તે સપાટી ક્ષેત્રફળના વધારા સાથે વધે છે.
9. તે એક આણ્વીય સ્તરમાં પરિણમે છે.

### 5.1.4 અધિશોષણ સમતાપ વક્ર (Adsorption Isotherms)



આકૃતિ 5.1 : અધિશોષણ સમતાપ વક્ર (રેખા)

અચળ તાપમાને અધિશોષક વડે અધિશોષિત વાયુના જથ્થાનું વિચરણ દબાણના ફેરફાર સાથે એક વક્ર દ્વારા અભિવ્યક્ત કરાય છે. જેને અધિશોષણ સમતાપ વક્ર (રેખા) કહે છે. ફ્રુન્ડલીય (Freundlich) અધિશોષણ સમતાપ વક્ર :

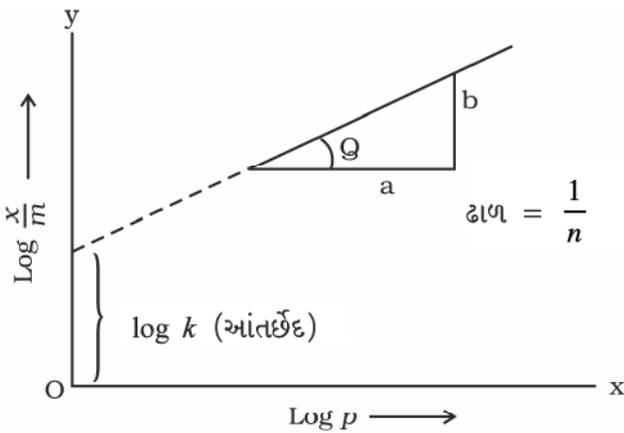
ફ્રુન્ડલીયે, 1909માં કોઈ ખાસ તાપમાને ઘન અધિશોષકના એકમ દળ વડે અધિશોષિત થતાં વાયુ અને દબાણ વચ્ચેનો પ્રમાણસૂચક (empirical) સંબંધ આપ્યો. આ સંબંધ નીચેના સમીકરણથી અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

$$\frac{x}{m} = k.p^{1/n} \quad (n > 1) \quad (5.1)$$

જ્યાં  $x$ ,  $p$  દબાણે અધિશોષકના  $m$  દળ પર અધિશોષિત વાયુનું દળ છે અને  $k$  તથા  $n$  અચળાંક છે જે કોઈ ખાસ તાપમાને અધિશોષક અને વાયુના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. સામાન્ય રીતે આ સંબંધ વક્ર તરીકે રજૂ કરવામાં આવે છે. જ્યાં અધિશોષકના પ્રતિગ્રામે અધિશોષિત વાયુના દળનો દબાણ વિરુદ્ધ આલેખ દોરવામાં આવે છે (આકૃતિ 5.1). આ વક્રો સૂચવે છે કે ચોક્કસ દબાણે તાપમાનના વધારા સાથે ભૌતિક અધિશોષણમાં ઘટાડો થાય છે. આ વક્રો હંમેશાં ઊંચા દબાણે સંતૃપ્તતાને પહોંચતા જણાય છે.

સમીકરણ (5.1)નો ઘાતાંક લેતાં,

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log p \quad (5.2)$$



આકૃતિ 5.2 : ફ્રુન્ડલીય સમતાપ વક્ર (રેખા)

ફ્રુન્ડલીયની સમતાપ વક્રની યથાર્થતા (validity)

Y-ધરી (કોટી) પર  $\log \frac{x}{m}$  અને  $\log p$  ને X-ધરી (યામ) પર લઈને ગ્રાફ દોરીને ખાતરી કરી શકાય છે. જો તે સીધી રેખા મળે તો ફ્રુન્ડલીય સમીકરણ યથાર્થ છે નહિ તો નથી (આકૃતિ 5.2). સીધી રેખાનો ઢાળ  $\frac{1}{n}$  નું મૂલ્ય આપે છે. આકૃતિમાં Y-ધરી પર આંતર્છેદ  $\log k$  નું મૂલ્ય આપે છે.

ફ્રુન્ડલીય સમતાપ વક્ર અધિશોષણની આશરા પડતી વર્તણૂક સમજાવે છે.  $\frac{1}{n}$  નું 0 અને 1ની વચ્ચે મૂલ્ય (સંભવિત વિસ્તાર 0.1થી 0.5) હોય છે. સમીકરણ (5.2) દબાણના સીમિત વિસ્તાર પૂરતું વાજબી જણાય છે.

જ્યારે  $\frac{1}{n} = 0$ , ત્યારે  $\frac{x}{m} =$  અચળાંક એટલે કે અધિશોષણ દબાણથી સ્વતંત્ર છે.

જ્યારે  $\frac{1}{n} = 1$ ,  $\frac{x}{m} = k p$  એટલે કે  $\frac{x}{m} \propto p$  એટલે કે અધિશોષણ દબાણના

સમપ્રમાણમાં છે.

બંને શરતોને પ્રાયોગિક પરિણામો દ્વારા ટેકો મળેલ છે. પ્રાયોગિક સમતાપ રેખા હંમેશાં ઊંચા દબાણે સંતૃપ્તતાએ પહોંચે છે. આ કુન્ડલીયના અધિશોષણ સમતાપ રેખાથી સમજાવી શકાય નહિ. આથી તે ઊંચા દબાણે નિષ્ફળ નીવડે છે.

### 5.1.5 દ્રાવણ કલામાંથી અધિશોષણ (Adsorption from Solution Phase)

ઘન પદાર્થો દ્રાવણોમાંથી પણ દ્રાવ્યનું અધિશોષણ કરી શકે છે. જ્યારે એસિટિક એસિડના પાણીમાંના દ્રાવણને ચારકોલ સાથે હલાવવામાં આવે છે. એસિડનો કેટલોક ભાગ ચારકોલ પર અધિશોષિત થાય છે અને દ્રાવણમાં એસિડની સાંદ્રતા ઘટે છે. એ જ પ્રમાણે લિટમસના દ્રાવણને ચારકોલ સાથે હલાવવામાં આવે છે ત્યારે તે રંગવિહીન થાય છે.  $Mg(OH)_2$ નું જ્યારે મેગ્નેસન (magnesium) પ્રક્રિયકની હાજરીમાં અવક્ષેપન કરવામાં આવે છે ત્યારે તે વાદળી રંગ ગ્રહણ કરે છે. દ્રાવણ કલામાંથી અધિશોષણની બાબતમાં નીચેના અવલોકનો કરવામાં આવ્યા છે.

- અધિશોષણની માત્રા તાપમાનના વધારા સાથે ઘટે છે.
- અધિશોષણની માત્રા અધિશોષકનું સપાટી ક્ષેત્રફળ વધારતાં વધે છે.
- અધિશોષણની માત્રા દ્રાવણમાં રહેલા દ્રાવ્યની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે.
- અધિશોષણની માત્રા અધિશોષક અને અધિશોષિતના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે.

દ્રાવણમાંથી અધિશોષણની પરિશુદ્ધ (precise) ક્રિયાવિધિ જાણીતી નથી. કુન્ડલીય સમીકરણ દ્રાવણમાંથી અધિશોષણની વર્તણૂકને આશરે સમજાવે છે ફેરફાર એટલો જ છે કે દબાણને બદલે દ્રાવણની સાંદ્રતાને ગણતરીમાં લેવી પડે છે. એટલે કે,

$$\frac{x}{m} = kC^n \quad (5.3)$$

(C સંતુલન સાંદ્રતા છે એટલે કે જ્યારે અધિશોષણ સંપૂર્ણ હોય ત્યારે). ઉપરના સમીકરણના ઘાતાંક (લઘુગણક) લેતાં આપણને મળશે.

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (5.4)$$

$\log \frac{x}{m}$  વિરુદ્ધ  $\log C$ નો આલેખ દોરતાં સીધી રેખા મળશે. જે કુન્ડલીય અધિશોષણ સમતાપ રેખાના વાજબીપણને દર્શાવે છે. આને પ્રાયોગિક રીતે એસિટિક એસિડની જુદી જુદી સાંદ્રતાવાળા દ્રાવણો લઈ પારખી શકાય. જુદા જુદા ફલાસ્કમાં દ્રાવણના સરખા કદ સરખા જથ્થામાંના અધિશોષકમાં ઉમેરવામાં આવે છે જુદા જુદા ફલાસ્કમાં અધિશોષણ બાદ સાંદ્રતા નક્કી કરવામાં આવે છે. પ્રારંભિક અને અંતિમ સાંદ્રતાનો તફાવત  $x$ ના મૂલ્ય આપે છે. ઉપરના સમીકરણનો ઉપયોગ કરીને કુન્ડલીય સમીકરણનું વાજબીપણું પ્રસ્થાપિત કરી શકાય છે.

### 5.1.6 અધિશોષણના અનુપ્રયોગો (Applications of Adsorption)

અધિશોષણની પરિઘટના ઘણા બધા અનુપ્રયોગો ધરાવે છે. કેટલાક અગત્યના અનુપ્રયોગોની અહીંયા યાદી કરેલ છે.

- ઉચ્ચ શૂન્યાવકાશ ઉત્પન્ન કરવા : શૂન્યાવકાશ પંપ વડે શૂન્યાવકાશ કરેલા પાત્રમાંથી રહી ગયેલ અલ્પ પ્રમાણમાંની હવાને ચારકોલ વડે અધિશોષિત કરવામાં આવે છે. જેથી વધુ ઉચ્ચ શૂન્યાવકાશ પ્રાપ્ત કરી શકાય છે.

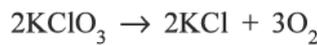
- (ii) ગેસ માસ્ક : ગેસ માસ્ક (એક એવું ઉપકરણ છે જે સક્રિયકૃત ચારકોલ અથવા અધિશોષકનું મિશ્રણ ધરાવે છે.)નો સામાન્ય રીતે ઉપયોગ કોલસાની ખાણોમાંથી નીકળતા જેરી વાયુઓને અધિશોષી લેવા માટે શ્વાસોચ્છ્વાસ દરમ્યાન વપરાય છે.
- (iii) ભેજનું નિયંત્રણ : સિલિકા અને એલ્યુમિનિયમ જેલ ભેજ દૂર કરવા માટે અને ભેજના નિયંત્રણ માટે અધિશોષક તરીકે વપરાય છે.
- (iv) દ્રાવણોમાંથી રંગીન દ્રવ્યને દૂર કરવા : પ્રાણીજ ચારકોલ દ્રાવણમાંથી રંગને રંગીન અશુદ્ધિઓનું અધિશોષણ કરી દૂર કરે છે.
- (v) વિષમાંગ ઉદ્દીપન : ઉદ્દીપકની ઘન સપાટી પર પ્રક્રિયકોનું અધિશોષણ પ્રક્રિયાનો વેગ વધારે છે. ઘણી બધી ઔદ્યોગિક દૃષ્ટિએ ઉપયોગી પ્રક્રિયાઓ છે જેમાં ઘન ઉદ્દીપક વપરાય છે. એમોનિયાનું ઉત્પાદન લોખંડને ઉદ્દીપક તરીકે વાપરીને, સંપર્ક પદ્ધતિ દ્વારા H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>નું ઉત્પાદન અને તેલના હાઇડ્રોજનેશન માટે ઝીંકી કરેલી નિકલનો ઉપયોગ વિષમાંગ સંતુલનના ઉત્તમ ઉદાહરણો છે.
- (vi) નિષ્ક્રિય વાયુઓનું અલગીકરણ : ચારકોલ વડે વાયુઓના અધિશોષણમાંના તફાવતના ફેરફારને કારણે ઉમદા વાયુઓના મિશ્રણને જુદા જુદા તાપમાને નાળિયેર-ચારકોલ પર અધિશોષણ દ્વારા અલગ કરી શકાય છે.
- (vii) રોગ મટાડવા માટે : ઘણા બધા ઔષધો જીવાણુને તેમના પર અધિશોષિત કરીને મારી નાંખવામાં આવે છે.
- (viii) ફીણ પ્લવન પદ્ધતિ : નિમ્ન કક્ષાની સલ્ફાઇડ અયસ્ક(કાચી ધાતુ)ને સિલિકાથી અને અન્ય મૃત્તિકામય દ્રવ્યથી અલગ કરીને આ પદ્ધતિથી સંકેન્દ્રિત કરવામાં આવે છે. આમાં પાઇન ઓઇલ અને ફીણ ઉત્પન્નકારક પ્રક્રિયકને વાપરવામાં આવે છે (જુઓ એકમ 6).
- (ix) અધિશોષણ સૂચકો : કેટલાક અવક્ષેપ જેમ કે સિલ્વર હેલાઇડની સપાટીને ઈઓસીન, ફ્લોરેસીન વગેરે કેટલાક રંગકોને અધિશોષિત કરવાનો ગુણધર્મ હોય છે અને તેને કારણે અંતિમબિંદુએ લાક્ષણિક રંગ પેદા કરે છે.
- (x) કોમેટોગ્રાફિક વિશ્લેષણ : અધિશોષણ પરિઘટના પર આધારિત કોમેટોગ્રાફિક વૈશ્લેષિક અને ઔદ્યોગિક ક્ષેત્રોમાં ઘણા અનુપ્રયોગો ધરાવે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 5.1 રાસાયણિક અધિશોષણની ગમે તે બે લાક્ષણિકતાઓ લખો.
- 5.2 તાપમાનના વધારા સાથે ભૌતિક અધિશોષણ શા માટે ઘટે છે ?
- 5.3 પાઉડર કરેલા પદાર્થો તેમના સ્ફટિકમય સ્વરૂપ કરતાં શા માટે વધારે અસરકારક અધિશોષકો છે ?

### 5.2 ઉદ્દીપન (Catalysis)

પોટેશિયમ ક્લોરેટને જ્યારે ખૂબ જ તીવ્રતાથી ગરમ કરવામાં આવે છે તો ધીમેથી વિઘટન પામીને ડાયઓક્સિજન આપે છે. વિઘટન 653 - 873 K તાપમાનના ગાળામાં (વિસ્તારમાં) થાય છે.



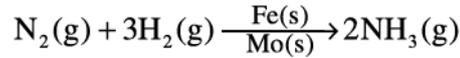
પરંતુ, જ્યારે થોડોક મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઇડ તેમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે સરખામણીમાં નીચા તાપમાને એટલે કે 473 - 633 K તાપમાને વિઘટન પામે છે અને ખૂબ જ પ્રવેગિત વેગે વિઘટન થાય છે. ઉમેરેલ મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઇડ તેના દળના અને સંઘટનના સંદર્ભમાં તે ફેરફારહીન રહે છે. એ જ રીતે, ઘણી બધી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓના વેગ વિજાતીય (foreign) પદાર્થની હાજરીમાં બદલી શકાય છે. જુદા

જુદા વિજાતીય (foreign) પદાર્થોની રાસાયણિક પ્રક્રિયાના વેગ પરની અસરનો પદ્ધતિસર અભ્યાસ સૌપ્રથમ બર્ઝેલિયસે (Berzelius) 1835માં કરેલો. આવા પદાર્થો માટે તેમણે ઉદ્દીપક પર્યાય સૂચવેલો.

પદાર્થો જે રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ વધારે છે અને પોતાની જાતે રાસાયણિક રીતે અથવા જથ્થાત્મક રીતે પ્રક્રિયા પછી ફેરફાર વગર રહે છે. તેમને ઉદ્દીપક તરીકે ઓળખવામાં આવે છે અને આ પરિઘટના ઉદ્દીપન તરીકે ઓળખાય છે. તમે વિભાગ 4.5માં ઉદ્દીપન અને તેના કાર્યનો અભ્યાસ કરી ગયા છો.

**પ્રવર્ધક (promoters) અને વિષ (poisons) :**

પ્રવર્ધકો એવા પદાર્થો છે જે ઉદ્દીપકની સક્રિયતામાં વધારો કરે છે. જ્યારે વિષ (ઝેર) ઉદ્દીપકની સક્રિયતામાં ઘટાડો કરે છે ઉદાહરણ તરીકે, એમોનિયાના ઉત્પાદનની હેબર વિધિમાં મોલિબ્ડેનમ, આયર્ન જે ઉદ્દીપક તરીકે વપરાયેલ છે તેને માટે પ્રવર્ધક તરીકે કાર્ય કરે છે.



### 5.2.1 સમાંગ અને વિષમાંગ

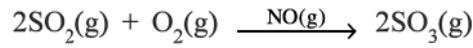
#### ઉદ્દીપન (Homogeneous and Heterogeneous Catalysis)

ઉદ્દીપન વિશાળરૂપે બે સમૂહમાં વહેંચી શકાય.

(a) સમાંગ ઉદ્દીપન :

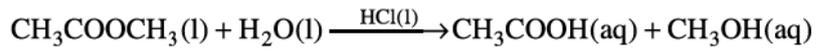
જ્યારે પ્રક્રિયકો, નીપજો અને ઉદ્દીપક એક જ કલામાં હોય (એટલે કે પ્રવાહી અથવા વાયુ) ત્યારે પ્રક્રમને સમાંગ ઉદ્દીપન કહેવામાં આવે છે સમાંગ ઉદ્દીપનના કેટલાક ઉદાહરણો નીચે પ્રમાણે છે :

(i) લેડ ચેમ્બર વિધિમાં સલ્ફર ડાયોક્સાઇડનું સલ્ફર ટ્રાયોક્સાઇડમાં ઓક્સિજન સાથેનું ઉદ્દીપક નાઇટ્રોજનના ઓક્સાઇડની હાજરીમાં ઓક્સિડેશન.



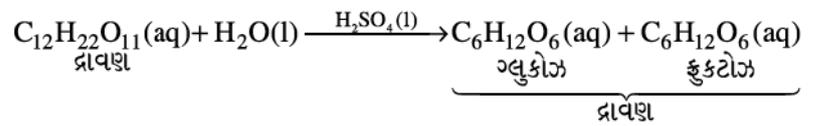
પ્રક્રિયકો સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ અને ઓક્સિજન અને ઉદ્દીપક નાઇટ્રિક ઓક્સાઇડ બધા જ એક જ કલામાં છે.

(ii) HCl વડે પૂરા પાડવામાં આવતા ઉદ્દીપક H<sup>+</sup>ની હાજરીમાં મિથાઇલ એસિટેટનું જળવિભાજન.



બંને પ્રક્રિયકો અને ઉદ્દીપક એક જ કલામાં છે.

(iii) સલ્ફ્યુરિક એસિડ દ્વારા પૂરા પાડવામાં આવતા H<sup>+</sup> આયનથી ખાંડનું જળવિભાજન ઉદ્દીપિત થાય છે.

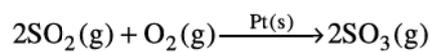


બંને પ્રક્રિયકો અને ઉદ્દીપક એક જ અવસ્થામાં છે.

(b) વિષમાંગ ઉદ્દીપન :

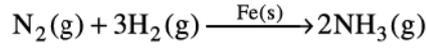
એવો ઉદ્દીપન પ્રક્રમ (પ્રક્રિયા) જેમાં પ્રક્રિયકો અને ઉદ્દીપક જુદી જુદી કલામાં હોય છે તો વિષમાંગ ઉદ્દીપન કહે છે. વિષમાંગ ઉદ્દીપનના કેટલાક ઉદાહરણો નીચે આપવામાં આવ્યા છે :

(i) Ptની હાજરીમાં સલ્ફર ડાયોક્સાઇડનું સલ્ફર ટ્રાયોક્સાઇડમાં ઓક્સિડેશન.



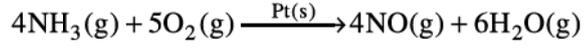
પ્રક્રિયક વાયુમય અવસ્થામાં છે. જ્યારે ઉદ્દીપક ઘન અવસ્થામાં છે.

- (ii) હેબર વિધિમાં ઝીણા કરેલ આયર્નની હાજરીમાં ડાયનાઇટ્રોજન અને ડાયહાઇડ્રોજનનું સંયોગીકરણ.



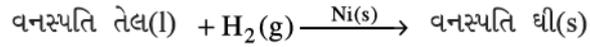
પ્રક્રિયકો વાયુમય અવસ્થામાં છે. જ્યારે ઉદ્દીપક ઘન અવસ્થામાં છે.

- (iii) ઓસ્વાલ્ડ વિધિમાં પ્લેટિનમ ગોજ(gauze)ની હાજરીમાં એમોનિયાનું નાઇટ્રિક ઓક્સાઇડમાં ઓક્સિડેશન.



પ્રક્રિયકો વાયુમય અવસ્થામાં છે જ્યારે ઉદ્દીપક ઘન અવસ્થામાં છે.

- (iv) ઝીણા કરેલા નિકલ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં વનસ્પતિ તેલનું હાઇડ્રોજીનેશન.



પ્રક્રિયકોમાંનો એક પ્રવાહી અવસ્થામાં અને બીજો વાયુમય અવસ્થામાં છે. જ્યારે ઉદ્દીપક ઘન અવસ્થામાં છે.

### 5.2.2 વિષમાંગ ઉદ્દીપનનો અધિશોષણ સિદ્ધાંત (Adsorption Theory of Heterogeneous Catalysis)

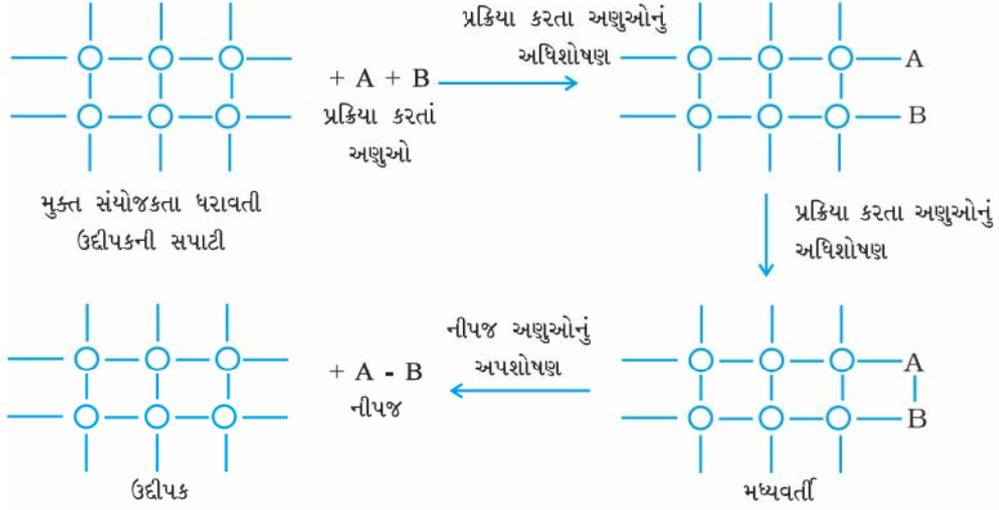
આ સિદ્ધાંત વિષમાંગ સંતુલનની ક્રિયાવિધિ સમજાવે છે. જુનો સિદ્ધાંત ઉદ્દીપનના અધિશોષણ સિદ્ધાંત તરીકે જાણીતો છે. જેમાં એમ ગણવામાં આવતું હતું કે વાયુમય અવસ્થા અથવા દ્રાવણમાંના પ્રક્રિયકો ઘન ઉદ્દીપકની સપાટી પર અધિશોષિત થાય છે. સપાટી પર પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતામાં વધારો પ્રક્રિયા વેગ વધારે છે. અધિશોષણ ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા હોવાથી અધિશોષણ ઉષ્માનો ઉપયોગ પ્રક્રિયાનો વેગ વધારવામાં થાય છે.

ઉદ્દીપિત ક્રિયા મધ્યવર્તી સંયોજનના નિર્માણ(બનાવટ)ના પર્યાયમાં સમજાવી શકાય. આ સિદ્ધાંત જેનો તમે વિભાગ 4.5.1માં અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છો.

આધુનિક અધિશોષણ સિદ્ધાંત મધ્યવર્તી સંયોજનના નિર્માણનો સિદ્ધાંત અને જુના અધિશોષણ સિદ્ધાંતનું સંયોગીકરણ છે. ઉદ્દીપિત સક્રિયતા ઉદ્દીપકની સપાટી પર સ્થાનીકૃત (localised) થાય છે. આ ક્રિયાવિધિ પાંચ સોપાનોનો સમાવેશ કરે છે :

- પ્રક્રિયકોનું ઉદ્દીપકની સપાટી તરફ પ્રસરણ.
- ઉદ્દીપકની સપાટી પર પ્રક્રિયક અણુઓનું અધિશોષણ.
- મધ્યવર્તી સંયોજનના નિર્માણ દ્વારા ઉદ્દીપકની સપાટી પર રાસાયણિક પ્રક્રિયાનું થવું (આકૃતિ 5.3).
- ઉદ્દીપક સપાટી પરથી પ્રક્રિયા નીપજનું અપશોષણ (desorption) થવું અને તેને પરિણામે ફરીથી સપાટી પ્રાપ્ય થવી જેથી વધુ પ્રક્રિયા થઈ શકે.
- પ્રક્રિયા નીપજનું ઉદ્દીપકની સપાટીથી દૂર પ્રસરણ થવું. ઉદ્દીપકની સપાટી પર અંદરના જથ્થા કરતાં મુક્ત સંયોજકતાઓ અણુઓ હોય છે જે રાસાયણિક આકર્ષણબળો માટે સ્થાનની જોગવાઈ કરે છે. આવી સપાટીના સંપર્કમાં જ્યારે વાયુ આવે છે, ત્યારે નિર્બળ (loose) રાસાયણિક સંયોગીકરણને કારણે એક્સાથે ત્યાં ગોઠવાય છે. જો જુદા જુદા અણુઓ બાજુ બાજુમાં અધિશોષિત થયેલા હોય, તો તેઓ એકબીજા સાથે પ્રક્રિયા કરે જેને પરિણામે નવા અણુઓનું નિર્માણ થાય છે. આમ રચાયેલા અણુઓ સપાટી પરથી બાષ્પીભવન પામે જેથી તાજા પ્રક્રિયક અણુઓને સપાટી પૂરી પાડે.

આ સિદ્ધાંત સમજાવે છે કે પ્રક્રિયાને અંતે ઉદ્દીપકના દળમાં અને રાસાયણિક



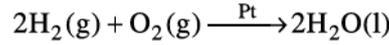
આકૃતિ 5.3 : પ્રક્રિયા કરતાં અણુઓનું અધિશોષણ, મધ્યવર્તીનું નિર્માણ (બનાવટ) અને નીપજોનું અપશોષણ

સંઘટનમાં ફેરફાર થતો નથી અને તે અલ્પપ્રમાણમાં હોવા છતાં અસરકારક રહે છે. તેમ છતાં પણ આ સિદ્ધાંત ઉદ્દીપકીય પ્રવર્ધકો અને ઉદ્દીપકીય વિષયના કાર્યને સમજાવી શકતા નથી.

ઘન ઉદ્દીપકની અગત્યની ખાસિયતો :

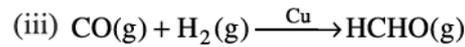
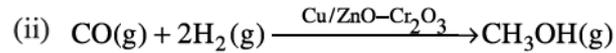
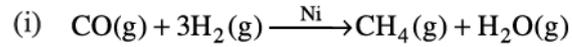
(a) સક્રિયતા :

ઉદ્દીપકની સક્રિયતા વિશેષ પ્રમાણમાં રાસાયણિક અધિશોષણની પ્રબળતા પર આધાર રાખે છે. પ્રક્રિયકો ઉદ્દીપક પર પ્રમાણમાં (reasonably) પ્રબળતાથી અધિશોષિત થવા જોઈએ. જેથી તે સક્રિય બને. વળી, તે એટલી બધી પ્રબળતાથી અધિશોષિત ન થવાં જોઈએ જેથી તેઓ ગતિશીલ રહે નહિ અને બીજા પ્રક્રિયક ઉદ્દીપકની સપાટી પર અધિશોષિત થવા માટે જગ્યા ન હોય. એ જાણવા મળ્યું છે કે હાઈડ્રોજનેશન પ્રક્રિયામાં ઉદ્દીપકીય સક્રિયતા સમૂહ 5થી સમૂહ-11ના ધાતુ તત્ત્વો સાથે વધે છે. મહત્તમ સક્રિયતા આવર્ત કોષ્ટકના સમૂહ 7 - 9નાં તત્ત્વો દર્શાવે છે (ધોરણ-XI એકમ-3).



(b) વરણાત્મકતા (Selectivity) :

ઉદ્દીપકની વરણાત્મકતા એટલે કે જ્યારે સમાન પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિમાં અનેક નીપજો શક્ય હોય ત્યારે તેની ચોક્કસ નીપજ ઉત્પન્ન કરવાની દિશામાં લઈ જવાની ક્ષમતા. સમાન પ્રક્રિયકો માટે જુદા-જુદા ઉદ્દીપકોની વરણાત્મકતા જુદી-જુદી હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $\text{H}_2$  અને  $\text{CO}$ થી શરૂઆત કરીને જો જુદા જુદા ઉદ્દીપકો વાપરીએ તો જુદી જુદી નીપજ મળે છે.



આથી એ અવલોકન કરી શકાય કે ઉદ્દીપકીય પ્રક્રિયા સ્વભાવે ખૂબ જ વરણાત્મક છે. એટલે કે કોઈ આપેલ ઉદ્દીપક કોઈ ખાસ પ્રક્રિયા માટે વર્તે છે અને બધી પ્રક્રિયાઓ માટે નહિ. આનો અર્થ એમ થાય છે કે એક પદાર્થ કોઈ એક પ્રક્રિયામાં ઉદ્દીપક તરીકે વર્તે છે, તે અન્ય પ્રક્રિયાઓને ઉદ્દીપીત કરવામાં નિષ્ફળ નીવડે.

### 5.2.3 ઝિયોલાઈટ વડે આકાર વરણાત્મક ઉદ્દીપન (Shape Selective Catalysis by Zeolites)

ઉદ્દીપકીય પ્રક્રિયાઓ જે ઉદ્દીપકની છિદ્ર રચના અને પ્રક્રિયક અને નીપજ અણુઓના કદ (size) પર આધાર રાખે છે. તેને આકાર વરણાત્મક ઉદ્દીપન કહે છે. ઝિયોલાઈટ સારા આકાર વરણાત્મક ઉદ્દીપક છે કારણ કે તેમની રચના મધપૂડા જેવી હોય છે તે એલ્યુમિનોસિલિકેટના સૂક્ષ્મછિદ્રો જેમને ત્રિ-પરિમાણીય જાળીદાર રચના હોવાથી



કેટલીક અગત્યની ઉત્સેચકીય પ્રક્રિયાઓની સારાંશ કોષ્ટક 5.2માં દર્શાવેલો છે.

કોષ્ટક 5.2 : કેટલીક ઉત્સેચકીય પ્રક્રિયાઓ

ઉત્સેચક	સ્રોત	ઉત્સેચકીય પ્રક્રિયાઓ
ઇન્વર્ટેઝ	થીસ્ટ	સુકોઝ → ગ્લુકોઝ અને ફ્રુક્ટોઝ
ઝાયમેઝ	થીસ્ટ	ગ્લુકોઝ → ઇથાઇલ આલ્કોહોલ અને કાર્બન ડાયોક્સાઇડ
ડાયાસ્ટેઝ	માલ્ટ	સ્ટાર્ચ → માલ્ટોઝ
માલ્ટેઝ	થીસ્ટ	માલ્ટોઝ → ગ્લુકોઝ
યુરેઝ	સોયાબીન	યૂરિયા → એમોનિયા અને કાર્બન ડાયોક્સાઇડ
પેપ્સીન	હોજરી	પ્રોટીન → એમિનો એસિડ

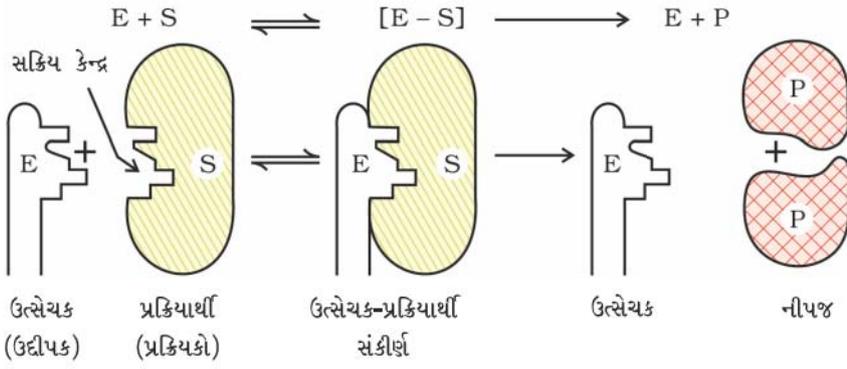
**ઉત્સેચક ઉદ્દીપનની લાક્ષણિકતાઓ :**

ઉત્સેચક ઉદ્દીપન તેની કાર્યક્ષમતામાં અદ્વિતીય છે અને ઉચ્ચ માત્રામાં વિશિષ્ટ છે. નીચેની લાક્ષણિકતાઓ ઉત્સેચકીય ઉદ્દીપનમાં નીચેની વિશિષ્ટતાઓ પ્રદર્શિત થાય છે :

- (i) **ખૂબ જ વિશિષ્ટ કાર્યક્ષમ :** ઉત્સેચકનો એક અણુ પ્રક્રિયકના દસ લાખ અણુઓને પ્રતિમિનિટમાં રૂપાંતરિત કરી શકે છે.
- (ii) **ઉચ્ચતમ વિશિષ્ટ સ્વભાવ(પ્રકૃતિ) :** દરેક ઉત્સેચક આપેલ પ્રક્રિયક માટે વિશિષ્ટ હોય છે. એટલે કે એક ઉદ્દીપક એક પ્રક્રિયા કરતાં વધુ પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપીત કરી શકે નહિ. ઉદાહરણ તરીકે, યૂરિયાના જળવિભાજનમાં યુરેઝ ઉદ્દીપક માત્ર યૂરિયાનું જળવિભાજન કરે છે. તે બીજા કોઈ અમાઇડનું જળવિભાજન કરતું નથી.
- (iii) **અનુકૂળતમ તાપમાને ઉચ્ચતમ સક્રિય :** ઉત્સેચક પ્રક્રિયાનો વેગ અમુક ચોક્કસ તાપમાને મહત્તમ બને છે જે તાપમાનને અનુકૂળતમ તાપમાન કહે છે. અનુકૂળતમ તાપમાનથી કોઈ પણ ઊંચા કે નીચા તાપમાને ઉત્સેચક સક્રિયતા ઘટે છે. અનુકૂળતમ તાપમાન ઉત્સેચકીય સક્રિયતા માટે 298-310 K તાપમાનના ગાળામાં હોય છે. માનવ શરીરનું તાપમાન 310 K હોવાથી તે ઉત્સેચક ઉદ્દીપકીય પ્રક્રિયાઓ માટે યોગ્ય રહે છે.
- (iv) **અનુકૂળતમ pH હેઠળ ઉચ્ચતમ સક્રિય :** ઉત્સેચક ઉદ્દીપકીય પ્રક્રિયા અમુક pH મૂલ્યે મહત્તમ હોય છે અને આ pH મૂલ્યને અનુકૂળતમ pH કહે છે જે pH 5 - 7ની વચ્ચે હોય છે.
- (v) **ઉત્તેજક અને સહઉત્સેચકની હાજરીમાં સક્રિયતા વધે છે :** ઉત્સેચકીય સક્રિયતા કેટલાક પદાર્થો જેને સહ-ઉત્સેચક કહેવામાં આવે છે તેની હાજરીમાં ઉત્સેચકીય સક્રિયતા વધે છે. આવા પદાર્થોનો સહ-ઉત્સેચક કહેવામાં આવે છે. એ નોંધવામાં આવ્યું છે કે જ્યારે બિન-પ્રોટિન(વિટામિન)નું અલ્પપ્રમાણ ઉત્સેચક સાથે હાજર હોય તો ઉત્સેચકીય સક્રિયતા નોંધપાત્ર રીતે વધે છે.  
ઉત્તેજકો (activators) સામાન્ય રીતે  $Na^+$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  વગેરે જેવા ધાત્વીય આયનો હોય છે. આ ધાત્વીય આયનો જ્યારે ઉત્સેચક અણુઓ સાથે નિર્બળ રીતે બંધિત હોય છે ત્યારે તેમની ઉત્સેચકીય સક્રિયતા વધારે છે. એમાઇલેઝ સોડિયમ ક્લોરાઇડ એટલે કે  $Na^+$  આયનની હાજરીમાં ઉદ્દીપકીય રીતે ખૂબ જ સક્રિય હોય છે.
- (vi) **નિરોધકો અને વિષ(poison)ની અસર :** સામાન્ય ઉદ્દીપકની જેમ, ઉત્સેચક કેટલાક પદાર્થોની હાજરીમાં નિરોધન પામે છે અથવા વિષ-ઝેરીકરણ પામે છે. નિરોધકો અથવા વિષ ઉત્સેચક સપાટી પર સક્રિય ક્રિયાશીલ (functional) સમૂહ સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે અને તે ઉત્સેચકની ઉદ્દીપકીય સક્રિયતાને ઘટાડી નાંખે છે અથવા સંપૂર્ણપણે નાશ કરે છે. ઘણા ઔષધનો ઉપયોગ શરીરમાં ઉત્સેચક નિરોધકો તરીકેની તેમની ક્રિયા સાથે સંબંધ ધરાવે છે.

**ઉત્સેચક ઉદ્દીપનની ક્રિયાવિધિ :**

ઉત્સેચકોના કલિલમય કણોની સપાટી પર ઘણા છિદ્રો (cavities) રહેલા હોય છે. આ છિદ્રો લાક્ષણિક આકારના હોય છે અને  $-NH_2$ ,  $-COOH$ ,  $-SH$ ,  $-OH$  વગેરે સક્રિય સમૂહ ધરાવતા હોય છે.



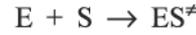
આકૃતિ 5.4 : ઉત્સેચક ઉદ્દીપીત પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ

ખરેખર તો આ ઉત્સેચક કણોની સપાટી પરના સક્રિય કેન્દ્રો હોય છે. પ્રક્રિયક (પ્રક્રિયાર્થી) (અવસ્તર) (substrate)ના અણુઓ જેમને પૂરક (complementary) આકાર હોય છે તે આ છિદ્રોમાં જેમ તાળામાં કૂચી (ચાવી) ગોઠવાય છે તેવી જ રીતે ગોઠવાય છે. સક્રિય સમૂહની હાજરીને કારણે સક્રિયકૃત સંકીર્ણ રચાય છે જે પછીથી વિઘટિત થાય છે અને નીપજો આપે છે.

આમ ઉત્સેચક ઉદ્દીપીત પ્રક્રિયાઓને નીચેના બે તબક્કામાં

આગળ વધતી પ્રક્રિયાઓ ગણી શકાય.

તબક્કો 1 : પ્રક્રિયાર્થી (અવસ્તર) સાથે ઉત્સેચકનું બંધન અને સક્રિયકૃત સંકીર્ણની રચના.



તબક્કો 2 : નીપજના નિર્માણ(બનાવટ)માં સક્રિયકૃત સંકીર્ણનું વિઘટન.



### 5.2.5 ઉદ્યોગોમાં ઉદ્દીપકો

(Catalysts in Industry)

ઉદ્યોગોમાં ઉદ્દીપકોની ઉપયોગિતા વિશેના વિચારના અનુસંધાનમાં કેટલાક અગત્યના પ્રૌદ્યોગિક (technical) ઉદ્દીપકીય પ્રક્રમોની યાદી કોષ્ટક 5.3માં સમાવિષ્ટ કરેલ છે.

કોષ્ટક 5.3 : કેટલાક ઔદ્યોગિક ઉદ્દીપકીય પ્રક્રમો

પ્રક્રમ	ઉદ્દીપક
1. એમોનિયાની બનાવટ માટેની હેબર વિધિ $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$	ખૂબ જ ઝીણું કરેલ આયર્ન, પ્રવર્ધક તરીકે મોલિબ્ડેનમ, પરિસ્થિતિ (conditions) : 200 bar દબાણ અને 723 - 773 K તાપમાન. હાલમાં આયર્ન ઓક્સાઇડ, પોટેશિયમ ઓક્સાઇડ અને એલ્યુમિનાના મિશ્રણનો ઉપયોગ થાય છે.
2. નાઇટ્રિક એસિડના ઉત્પાદન માટેનો ઓસ્વાલ્ડ પ્રક્રમ $4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$ $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ $4NO_2(g) + 2H_2O(l) + O_2(g) \rightarrow 4HNO_3(aq)$	પ્લેટિનાઇઝ્ડ એસ્બેસ્ટોસ, તાપમાન 573 K.
3. સલ્ફ્યુરિક એસિડના ઉત્પાદન માટેનો સંપર્ક પ્રક્રમ $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$ $SO_3(g) + H_2SO_4(aq) \rightarrow H_2S_2O_7(l)$ ધૂમાયમાન (oleum) $H_2S_2O_7(l) + H_2O(l) \rightarrow 2H_2SO_4(aq)$	પ્લેટિનાઇઝ્ડ એસ્બેસ્ટોસ અથવા વેનેડિયમ પેન્ટોક્સાઇડ ( $V_2O_5$ ), તાપમાન 673 - 723 K.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- હેબર વિધિમાં હાઇડ્રોજન મિથેનની NiO ઉદ્દીપકની હાજરીમાં વરાળ સાથેની પ્રક્રિયાથી મેળવવામાં આવે છે. આ પ્રક્રિયા વરાળ પુનર્રચના (reforming) તરીકે ઓળખાય છે. શા માટે જ્યારે એમોનિયા હેબર વિધિથી મેળવવામાં આવે છે ત્યારે CO ને દૂર કરવું જરૂરી છે ?
- એસ્ટરનું જળવિભાજન શરૂઆતમાં ધીમું હોય છે અને થોડાક સમય પછી ઝડપી શા માટે થાય છે ?
- ઉદ્દીપન પ્રક્રિયામાં અપશોષણનું શું કાર્ય છે ?

### 5.3 કલિલ (Colloids)

આપણે એકમ 2માં અભ્યાસ કર્યો કે દ્રાવણો સમાંગ પ્રણાલી છે. આપણે એ પણ જાણીએ છીએ કે રેતીને પાણીમાં હલાવીએ તો નિલંબન (suspension) આપે છે. જે ધીમે ધીમે સમય સાથે બેસી જાય છે. નિલંબન અને દ્રાવણો બંને ચરમ (extremes) વચ્ચે આપણે વિશાળ સમૂહોની પ્રણાલી જેને કલિલમય પરિક્ષેપન અથવા સામાન્ય રીતે કલિલ કહીએ છીએ તે મળે છે.

કલિલ વિષમાંગ પ્રણાલી છે જેમાં એક પદાર્થ પરિક્ષેપિત કલા (dispersed phase) ખૂબ ઝીણા કણો સ્વરૂપે અને બીજો પદાર્થ જેને પરિક્ષેપન માધ્યમ (dispersion medium) કહીએ છીએ તે હોય છે.

દ્રાવણ અને કલિલ વચ્ચેનો આવશ્યક તફાવત કણોના કદનો છે. દ્રાવણોમાં ઘટક કણો આયન અથવા નાના કણો સ્વરૂપે હોય છે જ્યારે કલિલમાં, પરિક્ષેપિત કલા એક બૃહદકણ (macromolecule) (જેમ કે પ્રોટીન અથવા સાંશ્લેષિત પોલિમર) અથવા ઘણા પરમાણુઓ, આયનો કે અણુઓનો સમુચ્ચય હોય છે. કલિલમય કણો સાદા કણો કરતાં મોટાં હોય છે પણ એટલા નાના હોય છે કે નિલંબિત રહે છે. તેમના વ્યાસનો ગાળો (range) 1થી 1000 nm ( $10^{-9}$  to  $10^{-6}$  m)ની વચ્ચે હોય છે.

કલિલમય કણોને પ્રતિ એકમ દળે ઘણું વિશાળ પૃષ્ઠ ક્ષેત્રફળ તેમના નાના કદને પરિણામે હોય છે. એક 1 cm બાજુવાળો સમઘન વિચારો. તેનું કુલ સપાટી ક્ષેત્રફળ  $6 \text{ cm}^2$  છે. જો તેને સમાન રીતે  $10^{12}$  સમઘનમાં વિભાજિત કરવામાં આવે તો સમઘન મોટા કલિલમય કણોના જેટલું થશે અને તેનું કુલ સપાટી ક્ષેત્રફળ  $60,000 \text{ cm}^2$  અથવા  $6 \text{ m}^2$  થશે. આ વિશાળ સપાટી ક્ષેત્રફળ કલિલના કેટલાક વિશિષ્ટ ગુણધર્મો તરફ દોરે છે જેની આ એકમમાં આગળ ઉપર ચર્ચા કરવામાં આવશે. કલિલનું વર્ગીકરણ નીચેનાં અભિલક્ષણોના આધારે કરવામાં આવે છે :

- પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમની ભૌતિક અવસ્થા.
- પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ વચ્ચેની પારસ્પારિક ક્રિયાના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર.
- પરિક્ષેપિત કલાના કણોના પ્રકાર પર.

### 5.4 કલિલનું વર્ગીકરણ

#### (Classification of Colloids)

#### 5.4.1 પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમની ભૌતિક અવસ્થા પર આધારિત વર્ગીકરણ

#### (Classification Based on Physical State of Dispersed Phase and Dispersion Medium)

પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ ઘન, પ્રવાહી કે વાયુ છે તેના આધારે આઠ પ્રકારની કલિલ પ્રણાલી શક્ય છે. એક વાયુ બીજા વાયુ સાથે ભળે ત્યારે સમાંગ મિશ્રણ બનાવે છે અને તેથી તે કલિલમય પ્રણાલી નથી. જુદા જુદા કલિલો અને તેમના વિશિષ્ટ નામ સાથેની યાદી કોષ્ટક 5.4માં આપેલ છે.

કોષ્ટક 5.4 : કલિલ પ્રણાલીના પ્રકાર

પરિક્ષેપિત કલા	પરિક્ષેપન માધ્યમ	કલિલનો પ્રકાર	ઉદાહરણ
ઘન	ઘન	ઘન સોલ	કેટલાક રંગીનકાચ અને જેમ સ્ટોન
ઘન	પ્રવાહી	સોલ	રંગ અને કોષ્ઠદ્રવ્ય
ઘન	વાયુ	એરોસોલ	ધુમાડો અને ધૂળ
પ્રવાહી	ઘન	જેલ (gel)	ચીઝ, બટર, જેલી
પ્રવાહી	પ્રવાહી	પાયસ (ઈમલ્ઝન)	દૂધ, વાળ (હેર) ક્રીમ, માખણ
પ્રવાહી	વાયુ	એરોસોલ	ધુમ્મસ, ધૂમ્ર, વાદળ, જંતુનાશક સ્પ્રે
વાયુ	ઘન	ઘન સોલ	પ્યુમિસ પથ્થર, ફોમ રબર
વાયુ	પ્રવાહી	ફીણ (Foam)	ફીણ, કશા (whipped) ક્રીમ, સાબુનું ફીણ

ઘણી જાણીતી વ્યાપારિક પેદાશો અને કુદરતી વસ્તુઓ કલિલ છે. ઉદાહરણ તરીકે કશા (whipped) ક્રીમ ફીણ છે જે પ્રવાહીમાં પરિક્ષેપિત વાયુ છે. અગ્નિશામક ફીણ એરોપ્લેનના ઉતરાણ વખતના આપત્તિકાળ સમયે વપરાય છે તે પણ કલિલમય પ્રણાલી છે. મોટા ભાગના જૈવીય દ્રવ (પાણીમાં પરિક્ષેપિત ઘન) જલીય સોલ છે. કોઈ વિશિષ્ટ કોશમાં પ્રોટીન, ન્યુકલિક એસિડ કલિલમય કદના કણો છે જે આયન અને નાના અણુઓના જલીય દ્રાવણમાં પરિક્ષેપિત હોય છે.

કોષ્ટક 5.4માં આપેલ કલિલના જુદા જુદા પ્રકારમાંથી વધુ જાણીતા સોલ (પ્રવાહીમાં ઘન), જેલ (ઘનમાં પ્રવાહી) અને પાયસ (ઈમલ્ઝન) (પ્રવાહીમાં પ્રવાહી) છે. આ એકમમાં આપણે માત્ર સોલ અને પાયસની ચર્ચા કરીશું. વળી, એ પણ દર્શાવવું જોઈએ કે પરિક્ષેપન માધ્યમ પાણી હોય તો સોલને એકવાસોલ અથવા હાઈડ્રોસોલ કહે છે અને જો પરિક્ષેપન માધ્યમ આલ્કોહોલ હોય, તો તેને આલ્કોસોલ કહે છે. આ પ્રમાણે બીજા દર્શાવી શકાય.

**5.4.2 પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ વચ્ચેની પારસ્પરિક પ્રક્રિયાના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધારિત વર્ગીકરણ (Classification Based on Nature of Interaction Between Dispersed Phase and Dispersion Medium)**

પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ વચ્ચે પારસ્પરિક ક્રિયાના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધારિત કલિલમય સોલ બે વિભાગમાં વિભાજિત કરેલા છે. જે દ્રવઅનુરાગી (દ્રાવક આકર્ષિત) અને દ્રવવિરાગી (દ્રાવક અપાકર્ષિત). જો પાણી પરિક્ષેપન માધ્યમ હોય તો વપરાતા પર્યાયો જળઅનુરાગી અને જળવિરાગી છે :

- (i) *દ્રવઅનુરાગી કલિલ* : દ્રવઅનુરાગી શબ્દનો અર્થ થાય છે કે પ્રવાહી-આલક કલિલમય સોલ જે ગુંદર, જીલેટિન, સ્ટાર્ચ, રબર વગેરે જેવા પદાર્થોને યોગ્ય પ્રવાહી(પરિક્ષેપન માધ્યમ)માં મિશ્ર કરતાં ખૂબ જ સહેલાઈથી મળતા સોલને દ્રવઅનુરાગી સોલ કહે છે. આ સોલની અગત્યની લાક્ષણિકતા એ છે કે જો પરિક્ષેપન માધ્યમને પરિક્ષેપિત કલામાંથી અલગ કરવામાં આવે (માનો કે બાષ્પીભવન), ત્યારે સોલ પરિક્ષેપન માધ્યમ સાથે ફરીવાર મિશ્ર કરીને પુનઃરચિત કરી શકાય છે. આથી જ આ સોલને પરિવર્તનીય સોલ કહેવામાં આવે છે. વળી, આ સોલ ઘણા જ સ્થાયી હોય છે અને સહેલાઈથી અગાઉની ચર્ચા પ્રમાણે સ્કંદન પામતા નથી.
- (ii) *દ્રવવિરાગી કલિલ* : દ્રવવિરાગી શબ્દનો અર્થ થાય છે પ્રવાહી - વિરાગી (ધિક્કાર-hating) ધાતુઓ, તેના સલ્ફાઈડ વગેરે જેવા પદાર્થો જ્યારે પરિક્ષેપન માધ્યમમાં મિશ્ર કરવામાં આવે છે ત્યારે, કલિલમય સોલ બનાવતા નથી. તેમના કલિલમય સોલ વિશિષ્ટ પદ્ધતિઓ દ્વારા જ બનાવી શકાય છે. (આગળ ઉપર ચર્ચા કર્યા પ્રમાણે). આવા સોલને દ્રવવિરાગી સોલ કહે છે. આ સોલ થોડા પ્રમાણમાં વિદ્યુતવિભાજ્ય ઉમેરતાં અથવા ગરમ કરતાં અથવા હલાવવાથી ઝડપથી અવક્ષેપિત થાય છે (સ્કંદન પામે છે). આથી તેઓ સ્થાયી નથી. વળી, એકવાર અવક્ષેપિત થયા પછી, ફરી પાછા પરત કલિલમય સોલ પરિક્ષેપન માધ્યમ ઉમેરવા છતાં પણ મેળવી શકાતા નથી. આથી, આ સોલને અપ્રતિવર્તીય સોલ કહે છે. દ્રવવિરાગી સોલને સાચવવા કરવા માટે સ્થાયીકારક પ્રક્રિયકોની જરૂર પડે છે.

**5.4.3 અવક્ષેપિત કલાના કણોના પ્રકાર પર આધારિત વર્ગીકરણ બહુઆણ્વીય, વિરાટ (બૃહદ) આણ્વીય, અને સમુચ્ચયિત કલિલ (Classification Based on Type of Particles of the Dispersed phase, Multimolecular, Macromolecular and Associated Colloids)**

પરિક્ષેપિત કલાના કણોના પ્રકાર પર આધારિત કલિલો બહુઆણ્વીય, વિરાટ આણ્વીય અને સમુચ્ચયિત કલિલો તરીકે વર્ગીકૃત કરવામાં આવેલ છે.

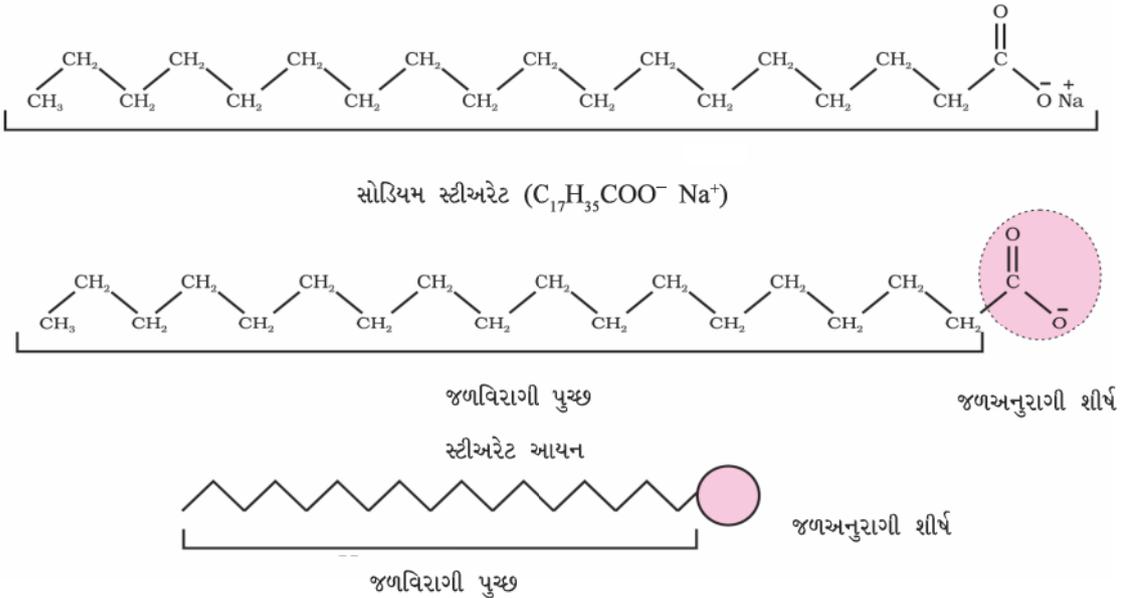
- (i) *બહુ આણ્વીય કલિલ* : પદાર્થના નાના કણો અથવા વિપુલ પ્રમાણમાં અણુઓનું વિલયન કરતાં તેઓ એકબીજા સાથે સમુચ્ચયથી ભેગા થઈને કલિલ કણોના કદ (1 - 1000 nm) માપના અણુઓ બનાવે છે. આ રીતે રચાતી સ્પિસીઝને બહુઆણ્વીય કલિલ કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે, ગોલ્ડ સોલ ઘણા પરમાણુ ધરાવતા જુદા જુદા કદના કણો ધરાવે છે. સલ્ફર સોલ હજાર અથવા વધારે S<sub>8</sub> સલ્ફર અણુઓના કણો ધરાવે છે.
- (ii) *વિરાટ આણ્વીય કલિલ* : વિરાટ અણુઓ (એકમ 15) યોગ્ય દ્રાવકમાં દ્રાવણ બનાવે છે જેમાં વિરાટ અણુઓનું કદ કલિલમયના કદના ગાળામાં હોય છે.

આવી પ્રણાલીને વિરાટ આણ્વીય કલિલ કહેવામાં આવે છે. આ કલિલ ઘણા જ સ્થાયી હોય છે અને ઘણી બાબતોમાં સાચા દ્રાવણને મળતાં (resemble) આવે છે. કુદરતી રીતે ઉદ્ભવતા વિરાટ અણુઓમાં સ્ટાર્ચ, સેલ્યુલોઝ, પ્રોટીન અને ઉત્સેચકનો સમાવેશ થાય છે અને માનવસર્જિત વિરાટ અણુઓમાં પોલિથીન, નાયલોન, પોલિસ્ટાયરીન, સાંશ્લેષિત રબર વગેરે છે.

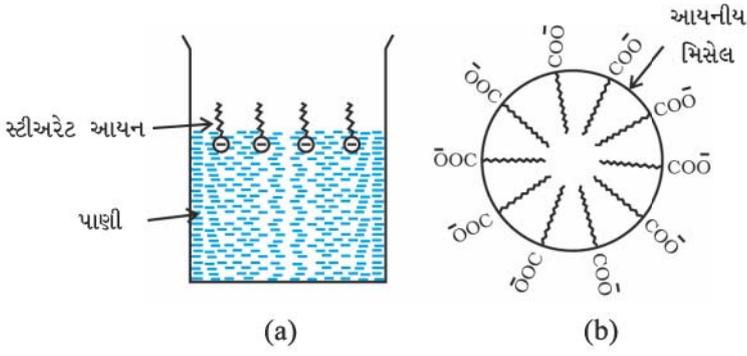
(iii) સમુચ્ચયિત કલિલ (મિસેલ) : આ કેટલાક એવા પદાર્થો છે જે નિમ્ન સાંદ્રતાએ સામાન્ય પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે વર્તે છે. પરંતુ ઊંચી સાંદ્રતાએ સમુચ્ચયની રચનાને કારણે કલિલમય વર્તણૂક દર્શાવે છે. આ રીતે રચાયેલા સમુચ્ચયિત કણોને મિસેલ કહેવામાં આવે છે. તેઓ સમુચ્ચયિત કલિલ તરીકે પણ ઓળખાય છે. મિસેલની રચના અમુક ખાસ તાપમન કરતાં ઊંચા તાપમાને જ થાય છે. જેને ક્રાફ્ટ (Kraft) તાપમાન ( $T_k$ ) કહે છે અને અમુક ખાસ સાંદ્રતાથી ઊંચી સાંદ્રતાએ જેને ક્રાંતિક મિસેલ સાંદ્રતા (CMC) કહેવામાં આવે છે. મંદન કરતાં, આ કલિલ પરત વ્યક્તિગત આયનમાં ફેરવાય છે. પૃષ્ઠસક્રિય પદાર્થો જેવા કે, સાબુ અને સાંશ્લેષિત ડિટરજન્ટનો આ વર્ગમાં સમાવેશ થાય છે. સાબુ માટે CMC  $10^{-4}$  થી  $10^{-3}$  mol L<sup>-1</sup> છે. આ કલિલ બંને દ્રવવિરાગી અને દ્રવઅનુરાગી ભાગો ધરાવે છે. મિસેલ 100 અણુ કે વધારે અણુઓ ધરાવે છે.

**મિસેલ રચનાની ક્રિયાવિધિ :**

આપણે સાબુના દ્રાવણનું ઉદાહરણ લઈએ. સાબુ ઉચ્ચ ફેટી એસિડના સોડિયમ અથવા પોટેશિયમ ક્ષારના દ્રાવણ છે અને તેને  $\text{RCOO}^- \text{Na}^+$  (જેમ કે, સોડિયમ સ્ટીઅરેટ  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}^- \text{Na}^+$  દર્શાવી શકાય. જે ઘણા લાટા (bar) સાબુના સંઘટક તરીકે હોય છે). પાણીમાં ઓગાળવામાં આવે ત્યારે તે  $\text{RCOO}^-$  અને  $\text{Na}^+$  આયનોમાં વિયોજિત થાય છે.  $\text{RCOO}^-$  આયન બે ભાગ ધરાવે છે - લાંબી હાઈડ્રોકાર્બન શૃંખલા R (જેને અધ્રુવીય 'પુચ્છ' પણ કહેવામાં આવે છે). જે જળવિરાગી (પાણી-અપાકર્ષણ) અને ધ્રુવીય સમૂહ ( $\text{COO}^-$ ) (જેને ધ્રુવીય આયનીય શીર્ષ કહેવામાં આવે છે) જે જળઅનુરાગી (પાણી આકર્ષિત) છે.



આકૃતિ 5.5 : સ્ટીઅરેટ આયનના જળવિરાગી અને જળઅનુરાગી ભાગ



- આકૃતિ 5.6 : (a) સાબુની નીચી સાંદ્રતાએ પાણીની સપાટી પર સ્ટીઅરેટ આયનની ગોઠવણી.  
 (b) સાબુની ક્રાંતિક મિસેલ સાંદ્રતાએ, સ્ટીઅરેટ આયનની પાણીની સપાટી પર (આયનીય મિસેલ) સ્ટીઅરેટ આયનની ગોઠવણી.

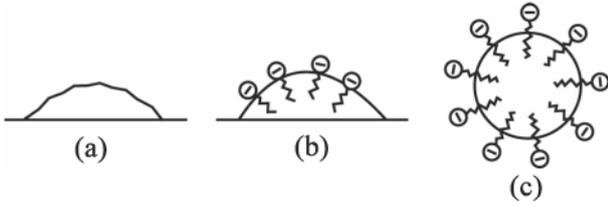
RCOO<sup>-</sup> આયન સપાટી પર તેમના COO<sup>-</sup> સમૂહ સાથે પાણીમાં હાજર હોય છે અને હાઈડ્રોકાર્બન શૃંખલા R તેનાથી દૂર રહેલ હોય છે અને સપાટી પર રહે છે. પરંતુ ક્રાંતિક મિસેલ સાંદ્રતાએ ઋણાયન દ્રાવણના જથ્થા તરફ ખેંચાયેલ રહે છે અને સમુચ્ચ થાય છે અને હાઈડ્રોકાર્બન શૃંખલા સાથે ગોળાકાર આકારના બને છે, શૃંખલા ગોળાના કેન્દ્ર તરફની દિશામાં હોય છે. જ્યારે COO<sup>-</sup> ભાગ ગોળાની બાહ્ય સપાટી પર રહેલા હોય છે. આ પ્રમાણે રચાતો સમુચ્ચય 'આયનીય મિસેલ' તરીકે ઓળખાય છે. આ મિસેલ આવા 100 જેટલા આયનો ધરાવે છે.

તે જ પ્રમાણે, પ્રકાલકોની બાબતમાં જેમ કે, સોડિયમ લોરિલ સલ્ફેટ CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>SO<sub>4</sub><sup>-</sup>Na<sup>+</sup>, ધ્રુવીય સમૂહ - SO<sub>4</sub><sup>-</sup> લાંબી હાઈડ્રોકાર્બન શૃંખલા સાથે હોય છે. આથી અહિંયા થતી મિસેલ રચના

સાબુમાં થતી રચના જેવી જ હોય છે.

સાબુની સ્વચ્છીકરણ ક્રિયા :

આગળ જણાવ્યું છે કે મિસેલ જળવિરાગી હાઈડ્રોકાર્બન - કેન્દ્રિય કોર(core)ની જેમ



- આકૃતિ 5.7 : (a) કાપડ પર ગ્રીઝ (b) ગ્રીઝના નાના બિંદુની આજુબાજુ સ્ટીઅરેટ આયનની ગોઠવણી (c) સ્ટીઅરેટ આયન વડે ઘેરાયેલા ગ્રીઝના નાના બિંદુઓ (મિસેલ રચાઈ છે.)

રહેલ છે. સાબુની સ્વચ્છીકરણ ક્રિયા હકીકતમાં એ છે કે સાબુના અણુઓ તેલના ટીપાં આસપાસ એવી મિસેલ રચના કરે છે જેથી સ્ટીઅરેટ આયનનો જળવિરાગી ભાગ તૈલીબિંદુમાં હોય છે અને જળઅનુરાગી ભાગ ગ્રીઝના બિંદુની બહાર કેશની જેમ પ્રક્ષેપિત હોય છે (આકૃતિ 5.7). ધ્રુવીય સમૂહ પાણી સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરી શકે છે તેથી સ્ટીઅરેટ આયન વડે ઘેરાયેલ તૈલીબિંદુ પાણીમાં ખેંચાઈ આવે છે અને ગંદી સપાટી પરથી દૂર થાય છે. આથી સાબુ પાયસીકરણમાં અને તેલ તથા ચરબીને ધોઈ નાંખવામાં મદદ કરે છે. ગોલિકાની આજુબાજુનું ઋણ ભારિત ઢાંકણ (sheath) તેમને એકઠા થઈને સમુચ્ચય બનાવવામાં રોકે છે.

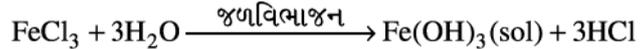
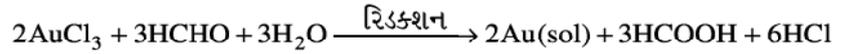
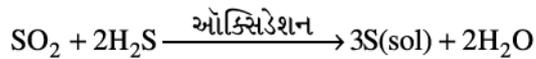
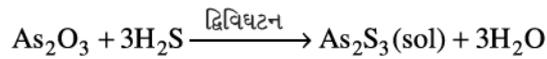
#### 5.4.4 કલિલની બનાવટ

##### (Preparation of Colloids)

કલિલ બનાવવાની કેટલીક અગત્યની પદ્ધતિઓ નીચે આપેલ છે :

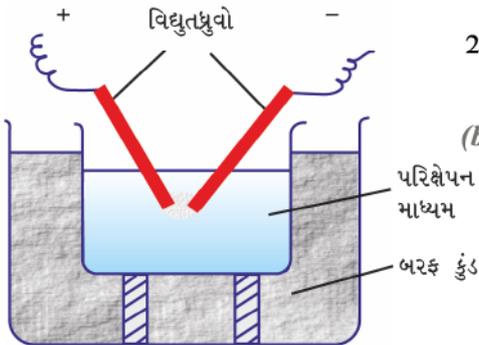
(a) રાસાયણિક પદ્ધતિઓ :

કલિલમય દ્રાવણો રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓથી બનાવી શકાય જેથી અણુઓનું નિર્માણ દ્વિવિઘટન, ઓક્સિડેશન - રિડક્શન અથવા જળવિભાજનથી મેળવી શકાય. આ કણો સમુચ્ચય પામે છે અને પરિણામે સોલનું નિર્માણ થાય છે.



(b) વિદ્યુતીય વિઘટન (disintegration) અથવા બ્રેડિગની (Bredig's) ચાપ (arc) પદ્ધતિ :

આ પદ્ધતિમાં પરિક્ષેપન અને સંઘનન સમાવિષ્ટ છે ધાતુના કલિલમય સોલ જેવાં કે ગોલ્ડ, સિલ્વર, પ્લેટિનમ વગેરે આ પદ્ધતિથી બનાવી શકાય. આ પદ્ધતિમાં પરિક્ષેપન માધ્યમમાં ડૂબાડેલા ધાતુના બે વિદ્યુતધ્રુવો વચ્ચે વિદ્યુતીય ચાપ અથડાવવામાં (struck) આવે છે (આકૃતિ 5.8). ઉત્પન્ન થયેલી સખત ગરમી ધાતુનું બાષ્પાયન કરે છે જે પછીથી કલિલ કદના કણોમાં સંઘનન થઈ કલિલની રચના કરે છે.



આકૃતિ 5.8 : બ્રેડિગની ચાપ પદ્ધતિ

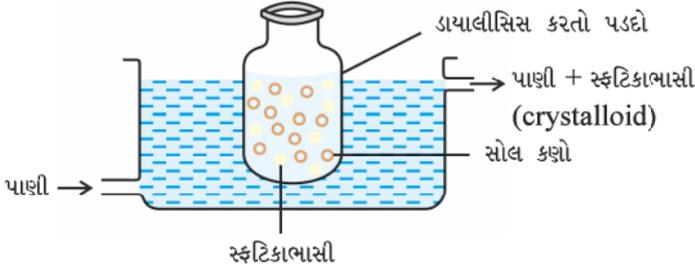
### 5.4.5 કલિલમય દ્રાવણનું શુદ્ધીકરણ (Purification of Colloidal Solution)

#### (c) પેટીકરણ :

પેટીકરણની એવી વ્યાખ્યા કરી શકાય કે અવક્ષેપને કલિલ કણોમાં રૂપાંતર કરવાનો પ્રક્રમ કે જેમાં અવક્ષેપને વિદ્યુતવિભાજનના અલ્પપ્રમાણની હાજરીમાં પરિક્ષેપન માધ્યમ સાથે હલાવવામાં આવે છે. આ હેતુ માટે વપરાતા વિદ્યુતવિભાજનને પેટીકરણકર્તા કહેવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિ સામાન્ય રીતે તાજા બનાવેલા અવક્ષેપને કલિલમય સોલમાં પરિવર્તિત કરવા માટે થાય છે.

પેટીકરણ દરમિયાન અવક્ષેપ વિદ્યુતવિભાજનના કોઈ આયનને સપાટી પર અધિશોષિત કરે છે. તેથી અવક્ષેપ પર ધન કે ઋણ ભાર વિકાસ પામે છે અને છેવટે તે તૂટીને કલિલના કદ જેટલા નાના કણોમાં ફેરવાય છે. તમે વિભાગ 5.4.6માં શીર્ષક “કલિલ કણો પર વીજભાર”માં ધન કણો પર વીજભારની પ્રાપ્તિની ઘટના અને તેના પરિક્ષેપન વિષે અભ્યાસ કરશો.

જ્યારે કલિલમય દ્રાવણ બનાવવામાં આવે છે ત્યારે સામાન્ય રીતે તે વિદ્યુતવિભાજનનું વધુ પ્રમાણ ધરાવે છે તથા કેટલીક દ્રાવ્ય અશુદ્ધિઓ પણ હોય છે. કલિલમય દ્રાવણની સ્થાયીતા માટે વિદ્યુતવિભાજનનું અલ્પપ્રમાણ જરૂરી હોય છે પરંતુ વધારે પ્રમાણ સ્કંદન કરે છે. આથી એટલા માટે જરૂરી છે કે તેમની સાંદ્રતા ઘટાડીને યોગ્ય પ્રમાણમાં કરવામાં આવે. આ પ્રક્રમ જેનાથી અશુદ્ધિઓને નિમ્નતમ જથ્થામાં ઘટાડાય છે તેને કલિલમય દ્રાવણના શુદ્ધીકરણ તરીકે ઓળખાય છે. કલિલમય દ્રાવણનું શુદ્ધીકરણ નીચેની પદ્ધતિઓથી કરી શકાય છે.

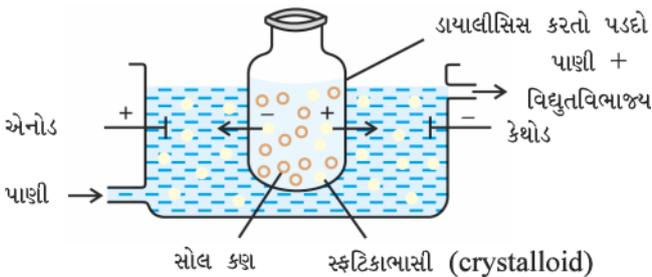


આકૃતિ 5.9 : પારશ્લેષણ અથવા ડાયાલીસિસ

(i) પારશ્લેષણ અથવા ડાયાલીસિસ : આ પદ્ધતિમાં ઓગળેલ પદાર્થનું કલિલમય દ્રાવણમાંથી દૂર કરવા માટે યોગ્ય પડદા મારફતે પ્રસરણ કરવામાં આવે છે. કણો (આયનો અથવા વધુ નાના અણુઓ) સાથા દ્રાવણમાંના આયનો, પ્રાણીજ પડદા (bladder) અથવા પાર્થમેન્ટ પત્ર અથવા સેલોફેન શીટ કોથળી-બ્લેડરમાંથી પસાર થાય છે પરંતુ કલિલમય કણો પસાર થઈ શકતાં નથી. ડાયાલીસિસ માટે આ પડદા વાપરી શકાય છે. આ હેતુ માટે વપરાયેલ સાધનને પારશ્લેષક (ડાયાલાઈઝર) કહે છે. યોગ્ય પડદાવાળી બેગ જેમાં કલિલમય દ્રાવણ ભરીને એક પાત્રમાં લટકાવવામાં આવે છે અને તેનામાંથી તાજું પાણી સતત રીતે પસાર કરવામાં આવે છે (આકૃતિ 5.9). અણુઓ અને આયનો બહારના પાણીમાં પડદા મારફતે પ્રસરણ પામે છે અને શુદ્ધ કલિલ બેગમાં રહી જાય છે.

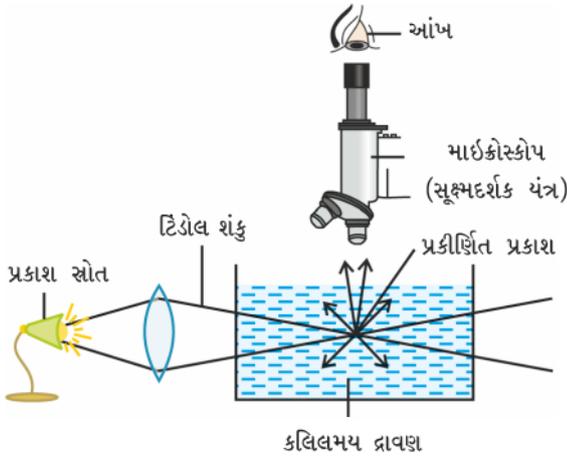
(ii) વિદ્યુતીય-ડાયાલીસિસ : સામાન્ય રીતે, ડાયાલીસિસ ઘણી ધીમી પ્રક્રિયા છે જો અશુદ્ધ કલિલમય દ્રાવણમાં માત્ર વિદ્યુતવિભાજનની અશુદ્ધિ હોય તો તેને વિદ્યુતીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડી વધુ ઝડપથી શુદ્ધ કરી શકાય છે. આથી આવી પદ્ધતિને વિદ્યુતીય ડાયાલીસિસ નામ આપવામાં આવેલ છે. કલિલમય દ્રાવણને યોગ્ય પડદાવાળી બેગમાં અંદર ભરવામાં આવે છે જ્યારે શુદ્ધ પાણી બહારની બાજુ રાખવામાં આવે છે. વિદ્યુતપ્રુવો તે પાત્રમાં ફીટ કરેલા હોય છે જે આકૃતિ 5.10માં દર્શાવેલ છે. કલિલમય દ્રાવણમાં હાજર આયનો સ્થળાંતર પામે છે અને એકબીજાથી વિરુદ્ધ વિદ્યુતપ્રુવો તરફ ખસે છે.

(iii) અલ્ટ્રાફિલ્ટ્રેશન (સૂક્ષ્મગાળણ) : અલ્ટ્રાફિલ્ટ્રેશન એવી પ્રક્રિયા છે જેમાં કલિલમય દ્રાવણના દ્રાવક અને દ્રાવ્યને અલગ કરવામાં આવે છે. આ સાધનમાં ખાસ રીતે તૈયાર કરેલા ફિલ્ટર હોય છે. જે કલિલમય દ્રાવણ સિવાય બધા જ પદાર્થો માટે પારગમ્ય હોય છે. કલિલમય કણો સામાન્ય ફિલ્ટર પેપરમાંથી પસાર થઈ જાય કારણ કે તેના છિદ્રો ઘણા મોટા હોય છે. ફિલ્ટર પેપરમાંના છિદ્રો કોલોડિયન દ્રાવણમાં સંસેચિત કરી છિદ્રો નાના બનાવી શકાય છે જેથી કલિલમય દ્રાવણના કણો પસાર થતાં નથી. સામાન્ય કોલોડિયન 4 % નાઈટ્રોસેલ્યુલોઝનું આલ્કોહોલ અને ઈથરના મિશ્રણમાં દ્રાવણ છે. અલ્ટ્રાફિલ્ટર પેપર કોલોડિયન દ્રાવણમાં



આકૃતિ 5.10 : વિદ્યુતીય ડાયાલીસિસ

### 5.4.6 કલિલમય દ્રાવણના ગુણધર્મો (Properties of Colloidal Solutions)



આકૃતિ 5.11 : ટિડોલ અસર

ડૂબાડી રાખી ફોર્માલિહાઈડથી સખત બનાવી અને છેવટે સૂકવીને બનાવી શકાય. આમ, અલ્ટ્રાફિલ્ટર પેપરનો ઉપયોગ કરીને કલિલમય કણોને અન્ય પદાર્થોથી અલગ કરી શકાય છે. અલ્ટ્રાફિલ્ટ્રેશન ધીમો પ્રક્રમ છે. પ્રક્રમને ઝડપી બનાવવા માટે, ચૂસણ (સકશન), અથવા દબાણ લાગુ પાડવામાં આવે છે. કલિલમય કણો અલ્ટ્રાફિલ્ટર પેપર પર રહી જાય છે અને તેમને તાજા પરિક્ષેપન માધ્યમ (દ્રાવક) સાથે ઘુમાવવામાં આવે છે જેથી શુદ્ધ કલિલમય દ્રાવણ મળે.

કલિલમય દ્રાવણ દ્વારા દર્શાવાતા જુદા જુદા ગુણધર્મોનું નીચે વર્ણન કરવામાં આવેલ છે.

(i) સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો : કલિલમય કણો ખૂબ મોટા સમુચ્ચય હોવાથી કલિલમય દ્રાવણમાંના કણોની સંખ્યા સાચા દ્રાવણની સરખામણીની દૃષ્ટિએ ઘણા ઓછા હોય છે. આથી, તેના સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો (અભિસરણ દબાણ, બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો, દારબિંદુમાં અવનયન અને ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન) સમાન સાંદ્રતા ધરાવતા સાચા દ્રાવણ દ્વારા દર્શાવાતા આ જ ગુણોના મૂલ્યો પ્રમાણમાં ઓછી માત્રામાં હોય છે.

(ii) ટિડોલ (Tyndall) અસર : જો સમાંગ દ્રાવણને અંધારામાં મૂકી પ્રકાશની દિશામાં અવલોકન કરવામાં આવે તો તે સ્વચ્છ દેખાય છે અને જો તેને પ્રકાશના પુંજની દિશાના કાટખૂણેથી અવલોકન કરવામાં આવે તો તે સંપૂર્ણપણે કાળી દેખાય છે. કલિલ દ્રાવણનું આ જ રીતે અવલોકન કરવામાં આવે, તો પ્રેષિત પ્રકાશ વડે પસાર થતા કિરણના કાટખૂણે જોતાં લગભગ સ્વચ્છ અથવા પારભાસક જણાય છે પરંતુ તે મંદથી તીવ્ર દુગ્ધિલ (translucent) દેખાય છે એટલે કે પુંજનો માર્ગ વાદળી પ્રકાશથી પ્રદીપ્ત થાય છે. આ અસર સૌપ્રથમ ફેરાડે અને ત્યારબાદ ટિડોલ વડે વિગતવાર અભ્યાસ કરવામાં આવેલ છે અને તેને ટિડોલ અસર નામ આપવામાં આવ્યું. પ્રકાશના તે તેજસ્વી શંકુને ટિડોલ શંકુ (આકૃતિ 5.11). ટિડોલ અસરનું કારણ એ હકીકતને લીધે છે કે કલિલમય કણો પ્રકાશનું અવકાશમાં બધી જ દિશામાં પ્રકીર્ણન (scattering) કરે છે. આ પ્રકીર્ણન કલિલમય પરિક્ષેપનમાં પુંજના માર્ગને પ્રદીપ્ત કરે છે.

ટિડોલ અસરનું અવલોકન સીનેમા હોલમાં ચલચિત્રના પ્રક્ષેપણ દરમિયાન ત્યાં હાજર ધૂળ તથા ધુમાડાને લીધે પ્રકીર્ણન પામે છે. ટિડોલ અસર જ્યારે નીચેની બે માત્ર શરતો સંતોષાય છે ત્યારે જ અવલોકિત થાય છે :

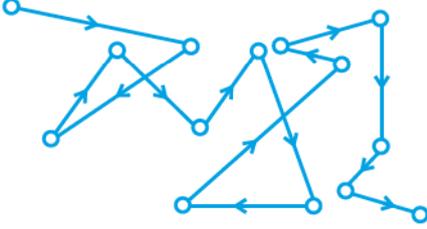
(i) ઉપયોગમાં લેવાયેલ પ્રકાશની તરંગલંબાઈ કરતાં પરિક્ષેપિત કણોના વ્યાસ વધુ નાના ન હોવા જોઈએ.

(ii) પરિક્ષેપિત કલાના અને પરિક્ષેપન માધ્યમના વક્રીભવન ઘાતાંક (indices) મોટી માત્રામાં અલગ પડતા હોવા જોઈએ.

ટિડોલ અસરનો ઉપયોગ કલિલમય અને સાચા દ્રાવણ વચ્ચે વિભેદન કરવા માટે થાય છે. ઝિગમોન્ડી (Zsigmondy) એ 1903માં ટિડોલ અસરનો ઉપયોગ એક સાધન જેને અલ્ટ્રામાઈક્રોસ્કોપ કહેવામાં આવે છે તેની રચના માટે કરેલો. પ્રકાશનું તીવ્ર પુંજ કાચના પાત્રમાં લીધેલ કલિલમય દ્રાવણ પર ફોકસ (focus) કર્યું. ત્યારબાદ પ્રકાશના ફોકસનું પુંજના માર્ગથી કાટખૂણે સૂક્ષ્મદર્શકયંત્ર (માઈક્રોસ્કોપ) વડે અવલોકન કરવામાં આવ્યું. વ્યક્તિગત કલિલમય કણ કાળી ભૂમિ (background) પર તેજસ્વી તારા જેવા દેખાયા, અલ્ટ્રામાઈક્રોસ્કોપ ખરેખર કલિલમય કણોને દૃશ્યમાન કરતાં નથી. પરંતુ તેમના વડે પ્રકીર્ણન થયેલ પ્રકાશનું અવલોકન કરીએ છીએ. આમ અલ્ટ્રામાઈક્રોસ્કોપ કલિલમય કણોના માપ (કદ) અને આકાર વિશે કોઈ માહિતી પૂરી પાડતું નથી.

(iii) રંગ : કલિલમય દ્રાવણનો રંગ પરિક્ષેપિત કણોથી પ્રકીર્ણન પામેલા પ્રકાશની તરંગલંબાઈ પર આધાર રાખે છે. પ્રકાશની તરંગલંબાઈ વળી કણોના માપ (કદ) અને સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખે છે. કલિલમય કણોના રંગ વળી

અવલોકનકાર કઈ રીતે પ્રકાશ મેળવે છે તેના પ્રમાણે બદલાય છે. ઉદાહરણ તરીકે દૂધ અને પાણીનું મિશ્રણ પરાવર્તિત પ્રકાશ દ્વારા વાદળી દેખાય છે અને પ્રેષિત (transmitted) પ્રકાશથી જોતાં લાલ રંગનું દેખાય છે. ઝીણા ગોલ સોલની રંગ લાલ હોય છે; જેમ કણોનું માપ (કદ) વધે છે તેમ તે જાંબલી પછી વાદળી અને છેવટે સોનેરી દેખાય છે.



આકૃતિ 5.12 : બ્રાઉનિયન ગતિ

(iv) **બ્રાઉનિયન (Brownian) ગતિ** : જ્યારે કલિલમય દ્રાવણને શક્તિશાળી અલ્ટ્રામાઈક્રોસ્કોપ વડે જોવામાં આવે છે ત્યારે કલિલમય કણો દૃશ્યમાન ક્ષેત્રના સમગ્ર ક્ષેત્રમાં વાંકી-ચૂકી (zig-zag) ગતિની અવસ્થામાં હોવાનું દેખાય છે. આ ગતિ સૌપ્રથમ બ્રિટિશ વનસ્પતિશાસ્ત્રી (botanist) રોબર્ટ બ્રાઉન (Robert Brown) વડે અવલોકિત કરવામાં આવેલી અને તેથી બ્રાઉનિયન ગતિ તરીકે ઓળખાય છે (આકૃતિ 5.12) આ ગતિ કલિલના સ્વભાવ(પ્રકૃતિ)થી સ્વતંત્ર છે પરંતુ કણના માપ (કદ) અને દ્રાવણની સ્નિગ્ધતા પર આધાર રાખે છે. માપ (કદ) જેટલું વધારે નાનું અને સ્નિગ્ધતા જેટલી વધારે ઓછી તેટલી વધારે ઝડપી ગતિ.

બ્રાઉનિયન ગતિની સમજણનું કારણ એમ છે કે પરિક્ષેપન માધ્યમના અણુઓ વડે કણો પરનો અસંતુલિત બોમ્બમારો (bombardment). બ્રાઉનિયન ગતિને વિલોડન (stirring) અસર હોય છે જે કણોને ઠરવા (settle) દેતા નથી અને સોલની સ્થાયીતા માટે જવાબદાર છે.

(v) **કલિલમય કણો પર વીજભાર** : કલિલમય કણો હંમેશાં વીજભાર ધરાવે છે. આપેલ કલિલમય દ્રાવણમાંના બધા જ કણો પર એકસરખો વીજભાર હોય છે અને તે ધન અથવા ઋણ હોઈ શકે છે. કેટલાક સામાન્ય સોલ તેમના કણો પરના વીજભાર સાથે નીચે દર્શાવવામાં આવ્યા છે.

ધનભારિત સોલ	ઋણભારિત સોલ
જળયુક્ત ધાત્વીય ઓક્સાઈડ, જેમ કે, $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ , $CrO_3 \cdot xH_2O$ અને $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ વગેરે બેઝિક ડાયસ્ટફ જેમ કે, મિથિલિન બ્લ્યુ સોલ હિમોગ્લોબીન (લોહી)	ધાતુઓ : જેમ કે, કોપર, સિલ્વર ગોલ્ડ સોલ ધાત્વીય સલ્ફાઈડ જેમ કે, $As_2S_3$ , $Sb_2S_3$ , $CdS$ સોલ એસિડ ડાયસ્ટફ જેમ કે, ઇથોસીન, કોંગોરેડ સોલ
ઓક્સાઈડ જેમ કે, $TiO_2$ સોલ	સ્ટાર્ચ, ગુંદર, જીલેટીન, માટી, ચારકોલ વગેરેના સોલ

કલિલકણો પર સમાન અને સરખા વીજભારની હાજરી કલિલમય દ્રાવણની સ્થાયીતા માટે મોટે ભાગે જવાબદાર હોય છે. કારણ કે વીજભારિત કણો જે સમાન ભારવાળા હોય તો તેમની વચ્ચેના અપાકર્ષણીય બળો જ્યારે તેઓ એકબીજાની નજીક આવે છે ત્યારે સંમિલિત (coalescing) અથવા સમુચ્ચિત થતાં રોકે છે.

સોલ કણો પરનો વીજભાર એક અથવા વધુ કારણોને લીધે હોય છે જેમકે, ધાતુઓના વિદ્યુતીય વિસર્જન દરમિયાન સોલ કણો વડે ઇલેક્ટ્રોન ગ્રહણ (capture), દ્રાવણમાંથી આયનોનું પસંદગીયુક્ત અધિશોષણ અને/અથવા વિદ્યુતીય દ્વિસ્તરના સૂત્રણ (formulation) છે. સોલ કણો પર ઉદ્ભવતો વીજભાર આયનોના પસંદગીયુક્ત અધિશોષણ દ્વારા નીચે મુજબ વર્ણવી શકાય છે.

સોલના કણો ધનમય અથવા ઋણમય આયનો વડે પસંદગીકાર અધિશોષણને કારણે ધનભાર અથવા ઋણભાર પ્રાપ્ત કરે છે. જો બે કે વધારે આયનો પરિક્ષેપન

માધ્યમમાં હાજર હોય તો કલિલમય કણોના સમાન આયનોનું પસંદગીયુક્ત અધિશોષણ સામાન્ય રીતે થાય છે. આને નીચેના ઉદાહરણો લઈને સમજાવી શકાય.

- (a) જ્યારે સિલ્વર નાઈટ્રેટનું અતિમંદ દ્રાવણ પોટેશિયમ આયોડાઈડના અતિમંદ દ્રાવણમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે, અવક્ષેપિત સિલ્વર આયોડાઈડ પરિક્ષેપન માધ્યમમાંથી આયોડાઈડ આયનનું અધિશોષણ કરે છે અને ઋણભારિત કલિલમય દ્રાવણ પરિણમે છે. જ્યારે KIના દ્રાવણને  $AgNO_3$ ના દ્રાવણમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે ધનભારિત સોલ પરિણમે છે કારણ કે પરિક્ષેપન માધ્યમમાંથી  $Ag^+$  આયનનું અધિશોષણ થાય છે.



- (b) જો  $FeCl_3$ ને વધુ પ્રમાણમાં ગરમ પાણીમાં ઉમેરવામાં આવે તો જળયુક્ત ફેરિક ઓક્સાઈડનો ધનભારિત સોલ મળે છે જે  $Fe^{3+}$  આયનના અધિશોષણને કારણે હોય છે. જો ફેરિક ક્લોરાઈડ  $NaOH$ માં ઉમેરવામાં આવે તો ઋણભારિત સોલ મળે છે જે  $OH^-$  આયનના અધિશોષણને કારણે હોય છે.



ઉપર દર્શાવ્યા પ્રમાણે કલિલમય કણની સપાટી પર ધન અથવા ઋણભાર પસંદગીયુક્ત અધિશોષણને કારણે મેળવે છે. આ સ્તર માધ્યમમાંથી વિરોધી આયનોને આકર્ષે છે અને બીજું સ્તર રચે છે જે નીચે દર્શાવેલ છે.

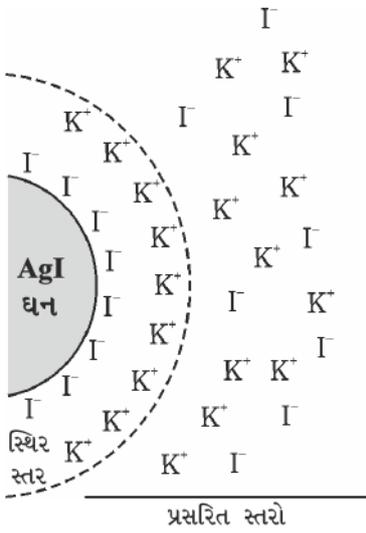


કલિલમય કણોની આસપાસ આ બંને એકબીજાથી વિરોધી સ્તરોના સંયોગીકરણને હેલ્મહોલ્ટ્ઝ (Helmholtz) વિદ્યુતીય દ્વિસ્તર કહેવાય છે. આધુનિક પ્યાલો પ્રમાણે આયોનોનું પ્રથમ સ્તર સખત રીતે ધારણ કરાયેલ છે અને તેને સ્થિર (fixed) સ્તર કહે છે. જ્યારે બીજું સ્તર છે તે ગતિશીલ (mobile) હોય છે જેને પ્રસરણ (diffusion) સ્તર કહે છે. આકૃતિ 5.13 દ્વિસ્તરરચના દર્શાવે છે. ભારનું અલગીકરણ પોટેન્શિયલની બેઠક (ચર્યા) (seat) છે, તેથી દ્વિસ્તરના સ્થિર (fixed) અને પ્રસરિત સ્તરો પરના વિરુદ્ધ વીજભારને લીધે આ સ્તરો પર પોટેન્શિયલમાં તફાવત પરિણમે છે. જે કેપેસિટર (capacitor)માં ઉદ્ભવતા પોટેન્શિયલ તફાવતની જેમ જ છે. સ્થિર (fixed) સ્તર અને વિરુદ્ધવીજભારના પ્રસરિત સ્તર વચ્ચેના પોટેન્શિયલ તફાવતને વીજગતિક (electrokinetic) પોટેન્શિયલ અથવા ઝીટા (zeta) પોટેન્શિયલ કહેવામાં આવે છે.

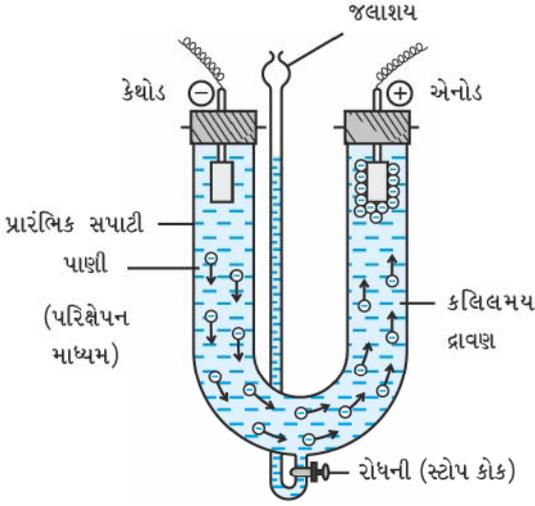
જો અદ્રાવ્ય પદાર્થો (અવક્ષેપ)ના બે કણો પાસે દ્વિસ્તર ન હોય તો તે પૂરતા નજીક આવે છે અને વાનુ ડર વાલ્સ આકર્ષણ બળો તેમને ખેંચી જકડી રાખે છે. આકૃતિ 5.13માં દર્શાવ્યા મુજબ જ્યારે કણો પાસે દ્વિસ્તર હોય તો એકદંર અસર હેઠળ કણો એકબીજાને અપાકર્ષિત કરી વધારે અંતરથી જુદા પાડે છે. આ અપાકર્ષણ તેમના નજીક આવવાના અભિગમને રોકે છે. તેઓ પરિક્ષેપિત રહે છે અને કલિલ સ્થાયી બને છે.

સોલમાં વધુ વિદ્યુતવિભાજ્ય ઉમેરતાં પ્રસરિત દ્વિસ્તરને રોકે છે અને ઝીટા પોટેન્શિયલ ઘટાડે છે. તે કણો વચ્ચેના સ્થિરવિદ્યુતીય અપાકર્ષણને વધુ પ્રમાણમાં ઘટાડે છે અને કલિલ અવક્ષેપિત થાય છે. આ કારણે કલિલ વિરુદ્ધ વીજભાર ધરાવતા આયનો પ્રત્યે વિશિષ્ટ રીતે સંવેદનશીલતા ધરાવે છે.

- (vi) વિદ્યુતકણ સંચલન (Electrophoresis) : કલિલમય કણો પર ભારનું અસ્તિત્વ વિદ્યુતકણ સંચલન પ્રયોગથી સાબિત કરી શકાય છે. કલિલમય દ્રાવણમાં ડૂબાડેલા બે પ્લેટિનમ ધ્રુવો વચ્ચે વિદ્યુત પોટેન્શિયલ પ્રયુક્ત કરવામાં આવે છે ત્યારે કલિલમય કણો એક અથવા બીજા ધ્રુવ તરફ ખસે છે. પ્રયુક્ત વિદ્યુત પોટેન્શિયલ હેઠળ કલિલમય કણોના હેરફેર(movement)ને વિદ્યુતકણ સંચલન કહે છે.



આકૃતિ 5.13 : દ્વિસ્તરનું નિર્માણ



આકૃતિ 5.14 : વિદ્યુતકણ સંચલન

ધનભારયુક્ત કણ કેથોડ તરફ જ્યારે ઋણભારયુક્ત કણ એનોડ તરફ ખસે છે. આને નીચેની પ્રાયોગિક ગોઠવણીને આધારે નિર્દેશિત કરી શકાય (આકૃતિ 5.14).

વિદ્યુત કણ સંચલન એટલે કે કણોની હેરફેરને કેટલીક યોગ્ય રીતથી (means) રોકવામાં આવે છે ત્યારે, એવું અવલોકન કરવામાં આવે છે કે પરિક્ષેપન માધ્યમ વિદ્યુતીય ક્ષેત્રમાં ખસવાનું શરૂ કરે છે. આ પરિઘટનાને વિદ્યુતપરાસરણ (વિદ્યુત અભિસરણ) (electroosmosis) કહેવામાં આવે છે.

(vii) સ્કંદન અથવા અવક્ષેપન : જળવિરાગી સોલની સ્થાયીતા કલિલ કણો પરના વીજભારની હાજરીને કારણે હોય છે. જો કોઈ કારણસર વીજભાર દૂર કરવામાં આવે તો કણો એકબીજાની નજીક આવશે અને સમુચ્ચય રચશે (અથવા સ્કંદન પામશે) અને ગુરુત્વબળ હેઠળ તે નીચે બેસી જશે (ઠરી જશે).

કલિલમય કણોનું બેસી જવાની (ઠરી જવાની) પ્રક્રિયા સોલનું સ્કંદન અથવા અવક્ષેપન કહેવાય છે.

જળવિરાગી સોલનું સ્કંદન નીચેની રીતે કરી શકાય છે :

- વિદ્યુતકણ સંચલન વડે : કલિલમય કણ વિરુદ્ધ વીજભારવાળા વિદ્યુતધ્રુવ તરફ ખસે છે અને વિભારિત થાય છે અને અવક્ષેપન પામે છે.
- બે વિરુદ્ધ વીજભારવાળા સોલને મિશ્ર કરતાં : જ્યારે બે વિરુદ્ધ વીજભારવાળા સોલને લગભગ સરખા પ્રમાણમાં મિશ્ર કરવામાં આવે છે ત્યારે તેમના વીજભારનું તટસ્થીકરણ થાય છે અને અંશતઃ અથવા સંપૂર્ણપણે અવક્ષેપન પામે છે. જળયુક્ત ફેરિક ઓક્સાઇડ સોલ (ધનભારિત સોલ) અને આર્સેનિયસ સલ્ફાઇડ (ઋણભારિત સોલ)ને મિશ્ર કરતાં તેમને અવક્ષેપ સ્વરૂપમાં લાવે છે. આ પ્રકારના સ્કંદનને પારસ્પરિક (mutual) સ્કંદન કહે છે.
- ઉકાળતાં : જ્યારે સોલને ઉકાળવામાં આવે છે ત્યારે અધિશોષિત સ્તર ખલેલ પામે છે જેને કારણે પરિક્ષેપન માધ્યમના અણુઓ સાથે અથડામણ વધી જાય છે. આ કણો પરનો વીજભાર ઘટાડે છે અને છેવટે અવક્ષેપન તરફ દોરાય છે.
- દીર્ઘસ્થાયી (persistent) પારસ્વેષણ (ડાયાલીસિસ) : લાંબા સમય સુધીનું ડાયાલીસિસ કરવાથી હાજર વિદ્યુતવિભાજ્યની અલ્પ માત્રા લગભગ દૂર થાય છે અને કલિલ અસ્થાયી બને છે અને છેવટે સ્કંદન પામે છે.
- વિદ્યુતવિભાજ્યના ઉમેરણથી : જ્યારે વિદ્યુતવિભાજ્યનું વધુ પ્રમાણ ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે કલિલમય કણો અવક્ષેપન પામે છે. આનું કારણ એ છે કે કલિલ તેના પોતાનામાં હાજર રહેલા વીજભારથી વિરુદ્ધ વીજભાર ધરાવતા કણો સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે. આને પરિણામે વીજભારનું તટસ્થીકરણ થાય છે જે તેમના સ્કંદન તરફ દોરી જાય છે. જે આયન કણો પરના વીજભારને તટસ્થ કરવા માટે જવાબદાર છે તેને સ્કંદનકર્તા આયન કહે છે. ઋણાયન ધનવીજભાર ધરાવતા સોલનું અવક્ષેપન કરે છે તેમજ ધનાયન ઋણવીજભાર ધરાવતા સોલનું અવક્ષેપન કરે છે.

સામાન્ય રીતે એવું નોંધવામાં આવ્યું છે કે ઉમેરેલા ઉર્ણીતકર્તા આયન (flocculating ion)ની સંયોજકતા જેટલી વધારે (ઊંચી) તેટલી વધારે અવક્ષેપન કરવાની શક્તિ (power). આને હાર્ડી-શુલ્ઝ (Hardy Schulze) નિયમ કહે છે. ઋણભારિત સોલના સ્કંદનમાં ઉર્ણીતકર્તાની શક્તિનો ક્રમ  $Al^{3+} > Ba^{2+} > Na^{+}$

એ જ પ્રમાણે ધનભારિત સોલના સ્કંદનમાં ઉર્ણીતકર્તાની શક્તિનો ક્રમ  $[Fe(CN)_6]^{4-} > PO_4^{3-} > SO_4^{2-} > Cl^{-}$

બે કલાકમાં સોલના અવક્ષેપન માટે જરૂરી વિદ્યુતવિભાજ્યની મિલિમોલ પ્રતિલિટર એકમમાં નિમ્ન સાંદ્રતાને સ્કંદન મૂલ્ય કહે છે. જેટલા ઓછા જથ્થાની જરૂર પડે તેટલી વધારે આયનની સ્કંદનશક્તિ.

### દ્રવઅનુરાગી સોલનું સ્કંદન :

દ્રવઅનુરાગી સોલની સ્થાયીતા માટે બે પરિબળો જવાબદાર છે. આ પરિબળો છે કલિલનો વીજભાર અને દ્રાવક-યોજન (solvation). જ્યારે આ બંને પરિબળો દૂર કરવામાં આવે છે ત્યારે દ્રવઅનુરાગી સોલનું અવક્ષેપન થઈ શકે છે. આને (i) વિદ્યુત વિભાજ્ય ઉમેરીને અને (ii) યોગ્ય દ્રાવક ઉમેરીને કરી શકાય છે. જ્યારે આલ્કોહોલ કે એસિટોન જેવા દ્રાવક જળઅનુરાગી સોલમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે પરિક્ષેપિત કલાનું નિર્જળીકરણ થાય છે આ પરિસ્થિતિમાં વિદ્યુતવિભાજ્યનું થોડુંક પ્રમાણ સ્કંદન લાવી શકે છે.

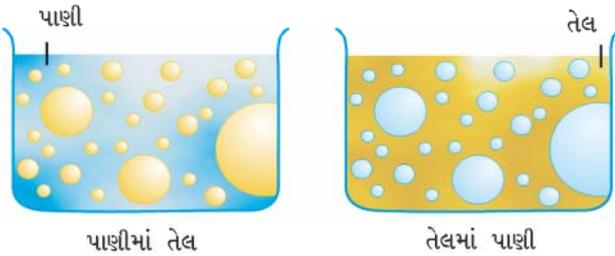
### કલિલનું સંરક્ષણ :

દ્રવઅનુરાગી સોલ દ્રવવિરાગી સોલ કરતાં વધારે સ્થાયી છે. આ હકીકતનું કારણ છે કે દ્રવઅનુરાગી કલિલ વિપુલ પ્રમાણમાં જળયોજિત હોય છે એટલે કે કલિલમય કણો જે પ્રવાહીમાં તેઓ પરિક્ષેપિત થયેલા હોય છે તે પ્રવાહીના ઢાંકણથી (sheath) ઢંકાયેલા (covered) હોય છે.

દ્રવઅનુરાગી કલિલને દ્રવવિરાગી કલિલના સંરક્ષણનો વિશિષ્ટ (unique) ગુણધર્મ હોય છે. જ્યારે દ્રવઅનુરાગી સોલને દ્રવવિરાગી સોલમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે દ્રવઅનુરાગી કણો દ્રવવિરાગી કણોની ચોપાસ એક સ્તરની રચના કરે છે અને આમ જલવિરાગી સોલનું વિદ્યુત વિભાજ્યથી સંરક્ષણ કરે છે. દ્રવઅનુરાગી કણો આ હેતુ માટેના ઉપયોગને સંરક્ષક કલિલ કહે છે.

## 5.5 પાયસ (Emulsion)

આ પ્રવાહી - પ્રવાહી કલિલમય પ્રણાલી છે એટલે કે ઝીણા ભૂકા જેવા સૂક્ષ્મબિંદુ- (droplet)નું બીજા પ્રવાહીમાં પરિક્ષેપન. બે અદ્રાવ્ય અથવા અંશતઃ દ્રાવ્ય પ્રવાહી લેવામાં આવે, તો એક પ્રવાહીનું બરછટ (coarse) પરિક્ષેપન મળે છે તેને પાયસ (ઇમલ્શન) કહે છે. સામાન્ય રીતે, બે માંથી એક પ્રવાહી પાણી હોય છે. પાયસના બે પ્રકાર છે. (i) પાણીમાં પરિક્ષેપિત તેલ (O/W પ્રકાર) અને (ii) તેલમાં પરિક્ષેપિત પાણી (W/O પ્રકાર).



આકૃતિ 5.15 : પાયસના પ્રકાર

પ્રથમ પ્રણાલીમાં પાણી પરિક્ષેપન માધ્યમ તરીકે વર્તે છે. આ પ્રકારના પાયસના ઉદાહરણોમાં દૂધ અને લોપી (વેનિશિંગ) (vanising) કીમ છે. દૂધમાં પ્રવાહી ચરબી પાણીમાં પરિક્ષેપિત હોય છે. બીજા પ્રણાલીમાં, તેલ પરિક્ષેપન માધ્યમ તરીકે વર્તે છે. આ પ્રકારમાં સામાન્ય ઉદાહરણોમાં માખણ અને કીમ છે.

પાણીમાં તેલનું પાયસ અસ્થાયી હોય છે અને કેટલીક વખત મૂકી રાખવાથી બે સ્તરમાં અલગ પડી જાય છે. પાયસના સ્થાયીકરણ માટે ત્રીજો ઘટક જેને પાયસીકારક કહેવામાં આવે છે તે સામાન્ય રીતે ઉમેરવામાં આવે છે. પાયસીકારક નિલંબિત કણો અને માધ્યમ વચ્ચે અંતરાપૃષ્ઠીય (interfacial) ફિલ્મ રચે છે. O/W પાયસ માટે મુખ્ય પાયસીકારક પ્રોટીન, ગુંદર, કુદરતી અને કૃત્રિમ સાબુ વગેરે છે. જ્યારે W/O પાયસ માટે ચરબીયુક્ત એસિડના ધાત્વીયક્ષાર, લાંબી શૃંખલાવાળા આલ્કોહોલ, દીપકાજલ (lampblack) વગેરે છે.

પાયસને પરિક્ષેપન માધ્યમના કોઈ પણ જથ્થાથી મંદ કરી શકાય છે. બીજા બાજુ પરિક્ષેપિત પ્રવાહી જ્યારે મિશ્ર કરવામાં આવે છે ત્યારે તે અલગ સ્તર રચે છે. પાયસમાંના સૂક્ષ્મબિંદુ ઘણી વાર ઋણભારિત હોય છે અને તેમને વિદ્યુતવિભાજ્ય વડે અવક્ષેપિત કરી શકાય છે. તેઓ બ્રાઉનિયન ગતિ અને ટિડોલ અસર પણ દર્શાવે છે. પાયસીકરણને તેના ઘટક પ્રવાહીમાં ગરમ કરીને, ઠંડું પાડીને અથવા સેન્ટ્રિફ્યુઝ વગેરે કરીને તોડી (breaking) શકાય છે.

## 5.6 આપણી ચોપાસ કલિલ (Colloids Around Us)

આપણા રોજિંદા જીવનમાં આપણે જેના સંપર્કમાં આવીએ છીએ તેમાંના મોટા ભાગના પદાર્થો કલિલ છે. જે ખોરાક આપણે ખાઈએ છીએ, જે વસ્ત્રો આપણે પહેરીએ છીએ, લાકડાનું ફર્નિચર જેનો આપણે ઉપયોગ કરીએ છીએ, ઘર જેમાં આપણે રહીએ છીએ, વર્તમાનપત્રો જે આપણે વાંચીએ છીએ, તે મહદંશે કલિલના બનેલા હોય છે.

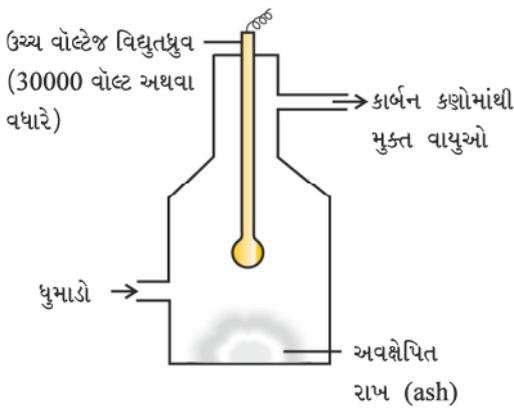
નીચે દર્શાવેલા કલિલોના ઉદાહરણ રસપ્રદ અને નોંધવા યોગ્ય છે :

- (i) આકાશનો વાદળી રંગ : પાણી સાથેના ધૂળના રજકણો જે હવામાં નિલંબિત થયેલા હોય છે તે વાદળી પ્રકાશનું પ્રકીર્ણન કરે છે જે આપણી આંખોએ પહોંચે છે અને આકાશ આપણને વાદળી દેખાય છે.
- (ii) ગાઢ ધુમ્મસ (fog), ધુમ્મસ (mist) અને વરસાદ : જ્યારે ધૂળના રજકણો ધરાવતી હવાનો વિશાળ જથ્થો તેના ઝાકળબિંદુથી નીચે ઠંડો પાડવામાં આવે છે ત્યારે હવામાંનો ભેજ આ કણોની સપાટી પર સંઘનન પામે છે અને ઝીણા સૂક્ષ્મબિંદુ રચે છે. આ સૂક્ષ્મબિંદુઓ સ્વભાવ(પ્રકૃતિ)માં કલિલમય હોવાથી તે ધુમ્મસ (mist) અથવા ગાઢ ધુમ્મસ (fog) સ્વરૂપે હવામાં તરતા રહે છે. વાદળો એરોસોલ છે જે હવામાં નિલંબિત થયેલા પાણીના સૂક્ષ્મબિંદુઓ હોય છે. ઉપરના વાતાવરણમાંના સંઘનનને કારણે પાણીના કલિલમય સૂક્ષ્મબિંદુઓ કદમાં જ્યાં સુધી વરસાદના સ્વરૂપમાં નીચે ન આવે ત્યાં સુધી મોટાને મોટાં થતા જાય છે. ઘણીવાર બે વિરોધી વીજભારવાળા વાદળ મળે છે ત્યારે વરસાદ વરસે છે. એરોપ્લેન દ્વારા વાદળ પરના વીજભારની વિરુદ્ધ વીજભારવાળા સોલને અથવા વીજભારિત રેતી છાંટવાથી કૃત્રિમ વરસાદ વરસાવવાનું શક્ય બને છે.
- (iii) ખાદ્ય પદાર્થો : દૂધ, માખણ, હલવો, આઈસક્રીમ, ફળોના રસ વગેરે બધા જ એક અથવા બીજા સ્વરૂપમાં કલિલ છે.
- (iv) લોહી : લોહી આલ્બ્યુમિનોઈડ પદાર્થનું કલિલમય દ્રાવણ છે. ફટકડી અને ફેરિક ક્લોરાઈડનો લોહીના સ્ત્રાવને રોકવાની ક્રિયા લાહીના સ્કંદનને કારણે છે જેથી લોહીનો ગઢો રચાય છે અને તે લોહીને વધુ વહેતું રોકે છે.
- (v) જમીન : ફળદ્રુપ જમીન સ્વભાવે કલિલમય હોય છે. જેમાં મૃદુવેરક (humus) સંરક્ષક કલિલ તરીકે વર્તે છે. કલિલમય સ્વભાવના કારણે, જમીન ભેજ અને પોષક તત્ત્વોનું અધિશોષણ કરે છે.
- (vi) મુખત્રિકોણ(delta)ની રચના : નદીનું પાણી માટીનું કલિલમય દ્રાવણ છે. દરિયાનું પાણી સંખ્યાબંધ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવે છે. જ્યારે નદીનું પાણી, દરિયાના પાણીને મળે છે ત્યારે, દરિયાના પાણીમાં રહેલા વિદ્યુતવિભાજ્યો માટીના કલિલમય દ્રાવણનું સ્કંદન કરે છે જેના પરિણામે તે મુખત્રિકોણ સ્વરૂપે જમા થાય છે.

#### કલિલના અનુપ્રયોગો :

કલિલોનો વિશાળ ઉપયોગ ઉદ્યોગોમાં થાય છે. નીચેના કેટલાક ઉદાહરણો છે.

- (i) ધુમાડાનું વિદ્યુતીય અવક્ષેપન : ધુમાડો હવામાં કાર્બન, આર્સેનિક સંયોજનો, ધૂળ વગેરે ધરાવતું કલિલમય દ્રાવણ છે. ધુમાડો ચીમનીમાંથી બહાર આવે તે પહેલાં તેને એક ચેમ્બર જેમાં ધુમાડા વડે વહન કરતાં વીજભારની વિરુદ્ધભાર ધરાવતી પ્લેટો હોય છે. કણો જ્યારે આ પ્લેટોના સંપર્કમાં આવે છે ત્યારે તેમનો વીજભાર ગુમાવે છે અને અવક્ષેપિત થાય છે. આમ કણો ચેમ્બરની તળિયા પર ઠરી (ગોઠવાઈ) જાય છે (settle down) આ અવક્ષેપકને કોટ્રેલ (Cottrell) અવક્ષેપક કહે છે (આકૃતિ 5.16).
- (ii) પીવાના પાણીનું શુદ્ધીકરણ : કુદરતી સ્ત્રોતમાંથી મેળવવામાં આવતું પાણી ઘણી વાર નિલંબિત અશુદ્ધિઓ ધરાવતું હોય છે. આવા પાણીમાં ફટકડી ઉમેરવામાં આવે છે જે નિલંબિત અશુદ્ધિઓને અવક્ષેપિત કરે છે અને પાણીને પીવાલાયક બનાવે છે.
- (iii) ઔષધિઓ : મોટા ભાગની ઔષધિઓ સ્વભાવે કલિલમય હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, આર્ગીરોલ (argyrol) જે સિલ્વર સોલ છે તેનો ઉપયોગ આંખના મલમ(લોશન)માં થાય છે. કલિલમય એન્ટીમની કાલાઝરની સારવારમાં વપરાય છે. કલિલમય ગોલ્ડ અંતઃસ્નાયુવી (intramuscular) ઈંજેક્શનમાં વપરાય છે. મિલ્ક ઓફ મેગ્નેશિયમ જે પાયસ છે. તે હોજરીની ગરબડ (disorder) માટે વપરાય છે. કલિલમય ઔષધિઓ વધુ અસરકારક હોય છે કારણ કે તેમને વિશાળ સપાટી ક્ષેત્ર હોય છે અને તેથી તેઓ સહેલાઈથી પરિપાચન (assimilated) પામે છે.



આકૃતિ 5.16 : કોટ્રેલ ધુમાડો અવક્ષેપક

- (iv) ચર્મશોધન (Tanning) : પ્રાણીઓનાં ચર્મ સ્વભાવે કલિલમય છે. જ્યારે ચર્મ, જેમાં ઘનભારિત કલિલમય કણો હોય છે તેને ટેનિનમાં ડૂબાડવામાં આવે છે ત્યારે પારસ્પરિક (mutual) સ્કંદન થાય છે. આને પરિણામે ચામડું કઠણ બને છે. આ પ્રક્રમને (પદ્ધતિ) ચર્મશોધન કહે છે. ટેનિનના બદલે કોમિયમ ક્ષાર પણ વપરાય છે.
- (v) સાબુ અને પ્રક્ષાલકોની સ્વચ્છીકરણ ક્રિયા : આનું વિભાગ 5.4.3માં વર્ણન કરવામાં આવેલ છે.
- (vi) ફોટોગ્રાફિક પ્લેટ અને ફિલ્મ : ફોટોગ્રાફિક પ્લેટ અથવા ફિલ્મો ગ્લાસ પ્લેટ પર અથવા સેલ્યુલોઈડ (સેલ્યુલોઝયુક્ત) પ્લેટ પર જીલેટીનમાં પ્રકાશ સંવેદનશીલ સિલ્વર બ્રોમોઈડના પાયસનું આવરણ તૈયાર કરેલું હોય છે.
- (vii) રબર ઉદ્યોગ : ક્ષીર (Latex) રબર કણોનું કલિલમય દ્રાવણ છે જે ઋણભારિત હોય છે. રબરને ક્ષીરના સ્કંદનથી મેળવવામાં આવે છે.
- (viii) ઔદ્યોગિક નીપજો : રંગ, શાહી, સાંપ્લેષિત પ્લાસ્ટિક, રબર, ગ્રેફાઈટ ઊંજણ, સિમેન્ટ વગેરે કલિલમય દ્રાવણ છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

5.7 હાર્ડ-શુલ્ક નિયમમાં તમે શું સુધારો સૂચવી શકો છો ?

5.8 અવક્ષેપનું માત્રાત્મક રીતે પરિમાપન કરતાં પહેલાં અવક્ષેપને ધોવા શા માટે જરૂરી છે ?

### સારાંશ

અધિશોષણ એવી પરિઘટના છે જેમાં પદાર્થના અણુઓને આકર્ષવા અને ઘન પદાર્થની સપાટી પર જાળવી રાખવા જેથી સપાટી પરની સાંદ્રતા જથ્થામાંની સાંદ્રતા કરતાં વધારે હોય. જે પદાર્થ અધિશોષાય છે તેને અધિશોષિત અને જે પદાર્થ પર અધિશોષિત થાય છે તેને અધિશોષક કહેવામાં આવે છે. ભૌતિક અધિશોષણમાં અધિશોષક અધિશોષિત સપાટી પર નિર્બળ વાનુ ડર વાલ્સ બળો દ્વારા જાળવી રાખે છે અને રાસાયણિક અધિશોષણમાં અધિશોષક અધિશોષિત પર પ્રબળ રાસાયણિક બંધથી જાળવી રખાયા હોય છે. લગભગ બધા જ ઘન પદાર્થો વાયુઓનું અધિશોષણ કરી શકે છે. ઘન પદાર્થ પર વાયુના અધિશોષણની માત્રા વાયુના સ્વભાવ, ઘન પદાર્થનો સ્વભાવ, ઘનની સપાટીનું ક્ષેત્રફળ, વાયુનું દબાણ અને વાયુના તાપમાન પર આધાર રાખે છે. અધિશોષણ માત્રા ( $x/m$ ) અને વાયુના દબાણ ( $p$ ) વચ્ચેનો સંબંધ અચળ તાપમાને અધિશોષણ સમતાપ વક્ર તરીકે ઓળખાય છે.

ઉદ્દીપક એવો પદાર્થ છે જે રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયામાં પોતાના વપરાઈ જવા સિવાય વધારે છે. ઉદ્દીપકનો ઉપયોગ કરાતી પરિઘટનાને ઉદ્દીપન કહે છે. સમાંગ ઉદ્દીપનમાં ઉદ્દીપક અને પ્રક્રિયકો એક જ કલામાં હોય છે અને વિષમાંગ ઉદ્દીપનમાં ઉદ્દીપક પ્રક્રિયકોની કલા કરતાં જુદી કલામાં હોય છે.

કલિલમય દ્રાવણો સાચાં દ્રાવણો અને નિલંબિત પ્રણાલીની વચ્ચે (મધ્યમાં) હોય છે. કલિલમય કણોના માપ (કદ) 1 થી 1000 nmના ગાળામાં હોય છે. કલિલમય પ્રણાલી બે કલા ધરાવે છે - પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ. કલિલમય પ્રાણીઓ પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયાઓના આધારે ત્રણ પ્રકારમાં વર્ગીકૃત કરવામાં આવેલ છે. (i) પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમની ભૌતિક અવસ્થા (ii) પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયાના સ્વભાવ પ્રમાણે અને (iii) પરિક્ષેપિત કલાના કણોનો સ્વભાવ. કલિલમય પ્રણાલી રસપદ પ્રકાશીય, યાંત્રિક અને વિદ્યુતીય ગુણધર્મો દર્શાવે છે. સોલમાંના કલિલમય કણોને કેટલાક યોગ્ય વિદ્યુતવિભાજ્યો ઉમેરીને અદ્રાવ્ય અવક્ષેપમાં ફેરવાની પ્રક્રિયાને સ્કંદન કહે છે. પાયસ કલિલમય પ્રણાલી છે. જેમાં પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ બંને પ્રવાહી અવસ્થામાં હોય છે. તેઓ (i) પાણીમાં તેલ પ્રકાર અને (ii) તેલમાં પાણી પ્રકારના હોય છે. પાયસને બનાવવાની ક્રિયાને પાયસીકરણ કહે છે. પાયસને સ્થાયી બનાવવા માટે પાયસીકારક પ્રક્રિયક અથવા પાયસીકારક ઉમેરવામાં આવે છે. સાબુ અને પ્રક્ષાલકો વારંવાર પાયસીકારક તરીકે ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. કલિલનો ઉદ્યોગ તેમજ રોજિંદા જીવનમાં ઘણા બધા અનુપ્રયોગો છે.

- 5.1 અધિશોષણ અને અવશોષણ પર્યાયોના અર્થને વિભેદિત કરો. દરેકનું એક ઉદાહરણ આપો.
- 5.2 ભૌતિક અધિશોષણ અને રાસાયણિક અધિશોષણ વચ્ચે શું તફાવતો છે ?
- 5.3 ઝીણો ભૂકા રૂપ પદાર્થ અધિશોષક તરીકે વધારે અસરકારક શા માટે હોય છે ? તેનું કારણ આપો.
- 5.4 ઘન ઉપર વાયુના અધિશોષણને અસર કરતાં પરિબળો કયાં છે ?
- 5.5 અધિશોષણ સમતાપ વક્ર શું છે ? ક્રુન્ડલીય અધિશોષણ સમતાપ વક્ર વર્ણવો.
- 5.6 અધિશોષકના સક્રિયકરણથી તમે શું સમજો છો ? તે કેવી રીતે મેળવી શકાય છે ?
- 5.7 વિષમાંગ ઉદ્દીપનમાં અધિશોષણ શું ભાગ ભજવે છે ?
- 5.8 અધિશોષણ શા માટે હંમેશાં ઉષ્માક્ષેપક હોય છે ?
- 5.9 પરિક્ષેપન માધ્યમ અને પરિક્ષેપિત કલાની ભૌતિક અવસ્થાના આધારે કલિલમય દ્રાવણોનું વર્ગીકરણ કેવી રીતે કરવામાં આવે છે ?
- 5.10 ઘન ઉપર વાયુના અધિશોષણમાં દબાણ અને તાપમાનની અસરની ચર્ચા કરો.
- 5.11 દ્રવઅનુરાગી (લાયોફિલિક) અને દ્રવવિરાગી (લાયોફોબિક) સોલ શું છે ? દરેક પ્રકારનું એક ઉદાહરણ આપો. જલવિરાગી સોલ શા માટે સહેલાઈથી સ્કંદન પામે છે ?
- 5.12 બહુઆણ્વીય અને વિરાટ આણ્વીય કલિલ વચ્ચે શું તફાવત છે ? દરેક પ્રકારનું એક ઉદાહરણ આપો. સમુચ્ચયિત કલિલ આ બંને પ્રકારના કલિલથી કઈ રીતે અલગ પડે છે ?
- 5.13 ઉત્સેચકો શું છે ? ઉત્સેચક ઉદ્દીપનની ક્રિયાવિધિ ટૂંકમાં લખો.
- 5.14 નીચેનાના આધારે કલિલનું વર્ગીકરણ કેવી રીતે કરવામાં આવે છે ?  
(i) ઘટકોની ભૌતિક અવસ્થા (ii) પરિક્ષેપિત કલાનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) (iii) પરિક્ષેપિત કલા અને પરિક્ષેપન માધ્યમ વચ્ચે પારસ્પરિક ક્રિયા.
- 5.15 શું અવલોકિત થાય છે તે સમજાવો :  
(i) કલિલ સોલમાંથી પ્રકાશનું પુંજ (બીમ) (beam) પસાર કરવામાં આવે ત્યારે  
(ii) જળયુક્ત ફેરિક ઓક્સાઈડ સોલમાં વિદ્યુતવિભાજ્ય NaCl ઉમેરવામાં આવે ત્યારે  
(iii) કલિલમય સોલમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે ત્યારે
- 5.16 પાયસ શું છે ? તેમના જુદા જુદા પ્રકારો કયા છે ? દરેક પ્રકારનું ઉદાહરણ આપો.
- 5.17 પાયસીકારક (ઈમલ્શીફાયર) પાયસને કેવી રીતે સ્થાયી બનાવે છે ? બે ઈમલ્શીફાયરના નામ આપો.
- 5.18 સાબુની ક્રિયા પાયસીકરણ અને મિસેલ રચનાને કારણે છે, આલોચના કરો.
- 5.19 વિષમાંગ ઉદ્દીપનના ચાર ઉદાહરણ આપો.
- 5.20 ઉદ્દીપનની સક્રિયતા અને વરણાત્મકતાથી તમે શું સમજો છો ?
- 5.21 ઝીયોલાઈટ વડે ઉદ્દીપનની કેટલીક ખાસિયતો વર્ણવો.
- 5.22 આકારવરણાત્મક ઉદ્દીપન શું છે ?
- 5.23 નીચેના પર્યાયો સમજાવો :  
(i) વિદ્યુતકણ સંચલન (ઈલેક્ટ્રોફોરેસીસ) (ii) સ્કંદન (iii) પારશ્લેષણ (ડાયલીસીસ) (iv) ટિંગોલ અસર
- 5.24 પાયસના ચાર ઉપયોગ જણાવો.
- 5.25 મિસેલ શું છે ? મિસેલ પ્રણાલીનું ઉદાહરણ આપો.
- 5.26 યોગ્ય ઉદાહરણ વડે નીચેના પર્યાયો સમજાવો :  
(i) આલ્કોસોલ (ii) એરોસોલ (iii) હાઈડ્રોસોલ
- 5.27 “કલિલ પદાર્થ નથી પણ પદાર્થની અવસ્થા છે” આ નિવેદન પર આલોચના કરો.

## તત્વોના અલગન(અલગીકરણ)ના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પ્રક્રમો (General Principles and Processes of Isolation of Elements)

### હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- ધાતુકર્મવિધિઓમાં ભારતીય પરંપરાઓના યોગદાનની કદર કરશો.
- ખનીજ, અયસ્ક (કાચીધાતુ), સંકેન્દ્રણ, સમરિષ્કરણ (Benefaction), નિસ્તાપન, ભૂંજન, શુદ્ધીકરણ વગેરે પર્યાયો સમજાવી શકશો.
- નિષ્કર્ષણ પદ્ધતિઓને લાગુ પાડવામાં આવતા ઓક્સિડેશન અને રિડક્શન સિદ્ધાંતો સમજી શકશો.
- Al, Cu, Zn અને Feના નિષ્કર્ષણના સિદ્ધાંતોને ઉષ્માગતિકીય ખ્યાલો જેવા કે ગિબ્સ-ઊર્જા, એન્દ્રોપી પ્રયુક્ત કરી શકશો.
- શા માટે કેટલાક ઓક્સાઇડ જેવા કે  $Cu_2O$ નું રિડક્શન  $Fe_2O_3$  કરતાં વધારે સરળ છે તે સમજાવી શકશો.
- શા માટે CO અમુક તાપમાને અનુકૂળ રિડક્શનકર્તા છે. જ્યારે કોક બીજી કેટલાક અન્ય કિસ્સાઓમાં વધારે સારો રિડક્શનકર્તા છે તે સમજાવી શકશો.
- શા માટે રિડક્શન હેતુ માટે વિશિષ્ટ રિડક્શનકર્તા વપરાય છે તે સમજાવી શકશો.

**ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર શા માટે નિષ્કર્ષણમાં ધાતુ ઓક્સાઇડના રિડક્શન માટે માત્ર રિડક્શનકર્તા તત્વ અને નિમ્નતમ અમુક વિશિષ્ટ તાપમાન યોગ્ય છે તેમ દર્શાવે છે ?**

સંસ્કૃતિનો ઇતિહાસ પ્રાચીન નમૂનાઓમાં ઉપયોગ થયેલી ધાતુઓ સાથે ઘણી રીતે સંકળાયેલ છે. માનવ સંસ્કૃતિના જુદા-જુદા સમયગાળાને જુદી-જુદી ધાતુઓના નામ આપવામાં આવ્યા છે. ધાતુઓના નિષ્કર્ષણના કૌશલ્યે ઘણી ધાતુઓ આપી છે અને માનવ સમાજમાં ઘણા ફેરફારો લાવી છે. તેણે શસ્ત્રો, સાધનો, આભૂષણો, વાસણો વગેરે આપ્યા છે અને સાંસ્કૃતિક જીવનને સમૃદ્ધ કર્યું છે. ધાતુઓ જેને કેટલીક વખતે ‘પ્રાચીન નમૂનાની સાત ધાતુઓ’ કહેવામાં આવે છે સોનું, તાંબું, ચાંદી, સીસું, કલાઈ, લોખંડ અને પારો છે. વળી, ઔદ્યોગિક ક્રાંતિ પછી આધુનિક ધાતુકર્મવિધિનો વિકાસ ધાતાંકીય રીતે થયો છે. અહીં તે નોંધવું રસપ્રદ છે કે ધાતુકર્મવિધિમાંની ઘણી સંકલ્પનાઓના મૂળ ઔદ્યોગિક ક્રાંતિ પહેલાની પ્રાચીન પદ્ધતિઓમાં રહેલા છે. ભારત 7000 વર્ષો અગાઉથી ધાતુકર્મવિધિના કૌશલ્યોની પ્રણાલીમાં સમૃદ્ધ હતું.

ભારતીય ધાતુકર્મવિધિના ઇતિહાસ માટે બે અગત્યના સ્ત્રોતો- પુરાતત્ત્વીય ઉત્ખનન (ખોદકામ) અને સાહિત્યિક પુરાવાઓ છે. ધાતુનો પ્રથમ પુરાવો ભારતીય ઉપખંડમાંના બલુચિસ્તાનમાં મેહગઢમાંથી આશરે 6000 BCE સમયનો મળી આવેલો તાંબાનો મણકો છે. તેના વિશે એમ વિચારવામાં આવ્યું છે કે તે મૂળ કોપર ધાતુનો છે નહીં કે તેની કાચી ધાતુમાંથી નિષ્કર્ષિત થયેલ છે. રાજસ્થાનના ખેતરીની પૌરાણિક ખાણોમાંથી અને હરિયાણાના મીટાથાળમાંથી મળેલા હડપ્પા સંસ્કૃતિના કલાનમૂનાઓ અને રાજસ્થાન, ગુજરાત, મધ્યપ્રદેશ અને મહારાષ્ટ્રમાં પથરાયેલા આઠ સ્થાનોમાંથી મળેલા કોપરના નમૂનાના વર્ણપટમિતિય અભ્યાસ ભારતમાં કોપર ધાતુકર્મવિધિ ઉપખંડમાંના ચાલ્કોલિથિક સંસ્કૃતિનો સમય સાબિત કરે છે. ભારતીય ચાલ્કોલિથિક તાંબાની વસ્તુઓ મહદઅંશે

ભારતીય રીતે બનાવેલી હોય તેવી સંભાવના જણાય છે. વસ્તુઓ બનાવવા માટેની ધાતુના નિષ્કર્ષણ માટેની કાર્યધાતુ અરવલ્લી પર્વતમાળામાં નિક્ષેપિત કાર્યધાતુ ચાલ્કોપાઈરાઈટમાંથી મેળવવામાં આવી હતી. તામ્રપત્રો અને શિલાલેખોમાંથી લખાણના એકત્રીકરણ કરીને આર્કાયોલોજીકલ સર્વે ઓફ ઇન્ડિયા દ્વારા પૂર્વ શતક દરમ્યાન સંકલન અને પ્રકાશન કરવામાં આવ્યું છે. રાજવી (royal) દસ્તાવેજોને તાંબાના પતરામાં કોતરવામાં આવતા હતા (તામ્રપત્ર). સૌપ્રથમ જાણીતું તામ્રપત્ર મૌર્ય સમયનો દસ્તાવેજ છે જે દુષ્કાળ રાહત પ્રયાસો દર્શાવે છે. તે ભારતમાં પૂર્વકાલીન અશોક બ્રાહ્મી શિલાલેખો પૈકીનો એક છે.

હડપ્પાના લોકોએ ગોલ્ડ અને સિલ્વર ઉપરાંત તેમની મિશ્રધાતુ ઇલેક્ટ્રમ (electrom)નો પણ ઉપયોગ કરતા હતા. અનેક પ્રકારના ઘરેણાં (આભૂષણો) જેવાં કે હાર (pendant), બંગડીઓ, કીડીયું (beads) અને વીંટીઓ સીરેમીક અથવા કાંસાના પાત્રો (pots)માં જોવા મળેલા છે. અગાઉ ગોલ્ડ અને સિલ્વરના ઘરેણાં સિંધુ ખીણના સ્થળો જેવાં કે મોહેંજોદડો (3000 BCE)માં પણ મળેલાં છે. આ બધા નેશનલ મ્યુઝિયમમાં નવી દિલ્હીમાં મૂકવામાં આવ્યાં છે. ભારતની એક વિશિષ્ટતા (distinction) એ છે કે તેમાં કર્ણાટકની માસ્કી (Maski) વિસ્તારમાં આવેલી દુનિયાની સૌથી ઊંડી પ્રાચીન સોનાની ખાણ છે, જે કાર્બન ડેટિંગનાં અભ્યાસ અનુસાર પ્રથમ સહસ્ત્રાબ્દિ અવધિ (millenium) BCEની મધ્યમાં સમય દર્શાવે છે.

ઋગ્વેદના સ્તોત્રો ભારતમાં કાંપવાળી (alluvial) ગોલ્ડ નિક્ષેપની જગ્યાઓ દર્શાવે છે. પ્રાચીન સમયમાં સિંધુ નદી ગોલ્ડનો એક અગત્યનો સ્ત્રોત હતો. એ રસપ્રદ છે કે કાંપવાળું ગોલ્ડ આધુનિક સમયમાં પણ નોંધવામાં આવેલ છે. એવું હાલમાં નોંધવામાં આવ્યું છે કે માનસરોવરના વિસ્તારમાં અને થોકયાલુંગ (Thokayug)માં ગોલ્ડની મોટી ખાણો છે. પાલી લખાણ અંગુતારા નિકાયમાં કાંપવાળી સુવર્ણ (ગોલ્ડ) રજ (dust)માંથી અથવા કણમાંથી ગોલ્ડની પુનઃપ્રાપ્તિ (recovery)નો ઉલ્લેખ કરે છે. વેદિક લખાણોમાં પણ ગોલ્ડના શુદ્ધીકરણના પુરાવા પ્રાપ્ય છે. ત્રીજી અથવા ચોથી સદી BCEમાં મૌર્યયુગમાં લખાયેલ કૌટિલ્યના અર્થશાસ્ત્રમાં પણ ખાણો અને ખનીજો અંગેના લાંબા વિભાગમાં રાસાયણિક પદ્ધતિઓ વિશેની માહિતી દર્શાવે છે જેમાં ગોલ્ડ, સિલ્વર, કોપર, લેડ, ટિન અને આયર્નની કાર્યધાતુઓનો સમાવેશ કરવામાં આવેલ છે. કૌટિલ્ય અનેક પ્રકારના ગોલ્ડનું વર્ણન કરે છે, જેને રસવિદ્યા કહે છે, જે કુદરતી રીતે મળતું ગોલ્ડ દ્રાવણ છે. કાલિદાસે પણ આવા દ્રાવણો વિશે જણાવેલ છે. એ નવાઈની વાત છે કે લોકોએ આવા દ્રાવણોને કેવી રીતે ઓળખી કાઢ્યા.

પ્રાકૃતિક સોનું તેમાં રહેલી અશુદ્ધિઓના પ્રમાણ અને પ્રકૃતિ (સ્વભાવ) પ્રમાણે જુદા જુદા રંગ ધરાવે છે. એ સ્વભાવિક છે કે પ્રાકૃતિક સોનાના રંગ ગોલ્ડના શુદ્ધીકરણના વિકાસ માટેનું મુખ્ય (major) ચાલક બળ (driving force) હોઈ શકે.

ગંગાની ખીણ અને વિદર્ભની ટેકરીઓમાંના મધ્ય ભાગમાં તાજેતરના ખોદકામ પરથી એમ દર્શાવવામાં આવે છે કે 1800 BCE જેટલા અગાઉના સમયમાં ત્યાં લોખંડ નીપજ્યું હશે. ઉત્તરપ્રદેશ પુરાતત્ત્વ વિભાગ દ્વારા કરવામાં આવેલા તાજેતરના ખોદકામમાં લોખંડની ભટ્ટીઓ, કલાકૃતિઓ, ટૂવીયર (tuyers) અને સ્લેગના સ્તર મળી આવ્યા છે. રેડિયોકાર્બન ડેટિંગ તે વસ્તુઓનો સમયગાળો 1800 અને 1000 BCE વચ્ચેનો છે, તેવો નિર્દેશ કરે છે. ખોદકામના પરિણામો સૂચવે છે કે લોખંડ પ્રગલન (smelting) અને લોખંડની કલાકૃતિઓના ઉત્પાદન વિશે પૂર્વીય વિંધ્યમાં સારી એવી જાણકારી હશે અને તે અગાઉના દ્વિતીય સહસ્ત્રાબ્દીમાં પણ મધ્ય ગંગાના મેદાનોમાં ઉપયોગમાં હશે. લોખંડની કલાકૃતિઓના જથ્થા (પ્રમાણ) અને

તેમના પ્રકાર તથા ટેકનિકલ પ્રગતિ (advancement) સૂચવે છે કે લોખંડનું કાર્ય અગાઉના સમયથી દાખલ થયેલ હોવું જોઈએ. પૂરાવા છે કે દેશના અન્ય ભાગોમાં અગાઉથી લોખંડના કાર્યના વિકાસ માટે એક સ્વતંત્ર કેન્દ્ર હતું.

લોખંડનું પ્રગલન અને લોખંડનો ઉપયોગ દક્ષિણભારતના મહાપાષાણી (megalithic) સંસ્કૃતિમાં પણ વિશેષ કરીને પ્રસ્થાપિત થયેલ છે. ઘડતર લોખંડના ઘડતર (forging)માં ભારત પ્રથમ સહજાબ્દિ CEમાં ટોચ ઉપર હોવું જોઈએ. ગ્રીક અહેવાલ ભારતમાં કુસિબલ પદ્ધતિથી સ્ટીલનું ઉત્પાદન દર્શાવે છે. આ પદ્ધતિમાં લોખંડ, ચારકોલ અને કાયને એકસાથે કુસિબલમાં મિશ્ર કરવામાં આવતાં અને લોખંડ પીગળે અને કાર્બનને અવશોષિત કરી લે ત્યાં સુધી ગરમ કરવામાં આવતા હતા. આધુનિક ગુણવત્તાવાળા સ્ટીલના ઉત્પાદન માટે ભારત એક મુખ્ય (major) નાવિન્ય લાવનાર તરીકે હતું. ભારતીય સ્ટીલને ‘wonder material of the orient’ કહેવામાં આવતું. રોમન ઇતિહાસકાર ક્યુન્ટસ કાર્ટિયસે (quintus Cartius) નોંધ્યું છે કે તક્ષશિલા (326BC)ના પોરસે મહાન સિકંદરને આપેલી ભેટોમાંની એક અઢી ટન વુટ્ઝ (wootz) સ્ટીલ હતી. વુટ્ઝ સ્ટીલ પ્રાથમિક રીતે વધુ પ્રમાણમાં કાર્બન (1.0 - 1.9%) ધરાવતું સ્ટીલ છે. વુટ્ઝ ‘ઉકકૂ (ukku)’ શબ્દનો અંગ્રેજી અનુવાદ છે. જે કણાટક અને આંધ્રપ્રદેશમાં સ્ટીલ માટે વપરાય છે. સાહિત્યિક અહેવાલો સૂચવે છે કે ભારતીય લોખંડના દક્ષિણ ભાગમાંથી ભારતીય વુટ્ઝ સ્ટીલની યુરોપ અને આરબ પ્રદેશોમાં નિકાસ કરવામાં આવતી હતી. તે મધ્યપૂર્વમાં અગ્રેસર (prominent) બન્યું તેને દમાસશ સ્ટીલ નામ આપવામાં આવ્યું હતું. માઈકલ ફેરાડેએ લોખંડને અનેક પ્રકારની ધાતુઓ જેમાં ઉમદા ધાતુઓનો પણ સમાવેશ કરાયેલ છે સાથે મિશ્ર કરી તેના જેવી જ (duplicate) મિશ્રધાતુઓ બનાવવા પ્રયત્ન કરેલા પરંતુ નિષ્ફળ રહ્યા હતા.

જ્યારે લોખંડની અચસ્કને ઘન સ્વરૂપમાં ચારકોલનો ઉપયોગ કરી રિડક્શન કરવામાં આવે છે ત્યારે છિદ્રાળુ લોખંડનાં ચોસલા (બ્લોક) બને છે આથી રિડક્શન પામેલા લોખંડના ચોસલાંને છિદ્રાળુ લોખંડના ચોસલા કહેવામાં આવે છે. આ પદાર્થમાંથી ગરમ ઘડતર દ્વારા છિદ્રાળુતા દૂર કરીને કોઈપણ ઉપયોગી વસ્તુ મેળવી શકાય છે. આ રીતે મેળવેલ લોખંડને ઘડતર લોખંડ કહે છે. ઘડતર લોખંડનું આશ્ચર્યજનક ઉદાહરણ પ્રાચીન ભારતમાં બનાવેલ જાણીતો લોહસ્તંભ છે તેને દિલ્હીમાં હાલની સ્થિતિમાં છે તેવો 5મી સદી CEમાં સ્થાપિત કરવામાં આવેલો. તેના પર કોતરેલું સંસ્કૃતભાષામાંનું લખાણ સૂચવે છે કે ગુપ્તયુગ દરમ્યાન તેને અન્ય કોઈ જગ્યાએથી અહિંયા લાવવામાં આવ્યો હતો. તેનું સરેરાશ સંઘટન (વજન %માં) દર્શાવે છે કે સ્તંભના ઘડતર લોખંડમાં લોખંડ ઉપરાંત 0.15% C, 0.05% Si, 0.05% Mn, 0.25 % P, 0.005% Ni, 0.03% Cu અને 0.02% N હાજર છે. આ સ્તંભની સૌથી અગત્યની બાબત એ છે કે 1600વર્ષથી વાતાવરણમાં ખુલ્લો રહેલો હોવા છતાં ક્ષારણનું કોઈ ચિહ્ન દેખાતું નથી.

સ્લેગમાંથી ચારકોલના રેડિયોકાર્બન ડેટિંગ પરથી પૂરવાર થયું છે કે મેઘાલયની ખાસી (khasi) ટેકરીઓમાં સતત પ્રગલન થાય છે. આ સ્લેગનું સ્તર 353 BCE થી CE128ના સમયનું છે. આ અભ્યાસ સૂચવે છે કે ઉત્તરપૂર્વ ભારતના સમગ્ર વિસ્તારમાં લોખંડ પ્રગલનના પ્રાચીન સ્થળો છે. અગાઉના લોખંડ અચસ્કના ખોદકામના અવશેષો અને લોખંડનું ઉત્પાદન અત્યારે હાલમાં પણ ખાસી ટેકરીઓની દૃશ્યભૂમિ (landscape)માં જોવા મળે છે. બ્રિટિશ પ્રકૃતિવિદો (Naturalist) જેમણે પૂર્વ 19મી સદીમાં મેઘાલયની મુલાકાત લીધી હતી. તેમણે ખાસી ટેકરીઓના ઉપરના ભાગમાં લોખંડ ઉદ્યોગના વિકાસનું વર્ણન કરેલ છે.

રાજસ્થાનની જાવર (Zawar) ખાણોમાં છઠ્ઠી અથવા પાંચમી BCE દરમ્યાનના ઝિંકના ઉત્પાદનના પુરાતત્વીય પુરાવા મળી આવેલ છે. ભારત સૌપ્રથમ દેશ હતો જેણે ઝિંકના નિસ્યંદન અંગેની પારંગતતા મેળવી હતી. નીચા ઉત્કલન બિંદુને કારણે ઝિંકની અચસ્કનું પ્રગલન કરવામાં આવે છે ત્યારે ઝિંક બાષ્પમાં ફેરવાય છે. શુદ્ધ ઝિંક વ્યવહારદક્ષ (sophisticated) અધોમુખ (downward) નિસ્યંદન પ્રવિધિથી ઉત્પન્ન કરી શકાય છે જેમાં બાષ્પને નીચેના સંગ્રહપાત્ર (container)માં સંઘનિત કરવામાં

આવે છે. આ પદ્ધતિ પારાને પણ લાગુ પાડવામાં આવી હતી. ભારતીય ધાતુકર્મવીરો આ પ્રવિધિમાં નિષ્ણાંત હતા. આનું 14મી સદીના સંસ્કૃત લખાણમાં વર્ણન કરવામાં આવ્યું છે.

ભારતીયોને પારા વિશેનું જ્ઞાન હતું. તેઓએ તેનો વૈદકીય હેતુ માટે ઉપયોગ કર્યો હતો. ખોદકામ અને ધાતુકર્મવિધિના વિકાસમાં બ્રિટિશ સાંસ્થાનિક યુગ દરમ્યાન અધોગતિ (decline) આવી હતી. 19મી સદીમાં ફરી રાજસ્થાનની ખાણો જે લગભગ લુપ્ત થવા આવેલી હતી અને લગભગ છોડી દેવામાં આવેલી તેના ખોદકામમાં વેગ આવ્યો. 1947માં જ્યારે ભારતે આઝાદી મેળવી ત્યારે વિજ્ઞાન વિશેના યુરોપીય સાહિત્યે પોતાની મેળે દેશમાં ધીમે ધીમે માર્ગ શોધી કાઢ્યો હતો. આમ, પશ્ચાત સ્વાતંત્ર્ય (post independence) યુગમાં ભારત સરકારે રાષ્ટ્ર ઘડતરની પ્રક્રિયાની શરૂઆત જુદી જુદી વિજ્ઞાન અને ટેકનોલોજી સંસ્થાઓની સ્થાપના દ્વારા કરી. નીચેના વિભાગોમાં આપણે તત્ત્વોના નિષ્કર્ષણની આધુનિક પદ્ધતિઓ વિશે શીખીશું.

## 6.1 ધાતુઓના પ્રાપ્તિસ્થાન (Occurrence of Metals)

કેટલાંક તત્ત્વો જેવાં કે કાર્બન, સલ્ફર, ગોલ્ડ અને ઉમદા વાયુ પૃથ્વીના પોપડામાં મુક્ત અવસ્થામાં જ્યારે બીજા સંયોજિત સ્વરૂપે મળી આવે છે. આ તત્ત્વો પ્રચુરતામાં વિચરણ (vary) ધરાવે છે. ધાતુઓમાં, એલ્યુમિનિયમ ખૂબ જ વિપુલ પ્રમાણમાં છે. તે પૃથ્વીના પોપડામાં સૌથી વધુ પ્રમાણ (8.3 % લગભગ વજનથી) ધરાવતું ત્રીજા ક્રમે છે. તે અબરખ (mica) અને માટી (clay) સહિત ઘણા બધા અગ્નિકૃત ખડકોનો મુખ્ય ઘટક છે. કેટલાક જેમસ્ટોન (gemstone)  $Al_2O_3$  ના અશુદ્ધ સ્વરૂપ છે ઉદાહરણ તરીકે 'માણેક (ruby)' અને 'નીલમ (sapphire)' જેવા જેમસ્ટોનમાં અનુક્રમે Cr અને Co અશુદ્ધિઓ તરીકે હોય છે. આયર્ન (લોખંડ-લોહ) પૃથ્વીના પોપડામાં સૌથી વધુ પ્રમાણમાં મળી આવતી ધાતુ તરીકે બીજા સ્થાને છે. તે અનેક સંયોજનો બનાવે છે અને તેમના વિવિધ ઉપયોગ તેને ખૂબ જ અગત્યના તત્ત્વનું સ્થાન આપે છે. ઉપરાંત તે જૈવિક પ્રણાલીઓમાં આવશ્યક તત્ત્વોમાંનું એક છે.

કોઈ ધાતુ મેળવવા માટે, આપણે સૌપ્રથમ એવા ખનીજને શોધીએ છીએ જે પૃથ્વીના પોપડામાં મળી આવતા હોય અને તેનું ખનન (mining) કરી શકાય છે. ધાતુના મળી આવતા ઘણા ખનીજોમાંથી માત્ર કેટલાકનો જ તે ધાતુના સ્રોત તરીકે ઉપયોગ કરી શકાય છે. આવા ખનીજ અયસ્ક (કાચી ધાતુ) (ore) તરીકે ઓળખાય છે.

એલ્યુમિનિયમ, આયર્ન, કોપર અને ઝિંકના મુખ્ય અયસ્ક કોષ્ટક 6.1માં આપેલ છે.

કોષ્ટક 6.1 : કેટલીક અગત્યની ધાતુઓની મુખ્ય અયસ્ક

ધાતુ	અયસ્ક	સંઘટન (composition)
એલ્યુમિનિયમ	બોક્સાઈટ	$AlO_x(OH)_{3-2x}$ (જ્યાં $0 < x < 1$ )
	કેઓલીનાઈટ (માટીના સ્વરૂપે)	$[Al_2(OH)_4Si_2O_5]$
આયર્ન	હેમેટાઈટ	$Fe_2O_3$
	મેગ્નેટાઈટ	$Fe_3O_4$
	સિડેરાઈટ	$FeCO_3$
કોપર	આયર્ન પાયરાઈટસ	$FeS_2$
	કોપર પાયરાઈટસ	$CuFeS_2$
	મેલેકાઈટ	$CuCO_3, Cu(OH)_2$
	ક્યુપ્રાઈટ	$Cu_2O$
	કોપરગ્લાન્સ	$Cu_2S$
ઝિંક	ઝિંક બ્લેન્ડ અથવા	$ZnS$
	સ્ફાલેરાઈટ	
	કેલેમાઈન	$ZnCO_3$
	ઝિંકાઈટ	$ZnO$

કોઈ ચોક્કસ તત્ત્વ વિવિધ સંયોજનોસ્વરૂપે હોય છે. તત્ત્વની તેના સંયોજનમાંથી અલગકરણ પ્રક્રમ એવી હોવી જોઈએ કે તે રાસાયણરીતે સુગમ અને વ્યાપારિક દૃષ્ટિએ ટકી રહે.

નિષ્કર્ષણના હેતુ માટે એલ્યુમિનિયમ માટે બોક્સાઈટ પસંદ કરવામાં આવે છે. આયર્ન માટે સામાન્ય રીતે ઓક્સાઈડ અયસ્ક જે વિપુલ પ્રમાણમાં હોય છે તે અને SO<sub>2</sub> જેવા પ્રદૂષક વાયુઓ ઉત્પન્ન ન કરતા હોય (જેમ કે આયર્ન પાયરાઈટસ વડે પેદા થાય છે.) તેનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. કોપર અને ઝિંક માટે યાદીમાં દર્શાવેલ કોઈ પણ અયસ્ક (કોષ્ટક 6.1) જેનો આધાર તેની પ્રાપ્તિ અને અન્ય સંબંધિત પરિબળો છે તે લેવામાં આવે છે.

ધાતુનું તેના અયસ્કમાંથી અલગીકરણ કરવા માટેની સંપૂર્ણ વૈજ્ઞાનિક અને ટેકનોલોજીય પ્રક્રમને ધાતુકર્મવિધિ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. તત્ત્વનું તેના સંયોજિત સ્વરૂપમાંથી નિષ્કર્ષણ અને અલગીકરણમાં રસાયણવિજ્ઞાનના વિવિધ સિદ્ધાંતો સમાવેલા હોય છે. જો કે ધાતુઓના બધા નિષ્કર્ષણ પ્રક્રમોમાં કેટલાક સામાન્ય સિદ્ધાંતો સમાન હોય છે.

ભાગ્યે જ કોઈ અયસ્ક ઈચ્છિત પદાર્થ ધરાવતો હોય છે. તે સામાન્ય રીતે ભૂમીય (earthly) અથવા અનિચ્છિત પદાર્થો જે ગેંગ (gangue) તરીકે ઓળખાય છે તેના વડે સંદૂષિત (contaminated) થયેલો હોય છે. ધાતુઓનું અયસ્કમાંથી નિષ્કર્ષણ અને અલગનમાં નીચેના મુખ્ય તબક્કાઓનો સમાવેશ થાય છે.

- અયસ્કનું સંકેન્દ્રણ
- ધાતુનું તેની સંકેન્દ્રિત અયસ્કમાંથી અલગન અને
- ધાતુનું શુદ્ધીકરણ

આ એકમમાં આપણે પ્રથમ અયસ્કના અસરકારક સંકેન્દ્રણ માટેના જુદા જુદા તબક્કાની ચર્ચા કરીશું. ત્યારબાદ આપણે કેટલાક સામાન્ય ધાતુકર્મવિધિના પ્રક્રમોના સિદ્ધાંતોની ચર્ચા કરીશું. તે સિદ્ધાંતોમાં આપણે ઉખાગતિશાસ્ત્ર અને સંકેન્દ્રિત અયસ્કનું ધાતુમાં અસરકારક રિડક્શન માટે સમાવિષ્ટ વિદ્યુતરાસાયણિક બાબતોની પણ ચર્ચા કરીશું.

## 6.2 અયસ્કનું સંકેન્દ્રણ (Concentration of Ores)

અનિચ્છનીય પદાર્થો(જેમ કે, રેતી, માટી વગેરે)ને અયસ્કમાંથી દૂર કરવાનું સંકેન્દ્રણ, સજાવટ (dressing), સમપરિષ્કરણ (benefaction) તરીકે ઓળખાય છે. સંકેન્દ્રણ માટે આગળ વધતાં પહેલાં અયસ્કનું ક્રમણ અથવા વર્ગીકરણ કરવામાં આવે છે અને યોગ્ય માપમાં કચરવામાં આવે છે. તે કેટલાક તબક્કાઓનો સમાવેશ કરે છે અને આ તબક્કાઓની પસંદગી હાજર ધાતુના સંયોજનના અને ગેંગના ભૌતિક ગુણધર્મો પર આધાર રાખે છે. ધાતુનો પ્રકાર, પ્રાપ્ય સગવડતાઓ અને પર્યાવરણીય પરિબળોને પણ ધ્યાનમાં લેવામાં આવે છે. કેટલીક અગત્યની પદ્ધતિઓનું નીચે વર્ણન કરેલ છે.

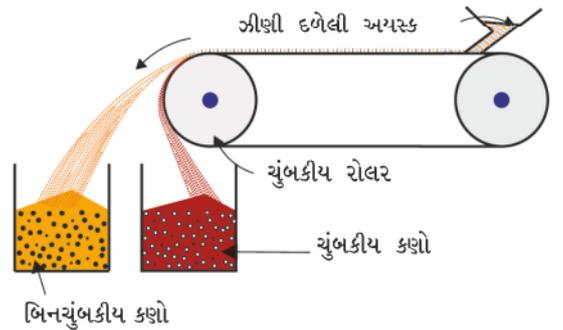
### 6.2.1 જલીય પ્રક્ષાલન (Hydraulic Washing)

આ પદ્ધતિ અયસ્કની અને ગેંગકણોની વિશિષ્ટ ઘનતાના તફાવત પર આધારિત છે એટલે જ તે ઘનતા (gravity) અલગીકરણ છે. આવા એક પ્રક્રમમાં ઉપર તરફ જતાં પાણીના વહેણ(પ્રવાહ)નો ઉપયોગ ચૂર્ણ કરેલ(પાઉડર કરેલ)ને ધોવા માટે વાપરવામાં આવે છે. હલકા ગેંગકણો ધોવાઈ જાય છે અને ભારે અયસ્ક પાછળ રહી જાય છે.

### 6.2.2 ચુંબકીય અલગીકરણ (Magnetic Separation)

આ અયસ્ક સંયોજનોના ચુંબકીય ગુણધર્મમાં તફાવત પર આધારિત છે. અયસ્ક અથવા ગેંગ (આ બેમાંથી એક) જો ચુંબકીય ક્ષેત્ર વડે આકર્ષિત થવાને માટે સક્ષમ હોય, તો આવું અલગીકરણ કરવામાં આવે છે. દા.ત., આયર્નની અયસ્ક ચુંબક વડે આકર્ષાય છે તેથી બિનચુંબકીય અશુદ્ધિઓને ચુંબકીય અલગીકરણ દ્વારા અલગ કરી શકાય છે. દળેલી અયસ્કને ચુંબકીય રોલર પર ફરતા કન્વેયર બેલ્ટ (વહન કરતો પટ્ટો) પરપડવા દેવામાં આવે છે (આકૃતિ 6.1) જેથી ચુંબકીય પદાર્થો બેલ્ટ તરફ આકર્ષાયેલા રહીને તેની નજીકમાં પડે છે.

એક ચુંબકીય અલગીકરણ દ્વારા અલગ કરી શકાય છે. દળેલી અયસ્કને ચુંબકીય રોલર પર ફરતા કન્વેયર બેલ્ટ (વહન કરતો પટ્ટો) પરપડવા દેવામાં આવે છે (આકૃતિ 6.1) જેથી ચુંબકીય પદાર્થો બેલ્ટ તરફ આકર્ષાયેલા રહીને તેની નજીકમાં પડે છે.

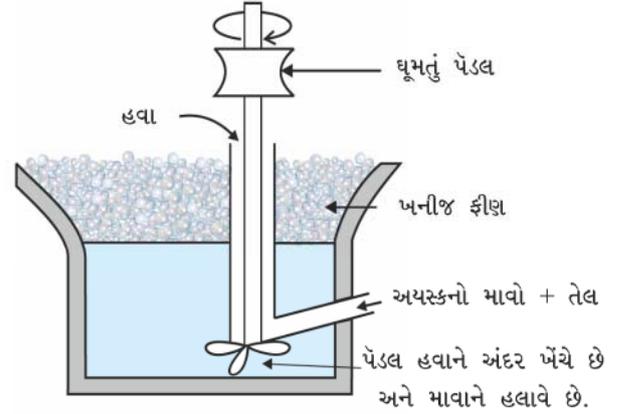


આકૃતિ 6.1 : ચુંબકીય અલગીકરણ (વ્યવસ્થા રેખાચિત્ર)

### 6.2.3 ફીણપ્લવન પદ્ધતિ (Froth Floatation Method)

આ પદ્ધતિ ગોંગને સલ્ફાઇડયુક્ત અયસ્કમાંથી દૂર કરવા માટે ઉપયોગમાં લેવાય છે. આ પદ્ધતિમાં, પાઉડર કરેલી અયસ્કનું પાણી સાથેનું નિલંબન (suspension) બનાવવામાં આવે છે. તેમાં સંગ્રાહક (collector) અને ફીણ સ્થાયીકારક ઉમેરવામાં આવે છે.

સંગ્રાહકો (જેમ કે, પાઇન ઓઇલ, ફેટી એસિડ, ઝેનથેટ વગેરે) ખનીજ કણોની બિનઆર્દ્રતા (non-wettability) વધારે છે અને ફીણ સ્થાયીકારકો (જેમ કે, કેસોલ, એનિલિન) ફીણને સ્થાયી કરે છે.



○ હવાના પરપોટાનો વિસ્તૃત દેખાવ જે ખનીજના કણો તેની સાથે જોડાયેલા દર્શાવે છે.

આકૃતિ 6.2 : ફીણ પ્લવન પદ્ધતિ (વ્યવસ્થા રેખાચિત્ર)

ખનીજના કણો તેલ વડે ભીંજાય છે. જ્યારે ગોંગકણો પાણીથી ભીંજાય છે. ઘૂમતું પેડલ મિશ્રણને ક્ષોભિત (agitate) કરે છે અને તેમાં હવાને ખેંચે છે. આને પરિણામે ફીણની રચના થાય છે જે ખનીજના કણોને લઈ જાય છે. ફીણ હલકું છે અને તેથી તારવી લેવાય છે (skimmed). ત્યારબાદ અયસ્કના કણો મેળવવા માટે તેને સૂકવવામાં આવે છે.

કેટલીક વખત તેલ અને પાણીનું પ્રમાણ નક્કી કરીને અથવા ‘અવનમક’ (depressant) ઉમેરીને બે સલ્ફાઇડ અયસ્કોને અલગ કરવાનું શક્ય છે. ઉદાહરણ તરીકે ZnS અને PbS ધરાવતી અયસ્ક માટે વપરાતો અવનમક NaCN છે. તે પસંદગી આધારે ZnSને ફીણ તરફ આવતો અટકાવે છે અને PbSને ફીણ તરફ જવા દે છે.

#### નવસર્જક ધોબણ

જો કોઈનો વૈજ્ઞાનિક સ્વભાવ હોય અને અવલોકન માટે સજાગ (attentive) હોય તો તે ચમત્કાર (wonders) કરી શકે છે. એક ધોબણને પણ નવસર્જન કરવાનું મન હોય છે. તેણી ખાણીયાના બધાં જ ઉપવસ્ત્રો ધોતી હતી ત્યારે તેણીએ નોંધ્યું કે ધોવાના ટબના તળિયામાં રેતી અને એકસરખી ધૂળ (મેલ) પડ્યા. જે ખાસ હતું તે એ હતું કે ખાણમાંથી કોપર ધરાવતા સંયોજનોના કણો કપડાં પર આવતા હતા અને તે સાબુના ફીણ સાથે સંયોજાઈને ઉપરના ભાગમાં આવ્યા હતા. તેણીના ગ્રાહકોમાંના એક શ્રીમતી કેરી એવરસન (Carrie Eversen) રસાયણશાસ્ત્રી હતા. ધોબણે શ્રીમતી એવરસનને પોતાનો અનુભવ કહ્યો. શ્રીમતી એવરસને વિચાર્યું કે આ વિચારનો કોપર સંયોજનોને તેમના ખડકીય અને ભૂમીય પદાર્થોથી મોટા પાયા પર દૂર કરવા માટે ઉપયોગ કરી શકાય. આ પ્રમાણે શોધખોળનો જન્મ થયો. એ સમયે કોપરની એ જ અયસ્ક નિષ્કર્ષણમાં જેમાં ધાતુ સવિશેષ પ્રમાણ હોય તે વપરાતી હતી. ફીણ પ્લવન પદ્ધતિની શોધ નિમ્ન કક્ષાની અયસ્કમાંથી કોપરનું ખનન કરવામાં ફાયદાકારક જણાઈ. વિશ્વમાં કોપરનું ઉત્પાદન વધી ગયું અને ધાતુ વધારે સસ્તી બની.

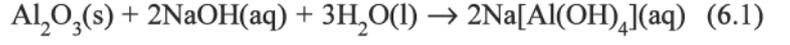
### 6.2.4 નિકાલન (Leaching)

નિકાલન સામાન્ય રીતે અયસ્ક જો કોઈ યોગ્ય દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય હોય તો ઉપયોગમાં લેવાય છે. નીચેના ઉદાહરણો આ પદ્ધતિ દર્શાવે છે.

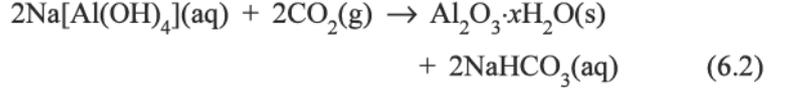
(a) બોક્સાઇટમાંથી એલ્યુમિનાનું નિકાલન :

એલ્યુમિનિયમની મુખ્ય અયસ્ક બોક્સાઇટ સામાન્ય રીતે  $\text{SiO}_2$ , આયર્ન ઓક્સાઇડ અને ટાઇટેનિયમ ઓક્સાઇડ ( $\text{TiO}_2$ ) અશુદ્ધિ તરીકે ધરાવતી હોય છે. ચૂર્ણ કરેલી અયસ્કને 473 - 523 K તાપમાન અને 35 - 36 bar દબાણે NaOHના સાંદ્ર દ્રાવણ સાથે ગ્રંથિત (digested) કરવામાં આવે છે આ રીતે  $\text{Al}_2\text{O}_3$ નું સોડિયમ એલ્યુમિનેટ તરીકે નિષ્કર્ષણ કરવામાં આવે છે. અશુદ્ધિ

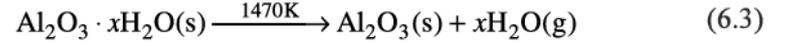
SiO<sub>2</sub> પણ સોડિયમ સિલિકેટ બનાવી દ્રાવ્ય થાય છે. અને અન્ય અશુદ્ધિઓ બાકી રહી જાય છે.



દ્રાવણમાંનો એલ્યુમિનેટ CO<sub>2</sub> વાયુ પસાર કરવાથી જળયુક્ત Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>માં અવક્ષેપન પામે છે. આ તબક્કે તાજા બનાવેલા જળયુક્ત Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> સાથે દ્રાવણમાં બીજારોપણ કરવામાં આવે છે જે અવક્ષેપનને પ્રેરિત કરે છે.

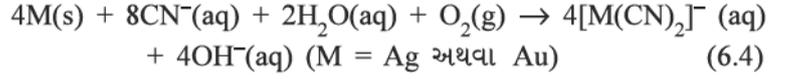


સોડિયમ સિલિકેટ દ્રાવણમાં રહી જાય છે અને જળયુક્ત એલ્યુમિનાને ગાળી લેવામાં આવે છે અને ગરમ કરીને શુદ્ધ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> પરત મેળવવામાં આવે છે.



(b) અન્ય ઉદાહરણો :

સિલ્વર અને ગોલ્ડ બંનેની ધાતુકર્મવિધિમાં જે-તે ધાતુનું NaCN અથવા KCNના મંદ દ્રાવણ સાથે હવા (O<sub>2</sub>)ની હાજરીમાં નિક્ષાલન કરવામાં આવે છે ત્યારબાદ વિસ્થાપન દ્વારા તે ધાતુ મેળવી શકાય છે.



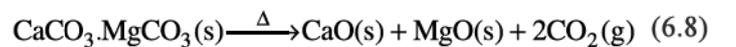
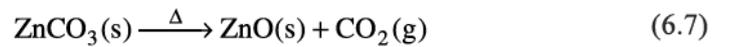
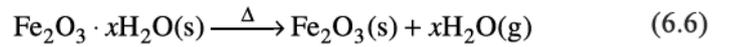
### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 6.1 કોષ્ટક 6.1માં જણાવેલ અયસ્કોમાંથી કઈ ચુંબકીય અલગીકરણ પદ્ધતિ વડે સંકેન્દ્રિત કરી શકાય છે ?
- 6.2 એલ્યુમિનિયમના નિષ્કર્ષણમાં નિક્ષાલનની શી અગત્ય (સાર્થકતા) છે ?

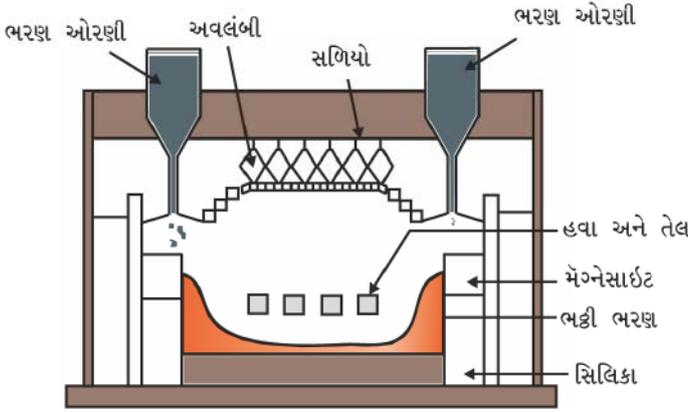
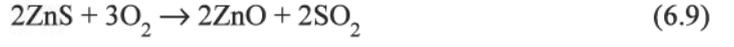
- 6.3 સંકેન્દ્રિત અયસ્કમાંથી અપરિષ્કૃત (અશુદ્ધ) ધાતુનું નિષ્કર્ષણ (Extraction of Crude Metal from Concentrated Ore)
- સંકેન્દ્રિત અયસ્કને એવા સ્વરૂપમાં પરિવર્તિત કરવી જોઈએ જેથી તે રિડક્શન માટે યોગ્ય બને. સામાન્ય રીતે સલ્ફાઈડ અયસ્કને રિડક્શન પહેલાં ઓક્સાઈડમાં પરિવર્તિત કરવામાં આવે છે. ઓક્સાઈડનું રિડક્શન કરવું વધારે સરળ છે. આમ, સંકેન્દ્રિત અયસ્કમાંથી ધાતુનું અલગીકરણ બે મુખ્ય મુદ્દાઓનો સમાવેશ કરે છે. જેમ કે,
- (a) ઓક્સાઈડમાં પરિવર્તન
- (b) ઓક્સાઈડનું ધાતુમાં રિડક્શન

(a) ઓક્સાઈડમાં પરિવર્તન

- (i) નિસ્તાપન(Calcination): નિસ્તાપનમાં ગરમ કરવાની પ્રક્રિયાનો સમાવેશ થાય છે. આ પ્રક્રિયા બાષ્પશીલ દ્રવ્યોને દૂર કરે છે અને ધાતુ ઓક્સાઈડને બાકી રહેવા દે છે.

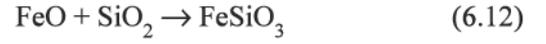


- (ii) ભૂંજન (Roasting) : ભૂંજનમાં અયસ્કને ધાતુના ગલનબિંદુથી નીચા તાપમાને હવાના નિયમિત પુરવઠા સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. સલ્ફાઈડ અયસ્કનો સમાવેશ કરતી કેટલીક પ્રક્રિયા આ પ્રમાણે છે :



આકૃતિ 6.3 : આધુનિક પરાવર્તની ભઠ્ઠીનો વિભાગ

કૉપરની સલ્ફાઈડ અચસ્કને પરાવર્તની ભઠ્ઠી(reverberatory furnace)માં ગરમ કરવામાં આવે છે. જો અચસ્ક આયર્ન ધરાવતી હોય તો તેને ગરમ કરતાં પહેલાં સિલિકા સાથે મિશ્ર કરવામાં આવે છે. આયર્ન ઓક્સાઈડ આયર્ન સિલિકેટના 'ધાતુમલ (slag)\*' તરીકે અને કૉપર 'કૉપર મેટ્ટે (matte)' સ્વરૂપમાં નીપજે છે, જે  $\text{Cu}_2\text{S}$  અને  $\text{FeS}$  ધરાવે છે. તે નીપજે છે.



(ધાતુમલ)

ઉત્પાદન પામતો  $\text{SO}_2$  વાયુ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ઉત્પાદનમાં વપરાય છે.

### (b) ઓક્સાઈડનું ધાતુમાં રિડક્શન

ધાતુ ઓક્સાઈડના રિડક્શનમાં તેને રિડક્શનકર્તા તરીકે (C અથવા CO અથવા અન્ય કોઈ ધાતુ પણ) વર્તતા કોઈ અન્ય પદાર્થ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. રિડક્શનકર્તા (જેમ કે, કાર્બન) ધાતુ ઓક્સાઈડના ઓક્સિજન સાથે સંયોજાય છે.



કેટલાક ધાતુ ઓક્સાઈડ સહેલાઈથી રિડક્શન પામે છે જ્યારે કેટલાકને રિડક્શન કરવા ઘણા જ મુશ્કેલ હોય છે. (રિડક્શનનો અર્થ છે કે ધાતુ આયન દ્વારા ઈલેક્ટ્રોન મેળવવો) કોઈ પણ કિસ્સામાં ગરમીની જરૂર પડે છે.

## 6.4 ધાતુકર્મવિધિના ઉષ્માગતિય સિદ્ધાંતો (Thermodynamic Principles of Metallurgy)

ઉષ્માગતિશાસ્ત્રની કેટલીક પાયાની સંકલ્પનાઓ ધાતુકર્મવિધિમાં રૂપાંતરણોના સિદ્ધાંતને સમજવામાં મદદ કરે છે. અહીંયા ગિબ્સ-ગિર્જા સૌથી વધુ સાર્થક પર્યાય છે. ઉષ્મીય રિડક્શન તાપધાતુકર્મવિધિ (pyrometallurgy)માં તાપમાનમાં વિચરણ (variation) માટે અને ક્યું તત્વ આપેલ ધાતુ ઓક્સાઈડ ( $\text{M}_x\text{O}_y$ ) માટે યોગ્ય રહેશે તે અંગેનું અર્થઘટન ગિબ્સ-ગિર્જાથી કરવામાં આવે છે. ઉષ્મીય રિડક્શન સરળતાથી થાય તે માટેનો માપદંડ આપેલા તાપમાને ગિબ્સ-ગિર્જા ફેરફારનું મૂલ્ય ઋણ થવું જોઈએ તે છે. ગિબ્સ-ગિર્જામાં ફેરફાર કોઈ દર્શાવેલા તાપમાને  $\Delta G$ ને નીચેના સમીકરણ વડે દર્શાવાય છે.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (6.14)$$

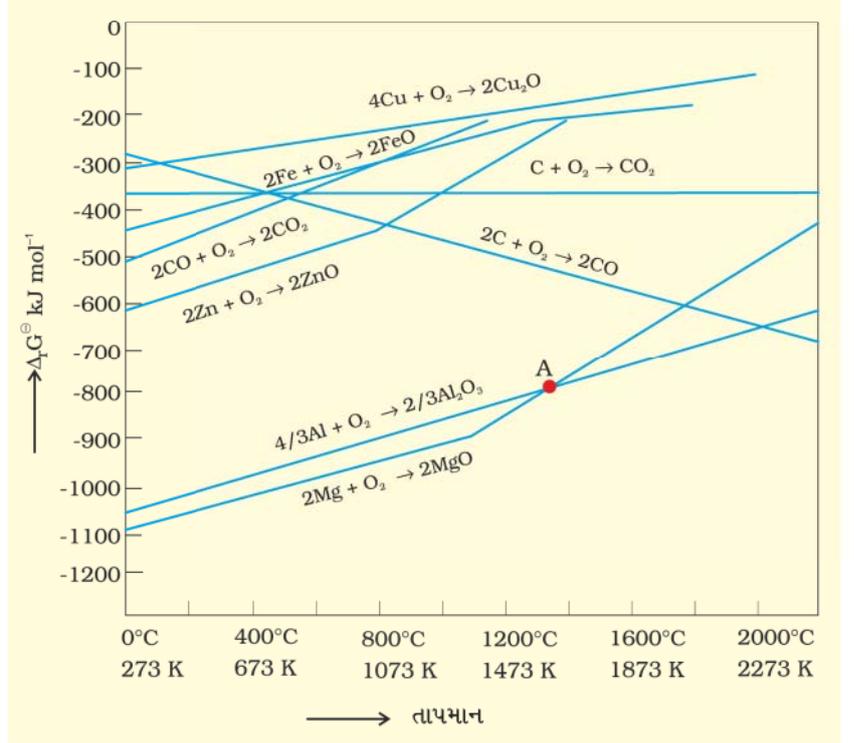
જ્યાં પ્રક્રિયા માટે  $\Delta H$  એન્થાલ્પી ફેરફાર અને  $\Delta S$  એન્ટ્રોપી ફેરફાર છે. સમીકરણ 6.14માં જ્યારે  $\Delta G$ નું મૂલ્ય ઋણ હોય છે ત્યારે જ કોઈ પણ પ્રક્રિયા આગળ વધશે.

1. જો  $\Delta S$  ધન હોય તો તાપમાન (T) વધારતાં  $T\Delta S$ નું મૂલ્ય વધશે તેથી  $\Delta H < T\Delta S$  થાય, આ પરિસ્થિતિમાં તાપમાન વધતાં  $\Delta G$  ઋણ બનશે.
2. જો બે પ્રક્રિયાઓ એટલે કે ઓક્સિડેશન અને રિડક્શનના યુગ્મનથી થતી એકંદર પ્રક્રિયા માટે  $\Delta G$ નું મૂલ્ય ઋણ પરિણમે તો અંતિમ પ્રક્રિયા સરળતાથી થાય છે,

\* ધાતુકર્મવિધિ દરમિયાન 'અભિવાહ' (flux) ઉમેરવામાં આવે છે જે ગેંગ સાથે સંયોજાય છે અને સ્લેગની રચના કરે છે. સ્લેગ અચસ્કમાંથી ગેંગ કરતાં વધારે સરળતાથી અલગ થઈ શકે છે. આ રીતે, ગેંગને દૂર કરવું વધુ સરળ બને છે.

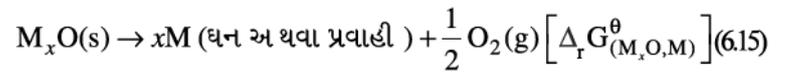
આ રીતનું યુગ્મન ઓક્સાઇડના નિર્માણ માટે ગિબ્સ-ઊર્જા ( $\Delta_r G^\theta$ ) વિરુદ્ધ Tના આલેખ દ્વારા સરળતાથી સમજ શકાય છે (આકૃતિ 6.4). આ આલેખ જ્યારે એક ગ્રામ મોલ ઓક્સિજન વપરાય ત્યારે થતાં મુક્ત ઊર્જા ફેરફાર માટેનો છે.

ગિબ્સ-ઊર્જાની આલેખીય રજૂઆત સૌપ્રથમ એચ. જે. ટી. એલિંગહામ (H.J.T. Ellingham) દ્વારા ઉપયોગમાં લેવામાં આવેલી. ઓક્સાઇડના રિડક્શનમાં રિડક્શનકર્તાની પસંદગીની ગણતરી માટે નિર્વિવાદ (sound) પાયો પૂરો પાડે છે. આ એલિંગહામ આકૃતિ તરીકે ઓળખાય છે. આવી આકૃતિઓ અચસ્કના તાપીય રિડક્શનની સુગમતા માટે મદદરૂપ થાય છે.

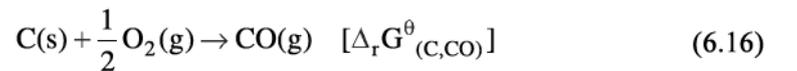


આકૃતિ 6.4 : કેટલાક ઓક્સાઇડની બનાવટ માટે વપરાતા પ્રતિ મોલ ઓક્સિજન (એલિંગહામ આકૃતિ) ગિબ્સ-ઊર્જા  $\Delta_r G^\theta$  વિરુદ્ધ Tના વક

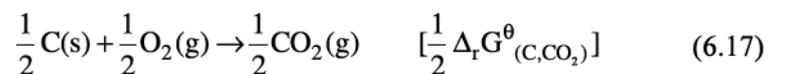
આપણે જાણીએ છીએ કે રિડક્શન દરમિયાન ધાતુનો ઓક્સાઇડ વિઘટન પામે છે અને રિડક્શનકર્તા ઓક્સિજન દૂર કરે છે. રિડક્શનકર્તાનો ફાળો રિડક્શનકર્તાનું ઓક્સિડેશન અને ધાતુ ઓક્સાઇડનું રિડક્શન એવી બે પ્રક્રિયાઓના  $\Delta_r G^\theta$  નો સરવાળો પુરતો મોટો અને ઋણ કરવાનો છે.



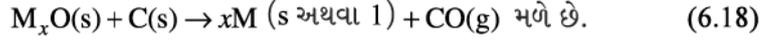
જો રિડક્શન કાર્બન દ્વારા કરવામાં આવ્યું હોય તો રિડક્શનકર્તા (એટલે કે, C)નું ઓક્સિડેશન નીચે પ્રમાણે થાય :



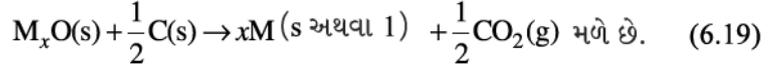
જો કાર્બન સંપૂર્ણ ઓક્સિડેશન  $CO_2$  માં થયું હોય તો,



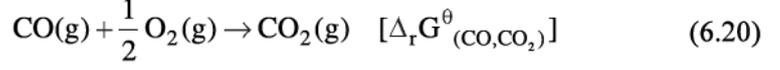
પ્રક્રિયા 6.15 અને 6.16 નું યુગ્મન કરતા આપણને



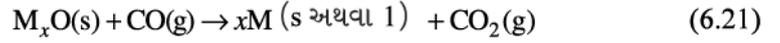
પ્રક્રિયા 6.15 અને 6.17 નું યુગ્મન કરતા આપણને



આજ પ્રમાણે, જો કાર્બન મોનોક્સાઇડ રિડક્શનકર્તા હોય તો, પ્રક્રિયા 6.15 અને નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયા 6.20નું યુગ્મન કરવું પડશે.

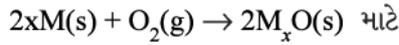


એકંદર પ્રક્રિયા નીચે મુજબ થશે :



### એલિંગહામ (Ellingham) આકૃતિ :

- (a) એલિંગહામ આકૃતિ સામાન્ય રીતે કેટલીક ધાતુઓના ઓક્સાઇડ અને રિડક્શનકર્તાના નિર્માણ માટે  $\Delta_r G^\theta$  વિરુદ્ધ Tનો આલેખ હોય છે એટલે કે પ્રક્રિયા,



આ પ્રક્રિયામાં વાયુમય જથ્થો ઓક્સાઇડના નિર્માણમાં વપરાય છે, આથી ઓક્સાઇડના નિર્માણમાં આણ્વીય યાદચ્છિકતા ઘટે છે જે  $\Delta S$  નું મૂલ્ય ઋણ બનાવે છે પરિણામે સમીકરણ (6.14)માં  $T\Delta S$  પદની નિશાની ધન થશે. પરિણામે તાપમાન (T) વધવા છતાં પણ  $\Delta_r G^\theta$  નું મૂલ્ય વધારા તરફ ખસે છે. પરિણામે  $M_xO(s)$ ના નિર્માણની મોટાભાગની ઉપરોક્ત પ્રક્રિયાઓ માટેના વક્રમાંના ઢાળ ધન હોય છે.

- (b) દરેક આલેખ સીધી રેખા છે અને ઢાળ ઉપરની તરફ હોય છે સિવાય કે જ્યારે કેટલાક કલામાં ફેરફાર ( $s \rightarrow l$  અથવા  $l \rightarrow g$ ) થાય છે ત્યારે. એ તાપમાન કે જ્યારે આવો ફેરફાર થાય છે તેને ઢાળમાં વધારા સાથે ધન બાજુ પર દર્શાવેલ છે. જેમ કે, Zn, ZnO આલેખ, ગલનબિંદુ વક્રમાં એકદમ (abrupt) ફેરફાર દર્શાવે છે.
- (c) જ્યારે તાપમાન વધે ત્યારે વક્રમાં એક બિંદુ એવું આવે છે જ્યારે વક્ર  $\Delta_r G^\theta = 0$  રેખાને ઓળંગે છે. આ તાપમાનથી નીચેના તાપમાને ઓક્સાઇડ બનવા માટેનો  $\Delta_r G^\theta$  ઋણ હોય છે, તેથી  $M_xO$  સ્થાયી હોય છે. આ બિંદુથી ઉપર ઓક્સાઇડના નિર્માણની મૂક્ત ઊર્જા ધન હોય છે તેથી  $M_xO$  આપમેળે જ વિઘટન પામશે.
- (d) સલ્ફાઇડ અને હેલાઇડ માટે આવા સરખા જ આલેખો તૈયાર કરવામાં આવેલ છે અને એ સ્પષ્ટ બને છે કે  $M_xS$ નું રિડક્શન શા માટે મુશ્કેલ છે.

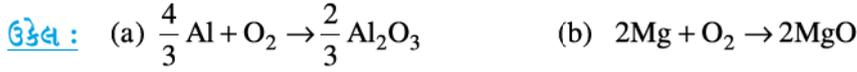
### એલિંગહામ આકૃતિની મર્યાદાઓ :

- આલેખ માત્ર સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા શક્ય છે કે નહિ ? એટલે કે રિડક્શનકર્તા વડે રિડક્શનનું વલણ દર્શાવે છે. આ એટલા માટે છે કારણ કે તે માત્ર ઉષ્માગતિકીય સંકલ્પનાઓ પર આધારિત છે. તે રિડક્શન પ્રક્રિયા માટેની ગતિકી વિશે કંઈ કહેતું નથી. રિડક્શન પ્રક્રિયા કેટલી ઝડપી હશે તેવા પ્રશ્નોનો ઉત્તર આપી શકતું નથી. તેમ છતાં તે સમજાવે છે કે પ્રક્રિયા જ્યારે દરેક સ્પિસીઝ ધન અવસ્થામાં હોય ત્યારે કેમ ધીમી (sluggish) હોય છે અને જ્યારે પીગળે છે ત્યારે સરળ હોય છે. એ નોંધવું રસપ્રદ છે કે  $\Delta H$  (એન્થાલ્પી ફેરફાર) અને  $\Delta S$ ના (એન્ટ્રોપી ફેરફાર) મૂલ્યો કોઈ પણ પ્રક્રિયા માટે તાપમાન બદલતા પણ લગભગ અચળ રહે છે. આથી સમીકરણ (6.14)માં પ્રભુત્વ ધરાવતો ચલ (variable) T બને છે. તેમ છતાં  $\Delta S$  સંયોજનની ભૌતિક અવસ્થા પર વિશેષ આધાર રાખે છે. એન્ટ્રોપી પ્રણાલીમાં અવ્યવસ્થા (disorder) અથવા યાદચ્છિકતા (randomness) પર આધાર રાખે છે. જો સંયોજન પીગળશે તો ( $s \rightarrow l$ ) અથવા બાષ્પાયન પામશે તો ( $l \rightarrow g$ ) એન્ટ્રોપી વધે છે. કારણ કે કલા ધનથી પ્રવાહીમાં અથવા પ્રવાહીમાંથી વાયુમાં ફેરવાતાં આણ્વીય યાદચ્છિકતા વધે છે.
- $\Delta_r G^\theta$ નું અર્થઘટન K પર ( $\Delta_r G^\theta = -RT \ln K$ ) આધારિત છે. આમ તે ધારી લે છે કે પ્રક્રિયકો અને નીપજો સંતુલનમાં છે.  $M_xO + A_{red} \rightleftharpoons xM + AO_{ox}$  તે હંમેશાં સાચું હોતું નથી કારણ કે પ્રક્રિયક / નીપજ ધન પદાર્થ હોઈ શકે. ઔદ્યોગિક પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજો બહુ જ ઓછા સમય માટે સંપર્કમાં હોય છે.

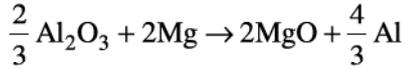
આ 6.18 અને 6.21 પ્રક્રિયાઓ ધાતુ ઓક્સાઇડ  $M_xO_n$  પરેખર (actual) રિડક્શન વર્ણવે છે જેની આપણને પૂર્ણતા માટે જરૂર છે. સામાન્ય રીતે આ પ્રક્રિયાઓના  $\Delta_r G^\theta$ ના મૂલ્યો અનુવર્તી ઓક્સાઇડ  $\Delta_r G^\theta$  મૂલ્યોમાંથી મળશે.

આપણે જોયું તે પ્રમાણે, ગરમી આપવી (એટલે કે Tમાં વધારો કરવો)  $\Delta_r G^\theta$  ના ઋણ મૂલ્યની તરફેણ કરે છે. આથી તાપમાન એવું પસંદ કરવામાં આવે છે જેથી કરીને બંને સંયુક્ત રેડોક્ષ પ્રક્રિયામાં  $\Delta_r G^\theta$  નું મૂલ્ય ઋણ મળે.  $\Delta_r G^\theta$  વિરુદ્ધ Tના આલેખ (એલિંગહામ આકૃતિ 6.4)માં બંને વક્ર ( $M_xO$  બનવા માટેનો વક્ર અને રિડક્શનકર્તા પદાર્થના ઓક્સિડેશન માટેનો વક્ર)નું પ્રતિચ્છેદન (intersection) તે દર્શાવે છે. આ બિંદુ પછી  $\Delta_r G^\theta$  મૂલ્ય સંયુક્ત પ્રક્રિયા માટે વધુ ઋણ જેથી  $M_xO_n$  સરળતાથી રિડક્શન શક્ય બને છે. આ બિંદુ પછીની  $\Delta_r G^\theta$ ના બે મૂલ્યોનો તફાવત નક્કી કરે છે કે ઉપરની રેખાના ઓક્સાઇડનું રિડક્શન એવા તત્ત્વ વડે સરળતાથી થાય છે કે જેના ઓક્સાઇડ નિર્માણ નીચેની રેખા વડે દર્શાવેલ છે. જો આ તફાવત વધુ હોય તો આ રિડક્શન વધારે સરળ છે.

**કોયડો 6.1** મેગ્નેશિયમ એલ્યુમિનાનું રિડક્શન કરે તેની શરતો સૂચવો. બંને સમીકરણ નીચે પ્રમાણે છે :



$Al_2O_3$  અને  $MgO$  વક્ર (આકૃતિ 6.4માં 'A' તરીકે ચિહ્ન કરેલ છે)ના પ્રતિચ્છેદન બિંદુએ પ્રક્રિયા માટે  $\Delta_r G^\theta$  શૂન્ય થાય છે.



આથી નીચા બિંદુએ મેગ્નેશિયમ એલ્યુમિનાનું રિડક્શન કરી શકે.

**કોયડો 6.2** ઉષ્માગતિકીય રીતે સુગમ હોવા છતાં એલ્યુમિનિયમની ધાતુકર્મવિધિની પદ્ધતિમાં એલ્યુમિનિયમના રિડક્શન માટે મેગ્નેશિયમ વપરાતું નથી. શા માટે ?

**ઉકેલ :**  $Al_2O_3$  અને  $MgO$  વક્રના પ્રતિચ્છેદનબિંદુની નીચેના તાપમાને મેગ્નેશિયમ એલ્યુમિનાનું રિડક્શન કરી શકે પરંતુ પ્રક્રમ બિનવ્યવહારુ થશે.

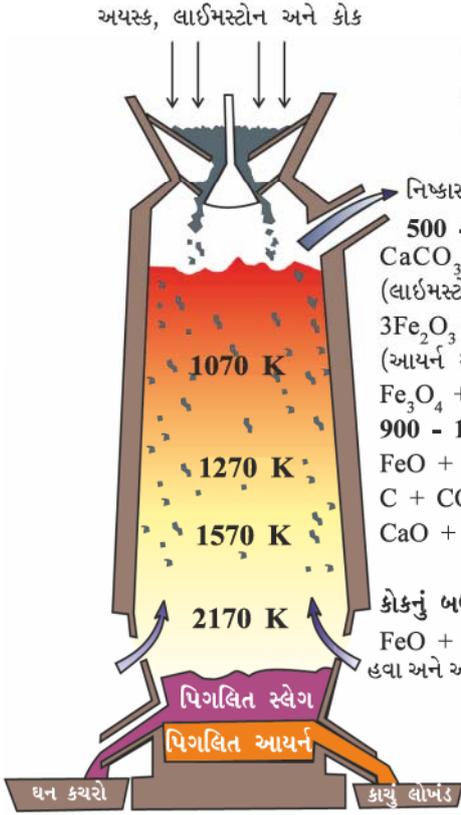
**કોયડો 6.3** રિડક્શન તાપમાને જો બનતી ધાતુ પ્રવાહી સ્વરૂપમાં હોય તો ધાતુ ઓક્સાઇડનું રિડક્શન શા માટે વધારે સરળ હોય છે ?

**ઉકેલ :** ધાતુ જ્યારે ઘન અવસ્થામાં હોય તેના કરતાં જ્યારે તે પ્રવાહી અવસ્થામાં હોય તો એન્ટ્રોપી વધારે હોય છે. જ્યારે ધાતુ ઓક્સાઇડ ઘન અવસ્થામાં રિડક્શન પામે અને નીપજેલી ધાતુ પ્રવાહી અવસ્થામાં હોય ત્યારે રિડક્શન પ્રક્રિયાના એન્ટ્રોપી ફેરફાર ( $\Delta S$ )નું મૂલ્ય વધારે ધન બાજુ હોય છે. આમ  $\Delta_r G^\theta$  નું મૂલ્ય ઋણ બાજુ તરફ વધારે હોય છે અને રિડક્શન વધુ સરળ બને છે.

#### 6.4.1 અનુપ્રયોગો (Applications)

(a) આયર્નનું તેના ઓક્સાઇડમાંથી નિષ્કર્ષણ :

સાંદ્રણ કર્યા બાદ આયર્નની ઓક્સાઇડ અયસ્કો ( $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ )ના મિશ્રણમાંથી પાણી દૂર કરવા, કાર્બોનેટના વિઘટન કરવા અને સલ્ફાઇડનું ઓક્સિડેશન કરવા માટે નિસ્તાપન / ભૂંજન કરવામાં આવે છે. ત્યારબાદ આયર્નના ઓક્સાઇડને લાઇમસ્ટોન અને કોક સાથે મિશ્ર કરી વાતભઢીમાં ઉપરથી નાંખવામાં આવે છે. અહીંયા ઓક્સાઇડ ધાતુમાં રિડક્શન પામે છે.



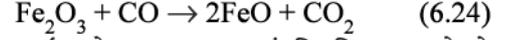
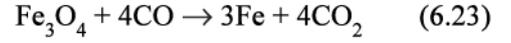
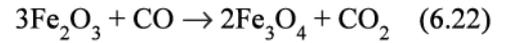
આકૃતિ 6.5 : વાતભઢી

વાતભઢીમાં (આકૃતિ 6.5) આયર્ન ઓક્સાઈડનું રિડક્શન જુદા જુદા તાપમાનના ગાળામાં થાય છે. વાતભઢીના તળિયેથી ગરમ હવા ફૂંકવામાં આવે છે અને કોકને બાળવામાં આવે છે જેથી ભઢીના નીચેના ભાગમાં આશરે 2200 K જેટલું તાપમાન થાય છે. કોકના બળવાથી પ્રક્રમ માટે જરૂરી ઉષ્મા મળી રહે છે. CO અને ઉષ્મા

ભઢીના ઉપરના ભાગમાં જાય છે. ઉપરના ભાગમાં તાપમાન નીચું હોય છે અને ઉપરથી આવતા આયર્ન ઓક્સાઈડ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> અને Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) તબક્કાવાર FeOમાં રિડક્શન પામે છે. આ પ્રક્રિયાઓનો સારાંશ નીચે પ્રમાણે આપી શકાય.

500 - 800 K તાપમાને (વાત ભઢીમાં નીચા તાપમાનનો ગાળો) -

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> નું પ્રથમ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> માં રિડક્શન થાય છે અને ત્યારબાદ FeOમાં રિડક્શન થાય છે.

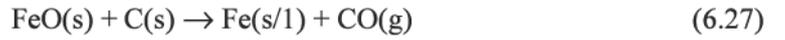


લાઈમસ્ટોન પણ CaO માં વિઘટિત થાય છે જે અયસ્કની સિલિકેટ અશુદ્ધિને સ્લેગ તરીકે દૂર કરે છે. સ્લેગ પિગલિત સ્વરૂપમાં હોય છે અને આયર્નથી અલગ પડી જાય છે.

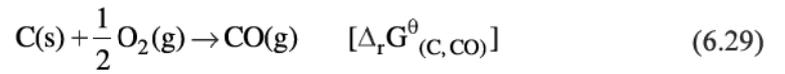
900 - 1500 K તાપમાને (વાતભઢીમાં ઊંચા તાપમાનનો ગાળો)



ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર આપણને કોક ઓક્સાઈડનું કેવી રીતે રિડક્શન કરે છે અને શા માટે આ ભઢીનો ઉપયોગ કરવામાં આવ્યો છે તે સમજવામાં મદદ કરે છે. આ પ્રક્રમમાં મુખ્ય રિડક્શન તબક્કામાંનો એક નીચે પ્રમાણે છે.



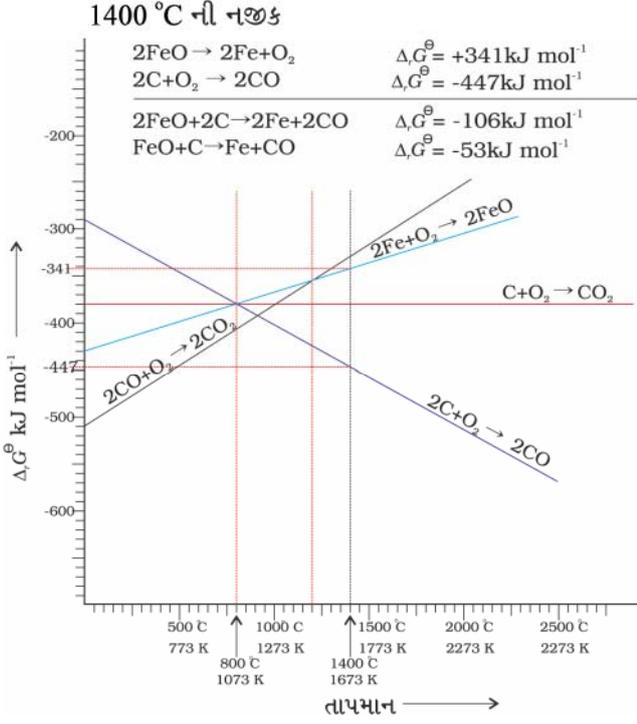
તેને બે સાદી પ્રક્રિયાઓના યુગ્મ તરીકે વિચારી શકીએ એકમાં FeOનું રિડક્શન થાય છે અને બીજામાં Cનું COમાં ઓક્સિડેશન થાય છે.



જ્યારે બંને પ્રક્રિયાઓ થઈને સમીકરણ (6.27) પ્રમાણે નીપજ મળે છે ત્યારે ચોખ્ખી (net) ગિબ્સ-ઊર્જા ફેરફાર નીચે પ્રમાણે થાય છે.



એ સ્વાભાવિક છે જ્યારે સમીકરણ (6.30)ની જમણી બાજુ ઋણ બને ત્યારે જ પરિણામી પ્રક્રિયા થાય.  $\Delta_r G^\ominus$  વિરુદ્ધ Tના આલેખમાં Fe-FeO ફેરફાર દર્શાવતો વક્ર ઉપરની તરફ જાય છે અને C → CO, [C, CO] ફેરફાર દર્શાવતો વક્ર નીચેની તરફ જાય છે. આ વક્રો એકબીજાને આશરે 1073 K તાપમાને પ્રતિચ્છેદન કરે છે. 1073 K (આશરે) કરતાં તાપમાન ઉપર જાય છે ત્યારે C, CO રેખા Fe, FeO રેખાની નીચે આવે છે.  $[\Delta_r G^\ominus_{(C, CO)}] < [\Delta_r G^\ominus_{(FeO, Fe)}]$  આથી 1073 K થી ઉપર 900 - 1500 K તાપમાનના વિસ્તારમાં (ગાળામાં) કોક FeOનું રિડક્શન કરશે અને તે પોતે COમાં ઓક્સિડેશન પામશે. આ બાબતને આપણે આકૃતિ 6.6 ( $\Delta_r G^\ominus$ ના અંદાજિત મૂલ્યો આપેલા છે) દ્વારા સમજીએ. આશરે 1673 K (1400 °C) તાપમાને થતી પ્રક્રિયા



આકૃતિ 6.6 : આયર્ન અને કાર્બનના ઓક્સાઇડની બનાવટ (રચના) માટે ગિબ્સ-ઊર્જા વિરુદ્ધ Tનો આલેખ. (એલિંગન આકૃતિ)

$2\text{FeO} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{O}_2$  માટે  $\Delta_r G^\ominus$ નું મૂલ્ય  $+341 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે કારણ કે તે Fe - FeO ફેરફારની વિરુદ્ધ પ્રક્રિયા છે તથા પ્રક્રિયા  $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$  માટે  $\Delta_r G^\ominus$ નું મૂલ્ય  $-447 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે. જો આપણે એકંદર પ્રક્રિયા (6.27) માટે  $\Delta_r G^\ominus$ ની ગણતરી કરીએ તો તેનું મૂલ્ય  $-53 \text{ kJ mol}^{-1}$  થશે. તેથી પ્રક્રિયા 6.27 સરળતાથી થશે. આજ પ્રમાણે,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  અને  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ નું CO વડે પ્રમાણમાં નીચા તાપમાને રિડક્શન તેમના વક્રના CO,  $\text{CO}_2$  વક્ર સાથેનું પ્રતિચ્છેદન (intersection) સરખામણીના આધારે સમજાવી શકાય.

વાતભટ્ટીમાંથી મેળવેલું આયર્ન આશરે 4% કાર્બન અને અલ્પ પ્રમાણમાં ઘણી અશુદ્ધિઓ (જેમ કે, S, P, Si, Mn) ધરાવે છે. આને કાર્યુ લોખંડ કહે છે અને જુદા જુદા આકારમાં ઢાળી શકાય છે. ભરતર લોખંડ કાચા લોખંડથી અલગ છે અને તેને વાતભટ્ટીનો ઉપયોગ કરીને કાચા લોખંડને લોખંડના ભંગાર (scrap) અને કોક સાથે પીગાળીને મેળવાય છે. તે કાર્બન ઘટકનું થોડું ઓછું પ્રમાણ (આશરે 3 %) ધરાવે છે અને તે સખત અને બરડ હોય છે.

આગળ પરના (further) રિડક્શન :

ઘડતર લોખંડ (wrought iron) અથવા દબનીય લોખંડ (malleable iron) વ્યાપારિક (commercial) ધોરણે લોખંડનું સૌથી શુદ્ધ સ્વરૂપ છે અને તેને ભરતર લોખંડમાંથી હેમેટાઇટ વડે પડ ચઢાવેલી (lined) પરાવર્તની ભટ્ટીમાં અશુદ્ધિઓનું ઓક્સિડેશન કરીને બનાવવામાં આવે છે. આ હેમેટાઇટ કાર્બનનું કાર્બન મોનોક્સાઇડમાં ઓક્સિડેશન કરે છે.



લાઈમસ્ટોનને અભિવાહ (flux) તરીકે ઉમેરવામાં આવે છે અને સલ્ફર, સિલિકોન અને ફોસ્ફરસ ઓક્સિડેશન પામે છે અને સ્લેગમાં પસાર થાય છે. ધાતુને કાઢી લેવામાં આવે છે અને રોલર(rollers)માંથી પસાર કરી સ્લેગમાંથી મુક્ત કરવામાં આવે છે.

(b) ક્યુપ્રસ ઓક્સાઇડ [કોપર (I) ઓક્સાઇડ]માંથી કોપરનું નિષ્કર્ષણ :

ઓક્સાઇડની બનાવટ અંગેનો  $\Delta_r G^\ominus$  વિરુદ્ધ Tના આલેખ (આકૃતિ 6.4)  $\text{Cu}_2\text{O}$

રેખા લગભગ ઉપર (ઊંચે) છે. આથી કોપરની ઓક્સાઇડ અચસ્કને કોક સાથે

ગરમ કરતાં સીધુ ધાતુમાં રિડક્શન સહેલાઈથી થાય છે. (C, CO) અને (C,  $\text{CO}_2$ )

બંને રેખાઓ આલેખમાં ખાસ કરીને 500 - 600 K તાપમાનથી ઘણી જ નીચી

જગ્યાએ છે. ઘણી અચસ્કો સલ્ફાઇડ છે અને કેટલીક આયર્ન પણ ધરાવતી હોય.

સલ્ફાઇડ અચસ્કનું ભૂજન / પ્રગલન (smelting) કરવાથી ઓક્સાઇડ મળે છે.



ત્યારબાદ ઓક્સાઇડનું કોકનો ઉપયોગ કરીને સહેલાઈથી ધાત્વીય કોપરમાં

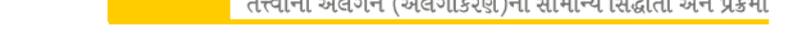
રિડક્શન કરી શકાય.



ખરેખર પ્રક્રમમાં અચસ્કને સિલિકા સાથે મિશ્ર કરીને પરાવર્તની ભટ્ટીમાં ગરમ

કરવામાં આવે છે. ભટ્ટીમાં આયર્ન ઓક્સાઇડ, આયર્ન સિલિકેટના સ્લેગ તરીકે બને છે

અને કોપર મેટ્ટેના સ્વરૂપમાં કોપર બને છે. આ  $\text{Cu}_2\text{S}$  અને  $\text{FeS}$  ધરાવે છે.

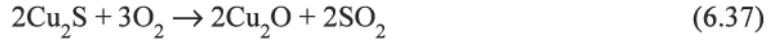


ત્યારબાદ કોપર મેટ્ટેને સિલિકાના પડવાળા (lined) પરિવર્તક

(converter)માં લેવામાં આવે છે. (ભરણ કરવામાં આવે છે). થોડીક સિલિકા પણ

ઉમેરવામાં આવે છે અને ગરમ હવાનો વાત ફૂંકવામાં આવે છે

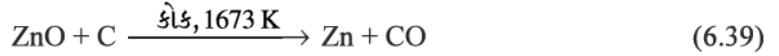
જેથી બાકી રહેલા FeSનું FeO અને Cu<sub>2</sub>S/CuOનું કોપર ધાતુમાં પરિવર્તન થાય. નીચેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે.



ઘનસ્વરૂપમાં મળેલા કોપર પર ફોલ્લા (blisters) દેખાય છે. જે SO<sub>2</sub>ના ઉત્પન્ન થવાથી હોય છે અને તેથી આને ફોલ્લાવાળું કોપર (blister copper) કહેવામાં આવે છે.

(c) ઝિંક ઓક્સાઇડમાંથી ઝિંકનું નિષ્કર્ષણ :

ઝિંક ઓક્સાઇડનું રિડક્શન કોક વાપરીને કરવામાં આવે છે. આ કિસ્સામાં તાપમાન/ગરમી કોપરના કિસ્સા કરતાં વધારે ઊંચું હોય છે. ગરમ કરવાના હેતુ માટે ઓક્સાઇડની કોક અને માટી સાથે નાની ઈટો (brickettes) બનાવવામાં આવે છે.



ધાતુનું નિસ્કંદન કરવામાં આવે છે અને ઝડપી શીતન (chilling) કરીને એકઠી કરવામાં આવે છે.

#### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 6.3 પ્રક્રિયા  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Cr}$  ( $\Delta_r G^\circ = -421 \text{ kJ}$ ) ગિબ્સ-ઊર્જા મૂલ્યોના આધારે ઉષ્માગતિકીય રીતે સુગમ (feasible) છે. તે ઓરડાના તાપમાને શા માટે થતી નથી ?
- 6.4 શું એ સાચું છે કે કોઈક પરિસ્થિતિમાં Mg, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>નું રિડક્શન કરી શકે અને MgOનું રિડક્શન Al કરી શકે ? આ પરિસ્થિતિ શું હશે ?

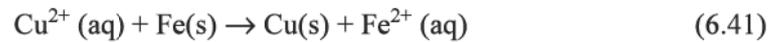
#### 6.5 ધાતુકર્મવિધિના વિદ્યુત-રાસાયણિક સિદ્ધાંતો (Electrochemical Principles of Metallurgy)

આપણે તાપ ધાતુકર્મવિધિને (pyrometallurgy) ઉષ્માગતિકીય સિદ્ધાંતો કેવી રીતે લાગુ પાડી શકીએ તે શીખ્યા. આવા જ સિદ્ધાંતો દ્રાવણમાં અથવા પિગલિત અવસ્થામાંના ધાતુ આયનોના રિડક્શન કરવા માટે અસરકારક છે. અહીંયા તે વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા અથવા કેટલાક રિડક્શનકર્તા તત્વોના ઉમેરણથી રિડક્શન કરવામાં આવે છે.

પિગલિત ધાતુક્ષારના રિડક્શનમાં વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવે છે. આવી પદ્ધતિઓ વિદ્યુતરાસાયણિક સિદ્ધાંત પર આધારિત છે જેને નીચેના સમીકરણ દ્વારા સમજી શકાય.

$$\Delta G^\circ = -nE^\circ F \quad (6.40)$$

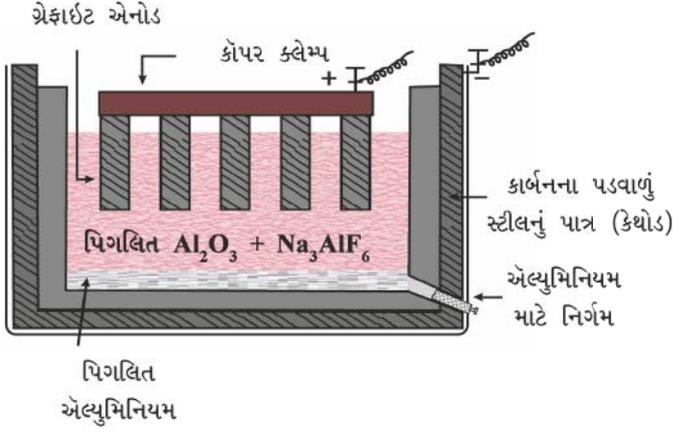
અહીંયા,  $n$  ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા છે અને  $E^\circ$  પ્રણાલી દ્વારા રચાયેલા રેડોક્ષ યુગ્મ (couple)નો પ્રમાણિત વિદ્યુત પોટેન્શિયલ છે, વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુઓના રિડક્શન પોટેન્શિયલના મૂલ્યો વધુ ઋણ હોય છે. તેથી તેમનું રિડક્શન મુશ્કેલ છે. જો બે  $E^\circ$  મૂલ્યોનો તફાવત ધન  $E^\circ$ ને અનુરૂપ હોય અને પરિણામે સમીકરણ (6.40)માં  $\Delta G^\circ$ નું મૂલ્ય ઋણ બને તો ઓછી પ્રતિક્રિયાત્મક (reactive) ધાતુ દ્રાવણમાંથી બહાર આવી જશે અને વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુ દ્રાવણમાં જશે. દા.ત.



સાદા વિદ્યુતવિભાજનમાં  $M^{n+}$  આયન ઋણ વિદ્યુતધ્રુવ (કેથોડ) તરફ વિભારિત થાય છે અને ત્યાં નિક્ષેપિત થાય છે. નીપજતી ધાતુની પ્રતિક્રિયાત્મકતાને ધ્યાનમાં રાખીને સાવચેતી રાખવામાં આવે છે અને યોગ્ય પદાર્થોનો વિદ્યુતધ્રુવ તરીકે ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. કેટલીક વખત અભિવાહ પિગલિત દ્રવ્યને વધુ વિદ્યુતવાહક બનાવવામાં માટે ઉમેરવામાં આવે છે.

## એલ્યુમિનિયમ

એલ્યુમિનિયમની ધાતુકર્મવિધિમાં શુદ્ધ કરેલા  $Al_2O_3$  ને  $Na_3AlF_6$  અથવા  $CaF_2$  સાથે મિશ્ર કરવામાં આવે છે. જે મેટ્રિક્સ (matrix)નું ગલનબિંદુ નીચું લાવે છે અને વાહકતામાં વધારો કરે છે. પિગલિત મેટ્રિક્સ(matrix)નું વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવે



આકૃતિ 6.7 : એલ્યુમિનિયમના નિષ્કર્ષણ માટેનો વિદ્યુતવિભાજન કોષ

છે. કાર્બનનું પડ (lining) ચઢાવેલ સ્ટીલનું વાસણ કેથોડ તરીકે અને ગ્રેફાઈટ એનોડ તરીકે વપરાય છે. એકંદર પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે લખી શકાય.



આ પ્રક્રમ વિશાળ પાયા પર હોલ-હેરોલ્ટ

(Hall-Heroult) પદ્ધતિ તરીકે ઓળખાય છે.

આમ, પિગલિત દ્રવ્યનું વિદ્યુતવિભાજન કોષમાં કાર્બન વિદ્યુતધ્રુવો વાપરીને કરવામાં આવે છે. એનોડ પર ઉત્પન્ન થતો ઓક્સિજન એનાડના કાર્બન સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને CO અને  $CO_2$  નીપજે છે. આ પ્રમાણે દર એક કિલોગ્રામ એલ્યુમિનિયમની નીપજ માટે આશરે 0.5 કિલોગ્રામ

કાર્બન એનોડ બળી જાય છે. વિદ્યુતવિભાજનની પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે છે.



નિમ્ન કક્ષાની અચસ્ક અને ભંગારમાંથી કોપર

નિમ્નકક્ષાની અચસ્કમાંથી કોપર જલધાતુકર્મ વિધિ(hydrometallurgy)થી નિષ્કર્ષિત કરવામાં આવે છે. તેનું એસિડ અથવા બેક્ટેરિયાનો ઉપયોગ કરી નિક્ષાલન(leaching) કરવામાં આવે છે.  $Cu^{2+}$  આયન ધરાવતા દ્રાવણની લોખંડના ભંગાર અથવા  $H_2$  સાથે (સમીકરણ 6.40 : 6.46) પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે.

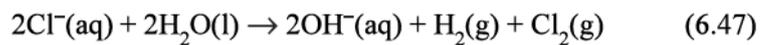


**કોયડો 6.4** એક જગ્યા પર નિમ્નકક્ષાની કોપર અચસ્ક પ્રાપ્ય છે અને ઝિંક અને આયર્નનો ભંગાર પણ પ્રાપ્ય છે. આ બંને ભંગારમાંથી કયો ભંગાર નિક્ષાલન કરેલી અચસ્કનું રિડક્શન કરવા માટે વધુ યોગ્ય હશે અને શા માટે ?

**ઉકેલ :** ઝિંક વિદ્યુતરાસાયણિક શ્રેણીમાં આયર્ન કરતાં ઉપર છે (વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુ ઝિંક છે) આથી ઝિંકના ભંગારમાં રિડક્શન વધારે ઝડપી થશે. પરંતુ ઝિંક આયર્ન કરતાં વધુ મોંઘી ધાતુ છે આથી આયર્નના ભંગારનો ઉપયોગ કરવો સલાહ ભરેલું છે અને ફાયદાકારક છે.

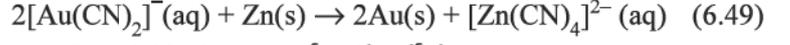
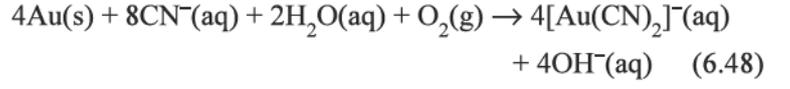
## 6.6 ઓક્સિડેશન - રિડક્શન (Oxidation-Reduction)

રિડક્શન ઉપરાંત કેટલાક નિષ્કર્ષણ ઓક્સિડેશન આધારિત છે ખાસ કરીને અધાતુઓ માટે છે. ઓક્સિડેશન પર આધારિત ખૂબ જ સામાન્ય ઉદાહરણ બ્રાઈન(ક્લોરિન દરિયાના પાણીમાં સામાન્ય ક્ષાર તરીકે પ્રચુર પ્રમાણમાં છે)માંથી ક્લોરિનનું નિષ્કર્ષણ છે.



આ પ્રક્રિયા માટે  $\Delta G^\ominus$ નું મૂલ્ય + 422 kJ છે. જ્યારે તેને  $E^\ominus$ માં ( $\Delta G^\ominus = -nFE^\ominus$ નો ઉપયોગ કરીને) ફેરવતાં આપણને  $E^\ominus = -2.2$  V મળે છે. એ સ્વાભાવિક છે કે 2.2 V કરતાં વધારે બાહ્ય ઈ.એમ.એફ.ની જરૂર પડશે. પરંતુ વિદ્યુતવિભાજનમાં કેટલીક બાધક (hindering) પ્રક્રિયાઓને પણ ઉપરવટ (overcome) થવા માટે વધુ પોટેન્શિયલની જરૂર પડે છે. આથી, વિદ્યુતવિભાજનનથી ક્લોરિન વાયુ મેળવાય છે અને  $H_2$  અને જલીય NaOH ઉપપેદાશો તરીકે મળે છે. પિગલિત NaClનું વિદ્યુતવિભાજન પણ કહી શકાય. પરંતુ, આ કિસ્સામાં Na ધાતુ મળશે અને નહિ કે NaOH.

અગાઉ શીખ્યા તે પ્રમાણે ગોલ્ડ અને સિલ્વરનું નિષ્કર્ષણ ધાતુના  $\text{CN}^-$  વડે નિકાલન(leaching)નો સમાવેશ કરે છે. આ પણ ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયા ( $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+$  અથવા  $\text{Au} \rightarrow \text{Au}^+$ ) છે. ધાતુને પાછળથી વિસ્થાપન (displacement) પદ્ધતિ વડે પુનઃ મેળવવામાં આવે છે.



આ પ્રક્રિયામાં ઝિંક રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે.

## 6.7 શુદ્ધીકરણ (પરિષ્કરણ) (Refining)

કોઈ પણ પદ્ધતિથી મેળવેલ ધાતુ સામાન્ય રીતે કેટલીક અશુદ્ધિથી સંદૂષિત (contaminated) હોય છે. ઊંચી શુદ્ધતાવાળી ધાતુઓ મેળવવા માટે કેટલીક પદ્ધતિઓ વપરાય છે, જે ધાતુઓ અને અશુદ્ધિઓના ગુણધર્મોમાં રહેલા જુદાપણા પર આધારિત હોય છે. તેમાંની કેટલીક નીચેની યાદીમાં આપેલ છે :

- |                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| (a) નિસ્યંદન           | (b) દ્રાવગલન (liquation)  |
| (c) વિદ્યુતવિભાજન      | (d) ઝોન શુદ્ધીકરણ         |
| (e) બાષ્પકલા શુદ્ધીકરણ | (f) કોમેટોગ્રાફિક પદ્ધતિઓ |

અહીંયા તેમને વિસ્તૃતતાથી વર્ણવેલ છે.

(a) નિસ્યંદન :

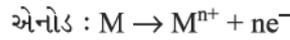
ઝિંક અને મરક્યુરી જેવી નીચા ઉત્કલનબિંદુ ધરાવતી ધાતુઓ માટે આ વધારે ઉપયોગી છે અશુદ્ધ ધાતુનું બાષ્પીભવન કરવામાં આવે છે જેથી નિસ્યંદિત (distillate) તરીકે ધાતુ મેળવાય છે.

(b) દ્રાવગલન :

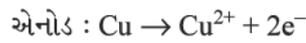
આ પદ્ધતિમાં ટિન જેવી નીચા તાપમાને ગલન પામતી ધાતુને ઢાળવાળી સપાટી પરથી વહેવડાવવામાં આવે છે. આ રીતે ઊંચા ગલનબિંદુવાળી અશુદ્ધિઓથી અલગ કરી શકાય છે.

(c) વિદ્યુતવિભાજનીય શુદ્ધીકરણ :

આ પદ્ધતિમાં અશુદ્ધ ધાતુ એનોડ તરીકે વર્તે છે. આ જ ધાતુની શુદ્ધ નાની પટ્ટીને કેથોડ તરીકે વાપરવામાં આવે છે. તેમને તે જ ધાતુના દ્રાવ્ય ક્ષાર ધરાવતા વિદ્યુતવિભાજ્ય પાત્ર(bath)માં મૂકવામાં આવે છે. વધુ બેઝિક ધાતુ દ્રાવણમાં રહી જાય છે અને ઓછી બેઝિક ધાતુ એનોડ પંક (mud) તરફ જાય છે. આ પ્રક્રમને વિદ્યુતધ્રુવના વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ, અધિવોલ્ટતા (overvoltage) અને ગિબ્સ-ઊર્જાના સંકલ્પનાના આધારે સમજાવી શકાય જેનો તમે અગાઉના વિભાગમાં અભ્યાસ કર્યો છે. પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે છે.



કોપરનું શુદ્ધીકરણ વિદ્યુતવિભાજનીય પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરીને કરવામાં આવે છે. એનોડ અશુદ્ધ કોપરના હોય છે શુદ્ધ કોપરની પટ્ટી કેથોડ તરીકે લેવામાં આવે છે. વિદ્યુતવિભાજ્ય કોપર સલ્ફેટનું એસિડિક દ્રાવણ હોય છે અને વિદ્યુત વિભાજનનું ચોખ્ખું (net) પરિણામ કોપરનું એનોડમાંથી કેથોડમાં શુદ્ધ કોપર તરીકે સ્થાનાંતરણ હોય છે.

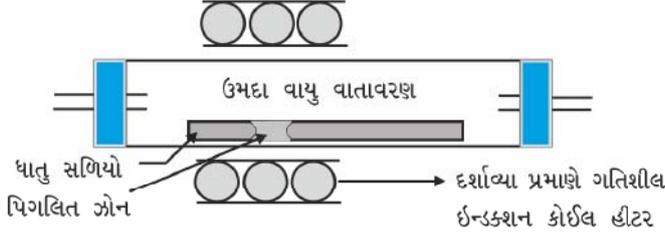


ફોલ્લાવાળા તાંબામાંથી અશુદ્ધિઓ એનોડ પંક તરીકે નિક્ષેપિત થાય છે જે એન્ટિમની, સેલેનિયમ, ટેલુરિયમ, સિલ્વર, ગોલ્ડ અને પ્લેટિનમ ધરાવે છે. આ તત્વોની પુનઃપ્રાપ્તિ (recovery) શુદ્ધીકરણની ક્રિમતને સરભર કરી શકે છે.

ઝિંક પણ આ જ પ્રમાણે શુદ્ધ કરી શકાય.

(d) ઝોન શુદ્ધીકરણ (રીફાઈનિંગ) :

આ પદ્ધતિ એ સિદ્ધાંત પર આધારિત છે કે અશુદ્ધિઓ ધાતુના ઘન સ્વરૂપને બદલે પીગળેલ(melt)માં વધુ દ્રાવ્ય હોય છે. અશુદ્ધ ધાતુના સળિયાના એક છેડે ફરતે ગતિશીલ (mobile) હીટરને જડવામાં આવે છે (fixed) (આકૃતિ 6.8).



આકૃતિ 6.8 : ઝોન શુદ્ધીકરણ (રીફાઈનિંગ) પ્રક્રમ

પિગલિત ઝોન હીટરની સાથે સાથે આગળ વધે છે. જેમ હીટર આગળ વધે તેમ પાછળ રહી ગયેલી પિગલિત ધાતુમાંથી શુદ્ધ ધાતુ સ્ફટિકીકરણ પામતી જાય છે તથા હીટરની હલનચલન વડે ઉત્પન્ન થયેલા નવા પિગલિત ઝોનમાં અશુદ્ધિઓ પસાર થતી જાય છે. આ પદ્ધતિ કેટલીક વખત પુનરાવર્તિત કરવામાં આવે છે અને હીટરને તે જ દિશામાં ખસેડવામાં આવે છે. એક છેડે અશુદ્ધિઓ સંકેન્દ્રિત થાય છે. આ છેડાને કાપી નાંખવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિ અર્ધવાહકો બનાવવામાં તથા અન્ય

ધાતુઓને વધુ ઊંચી શુદ્ધતાવાળી મેળવવામાં ઘણી જ ઉપયોગી છે. જેમ કે, જર્મેનિયમ, સિલિકોન, બોરોન, ગેલિયમ અને ઈન્ડિયમ.

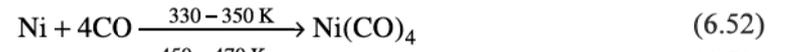
(e) બાષ્પકલા શુદ્ધીકરણ :

આ પદ્ધતિમાં ધાતુને તેના બાષ્પશીલ સંયોજનમાં પરિવર્તિત કરી એકઠી કરવામાં આવે છે, જેનું વિઘટન કરી શુદ્ધ ધાતુ મેળવી શકાય છે. આની બે જરૂરિયાતો નીચે પ્રમાણે છે.

- પ્રાપ્ય પ્રક્રિયક સાથે ધાતુએ બાષ્પશીલ સંયોજનનું નિર્માણ કરવું પડે છે.
- બાષ્પશીલ સંયોજન સહેલાઈથી વિઘટનીય હોવો જોઈએ જેથી પુનઃપ્રાપ્તિ સરળ બને.

નીચેના ઉદાહરણો આ તકનીકીને સમજાવશે.

નિકલના શુદ્ધીકરણ માટેનો મોન્ડ (Mond) પ્રક્રમ : આ પ્રક્રમમાં નિકલને કાર્બન મોનોક્સાઈડના પ્રવાહમાં ગરમ કરવામાં આવે છે જેથી બાષ્પશીલ સંકીર્ણ નિકલ ટેટ્રાકાર્બોનિલ બને છે. આ સંકીર્ણનું ઊંચા તાપમાને વિઘટન થતાં શુદ્ધ ધાતુ મેળે છે.



ઝિકોનિયમ અને ટાઈટેનિયમના શુદ્ધીકરણ માટેના વાન આર્કલ (van Arkel) પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિ Zr અને Ti જેવી કેટલીક ધાતુઓમાં અશુદ્ધિ સ્વરૂપ રહેલા બધા જ ઓક્સિજન અને નાઈટ્રોજનને દૂર કરવા માટે ઘણી ઉપયોગી છે અપરિષ્કૃત (crude) ધાતુને આયોડિન સાથે શૂન્યાવકાશ કરેલ પાત્રમાં ગરમ કરવામાં આવે છે. ધાતુ આયોડાઈડ વધુ સહસંયોજક હોવાથી બાષ્પિત થાય છે (volatilised).



ધાતુ આયોડાઈડને વિદ્યુતીય રીતે આશરે 1800 K તાપમાને ગરમ કરેલા ટંગસ્ટન તાર (filament) પર વિઘટિત કરવામાં આવે છે. આમ શુદ્ધ ધાતુ તે તાર પર નિક્ષેપિત થાય છે.



(f) કોમેટોગ્રાફિક પદ્ધતિઓ :

તમે ધોરણ XI (એકમ-12)માં પદાર્થોના શુદ્ધીકરણ માટેની કોમેટોગ્રાફિક પદ્ધતિઓ વિષે શીખ્યા છો. સ્તંભ કોમેટોગ્રાફી જે તત્ત્વો અલ્પ માત્રામાં પ્રાપ્ય હોય તેના માટે અને અશુદ્ધિઓ જે-તે તત્ત્વોના રાસાયણિક ગુણધર્મો સાથે વધુ જુદાપણુ ધરાવતી નથી તેના માટે વધુ ઉપયોગી છે.

## 6.8 ઍલ્યુમિનિયમ, કોપર, ઝિંક અને આયર્નના ઉપયોગો (Uses of Aluminium, Copper, Zinc and Iron)

ઍલ્યુમિનિયમના વરખ (foils) ખાદ્ય પદાર્થોના ઢાંકણ (wrapper) તરીકે વપરાય છે. ધાતુની ઝીણી રજ રંગો અને લેકરમાં વપરાય છે. ઍલ્યુમિનિયમ ખૂબ જ સક્રિય હોવાથી તેનો ઉપયોગ ક્રોમિયમ અને મેંગેનીઝ ધાતુઓને તેમના ઓક્સાઇડમાંથી મેળવવા માટે થાય છે. ઍલ્યુમિનિયમના તાર વિદ્યુતના વાહક તરીકે વપરાય છે. ઍલ્યુમિનિયમની મિશ્રધાતુઓ હલકી હોવાથી ઘણી જ ઉપયોગી છે.

કોપરનો ઉપયોગ વિદ્યુતીય ઉદ્યોગોમાં તાર બનાવવા માટે તથા પાણી અને વરાળ માટેની પાઇપ બનાવવા પણ થાય છે. તે કેટલીક તેની મિશ્રધાતુઓમાં વપરાય છે જે કોપર કરતાં વધુ મજબૂત હોય છે. જેમ કે, પિત્તળ (ઝિંક સાથે), બ્રોન્ઝ (ટિન સાથે) અને ચલણી સિક્કા (નિકલ સાથે).

ઝિંકનો ઉપયોગ આયર્ન પર જસતનો ઢોળ (galvanising) ચઢાવવા માટે થાય છે. તે મોટા પ્રમાણમાં બેટરીમાં વપરાય છે, કેટલીક મિશ્રધાતુઓમાં ઘટક તરીકે વપરાય છે. જેમ કે, પિત્તળ [Cu 60 %, Zn 40 %] અને જર્મન સિલ્વર [Cu 25-30 %, Zn 25-30 %, Ni 40-50 %] ઝિંકની રજ (dust), રંગકો, રંગો વગેરેના ઉત્પાદનમાં રિડક્શનકર્તા તરીકે વપરાય છે.

ભરતર લોખંડ જે આયર્નનું સૌથી વધુ ઉપયોગી સ્વરૂપ છે તેનો ઉપયોગ, સ્ટવ, રેલવેના સ્લીપર, ગટરની પાઇપ, રમકડાં વગેરેમાં થાય છે. તેનો ઘડતર લોખંડ અને સ્ટીલના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગ થાય છે. ઘડતર લોખંડનો ઉપયોગ લંગર, તાર, બોલ્ટ, સાંકળ અને કૃષિય સાધનોની બનાવટમાં થાય છે. સ્ટીલના ઘણા ઉપયોગ છે. તેમાં અન્ય ધાતુઓ ઉમેરવાથી સ્ટીલની મિશ્રધાતુ બને છે. નિકલ સ્ટીલનો ઉપયોગ કેબલ, ઓટોમોબાઇલ અને એરોપ્લેનના ભાગો, લોલક, માપન માટેની ટેપ (માપપટ્ટી) બનાવવામાં, કોમ સ્ટીલનો ઉપયોગ સાધનો કાપવા માટે અને દળવાના મશીન (કશર)માં અને સ્ટેનલેસ સ્ટીલનો ઉપયોગ સાઇકલ, ઓટોમોબાઇલ, વાસણો, પેન વગેરે બનાવવામાં થાય છે.

### સારાંશ

ઔદ્યોગિકક્રાંતિ પછી આધુનિક ધાતુકર્મવિધિની વૃદ્ધિ અનેક ગણી વધી છે, તેમ છતાં ધાતુકર્મવિધિમાં અનેક આધુનિક સંકલ્પનાઓના મૂળ ઔદ્યોગિકક્રાંતિ અગાઉના સમયની પ્રાચીન પદ્ધતિઓમાં રહેલા છે. 7000 વર્ષો કરતાં વધારે સમયથી ભારત ધાતુકર્મવિધિના કૌશલ્યોની ઉચ્ચ પ્રણાલી ધરાવે છે. પ્રાચીન ભારતીય ધાતુકર્મવિધિ જાણકારોએ આપેલા મુખ્ય ફાળાને કારણે તેઓનું નામ વિશ્વના ધાતુકર્મવિધિના ઇતિહાસમાં નોંધપાત્ર સ્થાન પામ્યું છે. ઝિંક અને ઉચ્ચ કાર્બન ધરાવતા સ્ટીલના કિસ્સામાં પ્રાચીન ભારતે આધુનિક ધાતુકર્મવિધિની પ્રગતિના પાયાના વિકાસમાં નોંધપાત્ર ફાળો આપ્યો છે જે ધાતુકર્મવિધિના અભ્યાસને ઔદ્યોગિકક્રાંતિ તરફ દોરી જાય છે.

અનેક હેતુઓ માટે ધાતુઓની જરૂર પડે છે. આ માટે, આપણને તેઓ જેમાં હાજર હોય તેવા અને તેમનું વ્યાપારિક ધોરણે સુગમ થઈ શકે તેમ હોય તેવા તેમના ખનીજોમાંથી તેમના નિષ્કર્ષણની જરૂર પડે છે. આ ખનીજો અયસ્ક (કાચી ધાતુ) તરીકે ઓળખાય છે. ધાતુઓની અયસ્ક ઘણી બધી અશુદ્ધિઓ સાથે જોડાયેલી હોય છે. આ અશુદ્ધિઓને અમુક અંશે દૂર કરવી તે સંકેન્દ્રણ તબક્કામાં મેળવાય છે. સંકેન્દ્રિત અયસ્ક પછી ધાતુ રાસાયણિક રીતે મેળવાય છે. સામાન્ય રીતે ધાતુ-સંયોજનો(જેમ કે, ઓક્સાઇડ, સલ્ફાઇડ)નું ધાતુમાં રિડક્શન કરવામાં આવે છે. રિડક્શનકર્તા તરીકે વપરાતાં પદાર્થોમાં કાર્બન, CO અથવા કેટલીક

ધાતુઓ પણ હોય છે. આ રિડક્શન પ્રક્રિયામાં, ઉષ્માગતિકીય અને વિદ્યુતરાસાયણિક સંકલ્પનાઓ(ખ્યાલો)ને યોગ્ય અગત્ય આપવામાં આવે છે. ધાતુ ઓક્સાઇડ રિડક્શનકર્તા સાથે પ્રક્રિયા કરે છે; ચોખ્ખી (net) ગિબ્સઊર્જા ફેરફાર ઋણ હોય છે, જે તાપમાન વધારતાં વધારે ઋણ બને છે. ઘનમાંથી પ્રવાહી અથવા વાયુમાં ભૌતિક અવસ્થાનું પરિવર્તન અને વાયુમય અવસ્થાની રચના સમગ્ર પ્રણાલીની ગિબ્સઊર્જામાં ઘટાડાની તરફેણ કરે છે. આ સંકલ્પનાને આલેખીય રીતે  $\Delta G^\theta$  વિરુદ્ધ Tના (એલિંગહામ આકૃતિ) જુદા જુદા તાપમાને આવી ઓક્સિડેશન / રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ માટે રજૂ કરવામાં આવે છે. વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલની સંકલ્પના ધાતુઓ (જેમ કે, Al, Ag, Au)ના અલગન માટે ઉપયોગી થાય છે. જ્યાં બે રેડોક્ષ યુગ્મોનો સરવાળો ઘન હોય છે જેથી ગિબ્સઊર્જા ઋણ હોય છે. સામાન્ય પદ્ધતિઓથી મેળવાયેલ ધાતુઓ હજુ પણ ગૌણ (minor) અશુદ્ધિઓ ધરાવે છે. શુદ્ધ ધાતુઓ મેળવવામાં શુદ્ધીકરણની જરૂર પડે છે. શુદ્ધીકરણ પ્રક્રિયા ધાતુ અને અશુદ્ધિના ગુણધર્મો વચ્ચેના ફેરફારો (વિચલન) પર આધાર રાખે છે. એલ્યુમિનિયમનું નિષ્કર્ષણ સામાન્ય રીતે તેની બોક્સાઇટ અયસ્કમાંથી NaOH વડે પ્રક્ષાલન દ્વારા કરવામાં આવે છે. આ રીતે બનાવાતો સોડિયમ એલ્યુમિનેટ અલગ કરવામાં આવે છે અને પછી તટસ્થીકરણ કરવામાં આવે છે જેથી જળયુક્ત ઓક્સાઇડ પાછો મળે છે. પછી તેનું કાયોલાઇટને અભિવાહ (flux) તરીકે વાપરીને વિદ્યુતવિભાજિત કરવામાં આવે છે. આયર્નનું નિષ્કર્ષણ તેના ઓક્સાઇડ અયસ્કનું વાતભટ્ટીમાં રિડક્શન દ્વારા કરવામાં આવે છે. કોપર પરાવર્તિની ભટ્ટીમાં પ્રગલન અને ગરમ કરીને નિષ્કર્ષિત કરવામાં આવે છે. ઝિંક ઓક્સાઇડમાંથી ઝિંકનું નિષ્કર્ષણ કોક વાપરીને કરવામાં આવે છે. ધાતુના શુદ્ધીકરણ માટે કેટલીક પદ્ધતિઓ વપરાય છે. ધાતુઓ સામાન્ય રીતે વધુ વિશાળ પ્રમાણમાં વપરાય છે અને તેણે અનેક પ્રકારના ઉદ્યોગોના વિકાસમાં સાર્થક રીતે ફાળો આપેલ છે.

નીચેના કોષ્ટકમાં કેટલીક ધાતુઓના પ્રાપ્તિસ્થાન અને નિષ્કર્ષણનો સારાંશ આપેલ છે.

ધાતુ	પ્રાપ્તિસ્થાન	નિષ્કર્ષણ માટે સામાન્ય પદ્ધતિ	નોંધ
એલ્યુમિનિયમ	1. બોક્સાઇટ ( $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ ) 2. કાયોલાઇટ ( $Na_3AlF_6$ )	પિગલિત $Na_3AlF_6$ માં દ્રાવ્ય કરેલ $Al_2O_3$ નું વિદ્યુતવિભાજન	નિષ્કર્ષણ માટે વિદ્યુતનો સારો સ્રોત જરૂરી છે.
આયર્ન	1. હેમેટાઇટ ( $Fe_2O_3$ ) 2. મેગ્નેટાઇટ ( $Fe_3O_4$ )	વાતભટ્ટીમાં CO અને કોક સાથે ઓક્સાઇડનું રિડક્શન	2170 K જેટલું તાપમાન જરૂરી છે.
કોપર	1. કોપર, પાયરાઇટસ ( $CuFeS_2$ ) 2. કોપર ગ્લાન્સ ( $Cu_2S$ ) 3. મેલેકાઇટ $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ 4. ક્યુપ્રાઇટ ( $Cu_2O$ )	સલ્ફાઇડનું અંશત: ભૂંજન અને રિડક્શન	ખાસ બનાવેલા પરિવર્તકમાં તેનું સ્વયં-રિડક્શન સહેલાઈથી થાય છે. નિમ્ન કક્ષાની અયસ્કમાંથી જળ-ધાતુકર્મવિધિમાં સલ્ફ્યુરિક એસિડનો પ્રક્ષાલનમાં ઉપયોગ થાય છે.
ઝિંક	1. ઝિંક બ્લેન્ડ અથવા સ્ફાલેરાઇટ ( $ZnS$ ) 2. કેલેમાઇન ( $ZnCO_3$ ) 3. ઝિંકાઇટ ( $ZnO$ )	ભૂંજન અને ત્યારબાદ કોક સાથે રિડક્શન	ધાતુને વિભાગીય નિસ્સંદન દ્વારા શુદ્ધ કરી શકાય.

## સ્વાધ્યાય

- 6.1 કોપરનું જળધાતુકર્મવિધિથી નિષ્કર્ષણ કરી શકાય છે પણ ઝિંકનું નહિ. સમજાવો.
- 6.2 ફીણ પ્લવન પદ્ધતિમાં અવસાદક શું ભાગ ભજવે છે ?
- 6.3 રિડક્શન દ્વારા કોપરનું નિષ્કર્ષણ તેની ઓક્સાઇડ અયસ્કમાંથી કરતાં તેની પાયરાઇટ અયસ્કમાંથી કરવું વધારે મુશ્કેલ શા માટે છે ?
- 6.4 સમજાવો : (i) ઝોન શુદ્ધીકરણ (રિફાઇનિંગ) (ii) સ્તંભ કોમેટોગ્રાફી
- 6.5 673 K તાપમાને C અને COમાંથી કયો સારો રિડક્શનકર્તા છે ?
- 6.6 કોપરના વિદ્યુતવિભાજન શુદ્ધીકરણમાં મળતા એનોડ પંકમાં હાજર રહેલા સામાન્ય તત્ત્વોના નામ લખો. તે શા માટે તે પ્રમાણે હાજર હોય છે ?
- 6.7 આયર્નના નિષ્કર્ષણ દરમિયાન વાત ભઠ્ઠીમાંના જુદા જુદા ઝોનમાં થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ લખો.
- 6.8 ઝિંક બ્લેન્ડમાંથી ઝિંકના નિષ્કર્ષણમાં થતી પ્રક્રિયાઓના રાસાયણિક સમીકરણ લખો.
- 6.9 કોપરની ધાતુકર્મવિધિમાં સિલિકા શો ભાગ ભજવે છે ?
- 6.10 જો તત્ત્વ ખૂબજ ઓછા જથ્થામાં પ્રાપ્ય હોય તો તેના શુદ્ધીકરણ માટે કઈ પદ્ધતિ વધુ યોગ્ય રહેશે ?
- 6.11 જો કોઈ તત્ત્વમાં તેના રાસાયણિક ગુણધર્મો સાથે વધુ સામ્યતા ધરાવતા રાસાયણિક ગુણધર્મોવાળી અશુદ્ધિઓ હાજર હોય તો તે તત્ત્વના શુદ્ધીકરણ માટે તમે કઈ પદ્ધતિ સૂચવશો ?
- 6.12 નિકલના શુદ્ધીકરણની પદ્ધતિનું વર્ણન કરો.
- 6.13 સિલિકા સાથે સંલગ્ન બોક્સાઇટ અયસ્કમાંની સિલિકામાંથી એલ્યુમિનાને કેવી રીતે અલગ કરશો ?
- 6.14 ઉદાહરણ આપી 'ભૂજન' અને 'નિસ્તાપન' વચ્ચે ભેદ દર્શાવો.
- 6.15 ભરતર લોખંડ, કાયું લોખંડ (pig iron)થી કેવી રીતે અલગ પડે છે ?
- 6.16 'ખનીજ' અને 'અયસ્ક' વચ્ચે ભેદ દર્શાવો.
- 6.17 કોપર મેટ્ટેને શા માટે સિલિકાના સ્તરવાળા, પરિવર્તકમાં મૂકવામાં આવે છે ?
- 6.18 એલ્યુમિનિયમની ધાતુકર્મવિધિમાં કાયોલાઇટ શું ભાગ ભજવે છે ?
- 6.19 નિમ્ન કક્ષાની કોપર અયસ્કની બાબતમાં કેવી રીતે નિક્ષાલન કરવામાં આવે છે ?
- 6.20 COનો ઉપયોગ કરીને ઝિંક ઓક્સાઇડનું રિડક્શન કરીને ઝિંક ઓક્સાઇડમાંથી ઝિંકનું નિષ્કર્ષણ શા માટે કરવામાં આવતું નથી ?
- 6.21  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ની  $\Delta_f G^\ominus$ નું મૂલ્ય  $-540 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે અને  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ની  $\Delta_f G^\ominus$ નું મૂલ્ય  $-827 \text{ kJ mol}^{-1}$  છે.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ નું Al સાથે રિડક્શન શક્ય છે ?
- 6.22 ZnO માટે C અને COમાંથી કયો વધારે સારો રિડક્શનકર્તા છે ?
- 6.23 કોઈ પણ વિશિષ્ટ બાબતમાં રિડક્શનકર્તાની પસંદગીનો આધાર ઉષ્માગતિકીય પરિબળ છે. આ નિવેદન સાથે તમે કેટલે અંશે સહમત છો ? તમારા જવાબને બે ઉદાહરણ સાથે આધારભૂત બનાવો.
- 6.24 જે પદ્ધતિમાં આડ પેદાશ (ઉપપેદાશ) તરીકે ક્લોરિન મેળવવામાં આવતો હોય તે પ્રક્રમ(પદ્ધતિ)નું નામ લખો. જો NaClના જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવે તો શું થશે ?
- 6.25 એલ્યુમિનિયમની ધાતુકર્મવિધિમાં ગ્રેફાઇટનાં સળિયા શું ભાગ ભજવે છે ?
- 6.26 નીચેની પદ્ધતિઓ વડે ધાતુઓના શુદ્ધીકરણમાંના સિદ્ધાંતોની રૂપરેખા આપો :  
(i) ઝોન શુદ્ધીકરણ (રિફાઇનિંગ) (ii) વિદ્યુતવિભાજ્ય શુદ્ધીકરણ (iii) બાષ્પકલા શુદ્ધીકરણ
- 6.27 જેમાં MgOનું Al રિડક્શન કરે તેવી અપેક્ષા માટે પરિસ્થિતિઓનું પ્રાક્ટિકન કરો (સૂચન : લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન 6.4 જુઓ)

## લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

- 6.1 અયસ્ક જેમાં ઘટકોમાંનો એક (અશુદ્ધિ અથવા ખરેખર અયસ્ક) ચુંબકીય છે, તેને સંકેન્દ્રિત કરી શકાય. ઉદાહરણ તરીકે આયર્ન ધરાવતી અયસ્ક (હેમેટાઈટ, મેગનેટાઈટ, સિડેરાઈટ અને આયર્ન પાયરાઈટસ).
- 6.2 નિશ્ચાલન અર્થસૂચક છે કારણ કે તે  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  વગેરે અશુદ્ધિઓને બોક્સાઈટ અયસ્કમાંથી દૂર કરવામાં મદદ કરે છે.
- 6.3 ઉષ્માગતિકીય રીતે સુગમ (feasible) પ્રક્રિયાઓમાં કેટલાક પ્રમાણમાં સક્રિયકરણ ઊર્જા આવશ્યક હોય છે. આથી જ ઉષ્માની જરૂર પડે છે.
- 6.4 હા, 1350 °Cથી નીચા તાપમાને Mg,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ નું રિડક્શન કરી શકે અને 1350 °Cથી ઊંચા તાપમાને Al, MgOનું રિડક્શન કરી શકે. આને માટેનું અનુમાન  $\Delta G^\ominus$  વિરુદ્ધ Tના આલેખ(આકૃતિ 6.4)માંથી કરી શકાય.

એકમ

# 7

## $p$ -વિભાગનાં તત્ત્વો (The $p$ -Block Elements)

### હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- સમૂહો 15, 16, 17 અને 18નાં તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનમાં સામાન્ય વલણોને બિરદાવી શકાશો.
- ડાયનાઈટ્રોજન, ફોસ્ફરસ સંયોજનો અને તેમના કેટલાક અગત્યના સંયોજનોની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો શીખી શકશો.
- ડાયઑક્સિજન અને ઓઝોનની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો તથા કેટલાક સાદા ઓક્સાઈડ સંયોજનોના રસાયણવિજ્ઞાનનું વર્ણન કરી શકશો.
- સલ્ફરના અપરરૂપો, તેના અગત્યના સંયોજનોનું રસાયણવિજ્ઞાન અને તેના ઓક્સોએસિડ સંયોજનોના બંધારણો જાણી શકશો.
- ક્લોરિન અને હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગોને વર્ણવી શકશો.
- આંતરહેલોજન સંયોજનોનું રસાયણવિજ્ઞાન અને હેલોજનના ઓક્સોએસિડ સંયોજનોના બંધારણોનું રસાયણવિજ્ઞાન જાણી શકશો.
- નિષ્ક્રિય વાયુઓના ઉપયોગો વર્ણવી શકશો.
- રોંજિદા જીવનમાં આ તત્ત્વો અને તેમના સંયોજનોના મહત્ત્વને બિરદાવી શકશો.

### 7.1 સમૂહ 15ના તત્ત્વો (Group 15 Elements)

#### 7.1.1 પ્રાપ્તિસ્થાન (Occurrence)

*“રસાયણવિજ્ઞાનમાં વિવિધતા  $p$ -વિભાગના તત્ત્વોની સ્પષ્ટ ઓળખ છે, જે તેમની પોતાની સાથે અને  $s$ -,  $d$ - અને  $f$ -વિભાગનાં તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા કરવાની ક્ષમતાથી સ્પષ્ટ થાય છે.”*

ધોરણ XIમાં તમે શીખી ગયો છો કે  $p$ -વિભાગનાં તત્ત્વોને આવર્તકોષ્ટકનાં સમૂહ 13થી 18માં મૂકવામાં આવ્યા છે. તેઓના સંયોજકતા કોષની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^{1-6}$  હોય છે (He સિવાય, તેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2$  હોય છે).  $p$ -વિભાગનાં તત્ત્વોના ગુણધર્મો, અન્ય તત્ત્વોની જેમ પરમાણ્વીયકદ, આયનીકરણ એન્ટાલ્પી, ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી અને વિદ્યુતઋણતા દ્વારા અસર પામે છે. બીજા આવર્તમાં  $d$ -કક્ષકોની ગેરહાજરી તથા ભારે તત્ત્વોમાં  $d$  અથવા  $d$  અને  $f$  કક્ષકોની (ત્રીજા આવર્તથી શરૂ કરીને તે પછીના) હાજરીની તત્ત્વોના ગુણધર્મો પર સાર્થક અસર પડે છે. વધુમાં, ત્રણ પ્રકારનાં તત્ત્વો-ધાતુઓ, અર્ધધાતુઓ અને અધાતુઓની હાજરી આ તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનમાં વિવિધતા લાવે છે.

ધોરણ XIમાં આવર્તકોષ્ટકમાં  $p$ -વિભાગના સમૂહો 13 અને 14ના તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનના અભ્યાસ કર્યા પછી આ એકમમાં તમે તે પછીના સમૂહોનાં તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનને શીખશો.

સમૂહ 15માં નાઈટ્રોજન, ફોસ્ફરસ, આર્સેનિક, એન્ટિમની, બિસ્મથ અને મોસ્કોવિયમ સમાવેશ થાય છે. જેમ સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જઈએ તેમ અધાત્વીય ગુણ, અર્ધધાત્વીયગુણ મારફતે ધાત્વીયગુણમાં ફેરવાય છે. નાઈટ્રોજન અને ફોસ્ફરસ અધાતુતત્ત્વો, આર્સેનિક અને એન્ટિમની અર્ધધાતુઓ, બિસ્મથ અને મોસ્કોવિયમ વિશિષ્ટ ધાતુ છે.

વાતાવરણમાં કદનાં 78 % ભાગમાં આણ્વીય નાઈટ્રોજન સમાયેલો હોય છે. પૃથ્વીના પોપડામાં તે સોડિયમ નાઈટ્રેટ,  $\text{NaNO}_3$  (જે ચિલી સોલ્ટપીટર કહેવાય છે) અને પોટેશિયમ નાઈટ્રેટ (ઇન્ડિયન સોલ્ટપીટર) તરીકે મળી આવે છે. વનસ્પતિઓ અને પ્રાણીઓમાં તે પ્રોટીન સ્વરૂપે મળી આવે છે.

ફોસ્ફરસ એપેટાઇટ વર્ગના ખનિજોમાં  $\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6 \cdot \text{CaX}_2$  ( $\text{X} = \text{F}, \text{Cl}$  અથવા  $\text{OH}$ ) (દા.ત., ફ્લોરએપેટાઇટ  $\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6 \cdot \text{CaF}_2$ ) મળી આવે છે, જે ફોસ્ફેટ ખડકોના મુખ્ય ઘટકો છે. ફોસ્ફરસ પ્રાણીજ અને વનસ્પતિજ પદાર્થોનો આવશ્યક ઘટક હોય છે. તે હાડકાંઓમાં અને અન્ય જીવંત કોષોમાં રહેલો હોય છે. ફોસ્ફોપ્રોટીન દૂધ અને ઈંડાંઓમાં રહેલું હોય છે. આર્સેનિક, એન્ટિમની અને બિસ્મથ મુખ્યત્વે સલ્ફાઇડ ખનિજ સ્વરૂપે મળી આવે છે. મોસ્કોવિયમ એક સાંશ્લેષિત રેડિયોસક્રિય તત્ત્વ છે. તેની સંજ્ઞા Mc, પરમાણ્વીય ક્રમાંક 115, પરમાણ્વીય દળ 289 અને ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $[\text{Rn}] 5f^{14}6d^{10}7s^27p^3$  છે. આ તત્ત્વનું રસાયણવિજ્ઞાન તેના ખૂબ ઓછા અર્ધઆયુષ્ય સમય અને ખૂબજ ઓછા જથ્થામાં તેની પ્રાપ્યતા હોવાના કારણે હજુ પ્રસ્થાપિત થઈ શક્યું નથી.

અહીં, મોસ્કોવિયમ તત્ત્વ સિવાયના આ સમૂહ તત્ત્વોના અગત્યના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો તેમની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સહિત કોષ્ટક 7.1માં દર્શાવેલા છે.

કોષ્ટક 7.1 : સમૂહ 15ના તત્ત્વોના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મો	N	P	As	Sb	Bi
પરમાણ્વીય ક્રમાંક	7	15	33	51	83
પરમાણ્વીયદળ/g mol <sup>-1</sup>	14.01	30.97	74.92	121.75	208.98
ઈલેક્ટ્રોનીય રચના	$[\text{He}]2s^22p^3$	$[\text{Ne}]3s^23p^3$	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^3$	$[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^3$	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^3$
આયનીકરણ એન્ટાલ્પી I	1402	1012	947	834	703
( $\Delta_1 H/kJmol^{-1}$ )	II	2856	1903	1798	1610
	III	4577	2910	2736	2466
વિદ્યુત્ત્વરણતા	3.0	2.1	2.0	1.9	1.9
સહસંયોજક ત્રિજ્યા/ pm <sup>a</sup>	70	110	121	141	148
આયનીય ત્રિજ્યા/ pm	171 <sup>b</sup>	212 <sup>b</sup>	222 <sup>b</sup>	76 <sup>c</sup>	103 <sup>c</sup>
ગલનબિંદુ / K	63 <sup>*</sup>	317 <sup>d</sup>	1089 <sup>e</sup>	904	544
ઉત્કલનબિંદુ / K	77.2 <sup>*</sup>	554 <sup>d</sup>	888 <sup>f</sup>	1860	1837
ઘનતા/[g cm <sup>-3</sup> (298 K)]	0.879 <sup>g</sup>	1.823	5.778 <sup>h</sup>	6.697	9.808

<sup>a</sup>  $E^{III}$  એકલબંધ ( $E =$  તત્ત્વ); <sup>b</sup>  $E^{3-}$ ; <sup>c</sup>  $E^{3+}$ ; <sup>d</sup> સફેદ ફોસ્ફરસ; <sup>e</sup> 38.6 atm પર રાખોડી  $\alpha$ -સ્વરૂપ; <sup>f</sup> ઊર્ધ્વતાપન તાપમાન; <sup>g</sup> 63 K તાપમાને; <sup>h</sup> રાખોડી  $\alpha$ -સ્વરૂપ \* આણ્વીય  $N_2$

આ સમૂહના કેટલાક પરમાણ્વીય, ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોના વલણોની ચર્ચા નીચે કરવામાં આવી છે.

### 7.1.2 ઈલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configuration)

આ તત્ત્વોના સંયોજકતા કોષની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2 np^3$  છે. આ તત્ત્વોમાં s-કક્ષક સંપૂર્ણ ભરાયેલી હોય છે અને p-કક્ષકો અડધી ભરાયેલી હોય છે, જે તેમની ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાને વધુ સ્થાયી બનાવે છે.

### 7.1.3 પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા (Atomic and Ionic Radii)

આ સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં સહસંયોજક અને આયનીય (કોઈ એક ચોક્કસ અવસ્થામાં) ત્રિજ્યાઓનાં કદમાં વધારો થાય છે. Nથી P તરફ જતા તેમની સહસંયોજક ત્રિજ્યામાં નોંધપાત્ર વધારો થાય છે. જોકે Asથી Bi સુધી સહસંયોજક ત્રિજ્યામાં બહુ ઓછો વધારો જોવા મળે છે, જે ભારે સભ્યોમાં સંપૂર્ણ ભરાયેલી d અને/અથવા f-કક્ષકોની હાજરીના કારણે છે.

### 7.1.4 આયનીકરણ એન્ટાલ્પી (Ionization Enthalpy)

સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં આયનીકરણ એન્ટાલ્પી પરમાણ્વીય કદમાં ક્રમિક વધારાના કારણે ઘટે છે. અર્ધભરાયેલી p-કક્ષકોની ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાની વિશેષ સ્થાયીતા અને નાના કદના કારણે સમૂહ 15ના તત્ત્વોની આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અનુવર્તી આવર્તોમાં રહેલા સમૂહ 14ના તત્ત્વોની આયનીકરણ એન્ટાલ્પી કરતાં વધુ હોય છે. આયનીકરણ એન્ટાલ્પીનો અપેક્ષિત ચઢતો ક્રમ  $\Delta_1 H_1 < \Delta_1 H_2 < \Delta_1 H_3$  છે (કોષ્ટક 7.1).

### 7.1.5 વિદ્યુતઋણતા (Electronegativity)

સામાન્ય રીતે સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા પરમાણ્વીય કદ વધવાની સાથે વિદ્યુતઋણતાનું મૂલ્ય ઘટે છે. જોકે ભારે તત્ત્વોમાં આ તફાવત બહુ નથી.

### 7.1.6 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

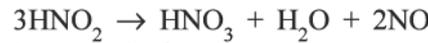
આ સમૂહના બધાં તત્ત્વો બહુપરમાણ્વીય છે. ડાયનાઈટ્રોજન દ્વિ-પરમાણ્વીય વાયુ છે જ્યારે અન્ય બધા ઘન છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જઈએ તેમ ધાત્વીય ગુણ વધે છે. નાઈટ્રોજન અને ફોસ્ફરસ અધાતુઓ, આર્સેનિક અને એન્ટિમની અર્ધધાતુઓ અને બિસ્મથ ધાતુ છે. આનું કારણ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીમાં ઘટાડો અને પરમાણ્વીય કદમાં વધારો છે. સામાન્ય રીતે સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં ઉત્કલનબિંદુમાં વધારો થાય છે પરંતુ ગલનબિંદુ આર્સેનિક સુધી વધે છે અને તે પછી બિસ્મથ સુધી ઘટે છે. નાઈટ્રોજન સિવાય બધાં તત્ત્વો અપરરૂપતા દર્શાવે છે.

### 7.1.7 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties)

*ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ અને રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વલણો*

આ તત્ત્વોની સામાન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ -3, +3 અને +5 છે. કદ અને ધાત્વીય લક્ષણ વધવાને કારણે સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં -3 ઓક્સિડેશન અવસ્થા પ્રદર્શિત કરવાની વૃત્તિમાં ઘટાડો જોવા મળે છે. વાસ્તવમાં આ સમૂહનો છેલ્લો સભ્ય બિસ્મથ ભાગ્યે જ -3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળું કોઈ સંયોજન બનાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતા ઘટે છે. Bi(V)નું એકમાત્ર અતિ લાક્ષણિક સંયોજન BiF<sub>5</sub> છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતા ઘટે છે અને +3 અવસ્થાની સ્થાયીતા વધે છે (નિષ્ક્રિયયુગ્મ અસરના કારણે). જ્યારે નાઈટ્રોજન, ઓક્સિજન સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે નાઈટ્રોજન +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થા ઉપરાંત +1, +2, +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ પણ દર્શાવે છે. જો કે નાઈટ્રોજન તત્ત્વ હેલોજન તત્ત્વો સાથે +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવતા સંયોજનો બનાવતું નથી. કારણ કે નાઈટ્રોજન પાસે બીજા તત્ત્વોના ઈલેક્ટ્રોનને સમાવીને બંધ બનાવવા માટે *d*-કક્ષકો હોતી નથી. કેટલાક ઓક્સોએસિડ સંયોજનોમાં ફોસ્ફરસ પણ +1 અને +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે.

નાઈટ્રોજનના કિસ્સામાં, તેની +1થી +4 સુધીની બધી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની વૃત્તિ એસિડ દ્રાવણમાં વિષમપ્રમાણમાં હોય છે. દા.ત.,



તેવી જ રીતે ફોસ્ફરસની લગભગ બધી મધ્યવર્તી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ બેઈઝ અને એસિડ બંનેમાં +5 અને -3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં વિષમપ્રમાણમાં હોય છે. જોકે આર્સેનિક, એન્ટિમની અને બિસ્મથના કિસ્સામાં +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થા વિષમપ્રમાણના સાપેક્ષમાં બહુ વધારે સ્થાયી હોય છે.

નાઈટ્રોજનમાં માત્ર ચાર કક્ષકો (એક *s* અને ત્રણ *p*) જ બંધન માટે પ્રાપ્ય હોવાથી તેની મહત્તમ સહસંયોજકતા 4 સુધી મર્યાદિત હોય છે. ભારે તત્ત્વો તેમની બાહ્યતમકોશમાં ખાલી *d*-કક્ષકો ધરાવે છે કે જે બંધન (સહસંયોજકતા) માટે ઉપયોગી થઈ શકે છે અને તેથી તેમની સહસંયોજકતા વિસ્તરે છે જેમ કે PF<sub>6</sub> માં છે તેમ.

*નાઈટ્રોજનના અનિયમિત ગુણધર્મો*

નાઈટ્રોજન તત્ત્વ તેના નાના કદ, ઊંચી વિદ્યુતઋણતા, ઊંચી આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અને *d*-કક્ષકોની અપ્રાપ્યતાના કારણે આ સમૂહના અન્ય સભ્યોથી જુદું પડે છે. નાઈટ્રોજન તેની સાથે અને નાના કદ અને ઊંચી વિદ્યુતઋણતા ધરાવતા અન્ય તત્ત્વો (દા.ત., C, O) સાથે *pπ-pπ* બહુબંધો બનાવવાની અદ્વિતીય ક્ષમતા ધરાવે છે. આ સમૂહના ભારે તત્ત્વો *pπ-pπ* બંધો બનાવતા નથી કારણ કે તેમની પરમાણ્વીય કક્ષકો એટલી મોટી અને વિસરીત હોય છે કે જે અસરકારક સંમિશ્રણ કરી શકતા નથી. આમ, નાઈટ્રોજન તેના બે પરમાણુઓ વચ્ચે ત્રિબંધ (એક *s* અને બે *p*) ધરાવતા દ્વિ-પરમાણ્વીય અણુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. પરિણામે તેની બંધ એન્ટાલ્પી ઘણી ઊંચી (941.4 kJ mol<sup>-1</sup>) હોય છે. તેનાથી ઊલટું ફોસ્ફરસ, આર્સેનિક અને એન્ટિમની P-P; As-As અને Sb-Sb એકલબંધ બનાવે છે, જ્યારે બિસ્મથ તત્ત્વીય અવસ્થામાં ધાત્વીય બંધ બનાવે છે.

જોકે N-N એકલબંધ P-P એકલબંધ કરતા નબળો હોય છે, કારણ કે ટૂંકી બંધ લંબાઈને લીધે અબંધકારક ઈલેક્ટ્રોનનું આંતર ઈલેક્ટ્રોનીય અપાકર્ષણ વધે છે. પરિણામે નાઈટ્રોજનમાં કેટેનેશન વલણ નબળું હોય છે. નાઈટ્રોજનના રસાયણવિજ્ઞાનને અસર કરતું બીજું પરિબળ તેની સંયોજકતા કોષમાં *d*-કક્ષકોની ગેરહાજરી છે. વધુમાં તેની સહસંયોજકતા 4 સુધી જ મર્યાદિત હોવાથી નાઈટ્રોજન *dπ-pπ* બંધ બનાવી શકતો નથી જેવી રીતે ભારે તત્ત્વો બનાવે છે, દા.ત.,  $R_3P=O$  તથા  $R_3P=CH_2$  ( $R =$  આલ્કાઈલ સમૂહ). જ્યારે ફોસ્ફરસ અને આર્સેનિકના સંયોજનો જેવા કે  $P(C_2H_5)_3$  અને  $As(C_6H_5)_3$  લિગેન્ડ તરીકે વર્તે છે ત્યારે ફોસ્ફરસ અને આર્સેનિક, સંક્રાંતિ તત્ત્વો સાથે પણ *dπ-dπ* બંધ બનાવી શકે છે.

(i) હાઈડ્રોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : સમૂહ 15ના બધાં તત્ત્વો  $EH_3$  પ્રકારના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો બનાવે છે જ્યાં  $E = N, P, As, Sb$  અથવા  $Bi$ . આ હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોના કેટલાક ગુણધર્મો કોષ્ટક 7.2માં દર્શાવેલા છે. આ હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો તેમના ગુણધર્મોમાં નિયમિત ક્રમણ (gradation) દર્શાવે છે. હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોની સ્થાયીતા  $NH_3$  થી  $BiH_3$  તરફ ઘટતી જાય છે કે જેને બંધ વિયોજન એન્ટાલ્પી દ્વારા અવલોકી શકાય છે. પરિણામે હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોનું રિડક્શનકર્તા લક્ષણ વધે છે. બધા હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો પૈકી એમોનિયા એકમાત્ર મંદ રિડક્શનકર્તા છે જ્યારે  $BiH_3$  સૌથી વધુ પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે. બેઝિકતા પણ આ ક્રમમાં ઘટે છે  $NH_3 > PH_3 > AsH_3 > SbH_3 \geq BiH_3$ . નાઈટ્રોજનની ઊંચી વિદ્યુતઋણતા અને નાના કદના કારણે  $NH_3$  ધન તેમજ પ્રવાહી અવસ્થામાં હાઈડ્રોજન બંધ ધરાવે છે, આ કારણે  $NH_3$ નું ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ  $PH_3$  કરતાં ઊંચું હોય છે.

કોષ્ટક 7.2 : સમૂહ 15ના તત્ત્વોના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોના ગુણધર્મો

ગુણધર્મો	$NH_3$	$PH_3$	$AsH_3$	$SbH_3$	$BiH_3$
ગલનબિંદુ/K	195.2	139.5	156.7	185	-
ઉત્કલનબિંદુ/K	238.5	185.5	210.6	254.6	290
(E-H) અંતર/pm	101.7	141.9	151.9	170.7	-
HEH ખૂણો ( $^\circ$ )	107.8	93.6	91.8	91.3	-
$\Delta_f H^\circ / kJ mol^{-1}$	-46.1	13.4	66.4	145.1	278
$\Delta_{diss} H^\circ (E-H) / kJ mol^{-1}$	389	322	297	255	-

(ii) ઓક્સિજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : આ બધાં તત્ત્વો બે પ્રકારના ઓક્સાઈડ સંયોજનો :  $E_2O_3$  અને  $E_2O_5$  બનાવે છે. તત્ત્વની ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા ઓક્સાઈડ, નીચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા ઓક્સાઈડ કરતાં વધુ એસિડિક હોય છે. તેમનું એસિડિક લક્ષણ સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા ઘટે છે. નાઈટ્રોજન અને ફોસ્ફરસના  $E_2O_3$  પ્રકારના ઓક્સાઈડ સંયોજનો સંપૂર્ણપણે એસિડિક હોય છે, તે પૈકીના આર્સેનિક અને એન્ટિમનીના ઓક્સાઈડ સંયોજનો ઊભયધર્મી અને બિસ્મથના ઓક્સાઈડ સંયોજનો મુખ્યત્વે બેઝિક હોય છે.

(iii) હેલાઈડ સંયોજનો પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : આ તત્ત્વો હેલાઈડ સંયોજનોની બે શ્રેણીઓ  $EX_3$  અને  $EX_5$  બનાવવા માટે પ્રક્રિયા કરે છે. નાઈટ્રોજન તેની સંયોજકતા કોષમાં *d*-કક્ષકોની અપ્રાપ્યતાના કારણે પેન્ટાહેલાઈડ બનાવતા નથી. પેન્ટાહેલાઈડ સંયોજનો ટ્રાયહેલાઈડ સંયોજનો કરતાં વધુ સહસંયોજક હોય છે. આમ થવાનું કારણ પેન્ટાહેલાઈડ સંયોજનોમાં +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થા હોય છે, જ્યારે ટ્રાયહેલાઈડ સંયોજનોમાં +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થા હોય છે. જો કે +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવતા તત્ત્વો કરતા +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થા

ધરાવતા તત્વોની ધ્રુવશક્તિ વધુ હોય છે. તેથી પેન્ટાહેલાઈડ સંયોજનોમાં સહસંયોજક લક્ષણ વધુ હોય છે. નાઈટ્રોજન સિવાયનાં આ તત્વોના બધા ટ્રાયહેલાઈડ સંયોજનો સ્થાયી હોય છે. નાઈટ્રોજનના કિસ્સામાં માત્ર  $\text{NF}_3$  સ્થાયી હોય છે.  $\text{BiF}_3$  સિવાયના ટ્રાયહેલાઈડ સંયોજનો મુખ્યત્વે સહસંયોજક સ્વભાવના હોય છે.

(iv) ધાતુઓ પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : આ બધાં તત્વો ધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરીને તેમના -3 ઓક્સિડેશન આંક દર્શાવતા દ્વિ-અંગી સંયોજનો જેવા કે  $\text{Ca}_3\text{N}_2$  (કેલ્શિયમ નાઈટ્રાઈડ),  $\text{Ca}_3\text{P}_2$  (કેલ્શિયમ ફોસ્ફાઈડ),  $\text{Na}_3\text{As}$  (સોડિયમ આર્સેનાઈડ),  $\text{Zn}_3\text{Sb}_2$  (ઝિંક એન્ટિમોનાઈડ) અને  $\text{Mg}_3\text{Bi}_2$  (મેગ્નેશિયમ બિસ્મથાઈડ) બનાવે છે.

### કોયડો 7.1

નાઈટ્રોજન +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે તેમ છતાં તે પેન્ટાહેલાઈડ સંયોજન બનાવતો નથી. કારણ જણાવો.

### ઉકેલ :

નાઈટ્રોજનમાં  $n = 2$  છે, જેમાં માત્ર  $s$  અને  $p$  કક્ષકો જ હોય છે. નાઈટ્રોજન પાસે તેની ચાર સહસંયોજકતાના વધુ વિસ્તાર માટે  $d$  કક્ષકો નથી, તેથી તે પેન્ટાહેલાઈડ સંયોજનો બનાવી શકતો નથી.

### કોયડો 7.2

$\text{PH}_3$ નું ઉત્કલનબિંદુ  $\text{NH}_3$ ના ઉત્કલનબિંદુ કરતા નીચું હોય છે. શા માટે ?

### ઉકેલ :

$\text{NH}_3$ ની જેમ  $\text{PH}_3$  અણુઓ પ્રવાહી અવસ્થામાં હાઈડ્રોજન બંધ દ્વારા જોડાયેલા હોતા નથી. તેથી  $\text{PH}_3$ નું ઉત્કલનબિંદુ  $\text{NH}_3$ ના ઉત્કલનબિંદુ કરતા નીચું હોય છે.

## લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

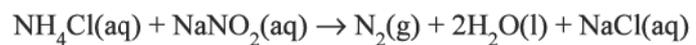
7.1 ટ્રાયહેલાઈડ સંયોજનો કરતાં પેન્ટાહેલાઈડ સંયોજનો શા માટે વધુ સહસંયોજક છે ?

7.2 સમૂહ 15ના તત્વોના બધા હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો પૈકી  $\text{BiH}_3$  શા માટે સૌથી વધુ પ્રબળ રિડકશનકર્તા છે ?

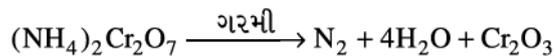
## 7.2 ડાયનાઈટ્રોજન બનાવટ (Dinitrogen)

ડાયનાઈટ્રોજનનું વ્યાપારિક ઉત્પાદન હવાના પ્રવાહીકરણ અને વિભાગીય નિસ્સંદન દ્વારા થાય છે. પ્રથમ ડાયનાઈટ્રોજન (ઉ.બિ. 77.2 K) નિસ્સંદિત થાય છે અને પ્રવાહી ઓક્સિજન (ઉ.બિ. 90 K) બાકી રહે છે.

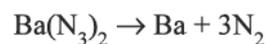
પ્રયોગશાળામાં એમોનિયમ ક્લોરાઈડના જલીય દ્રાવણની સોડિયમ નાઈટ્રાઈટ સાથેની પ્રક્રિયાથી ડાયનાઈટ્રોજન બનાવવામાં આવે છે.



આ પ્રક્રિયા દરમિયાન થોડા પ્રમાણમાં  $\text{NO}$  અને  $\text{HNO}_3$  પણ બને છે; આ અશુદ્ધિઓને આ પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન થતા વાયુને પોટેશિયમ ડાયકોમેટ ધરાવતા જલીય સલ્ફ્યુરિક એસિડમાંથી પસાર કરીને દૂર કરી શકાય છે. એમોનિયમ ડાયકોમેટના ઉષ્મીય વિઘટન દ્વારા પણ ડાયનાઈટ્રોજન વાયુ બનાવી શકાય છે.



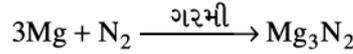
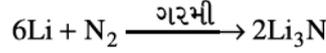
સોડિયમ અથવા બેરિયમ એઝાઈડના ઉષ્મીય વિઘટન દ્વારા અતિશુદ્ધ ડાયનાઈટ્રોજન વાયુ બનાવી શકાય છે.



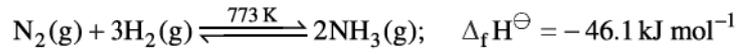
### ગુણધર્મો

ડાયનાઇટ્રોજન રંગવિહીન, વાસવિહીન, સ્વાદવિહીન અને બિનઝેરી વાયુ છે. નાઇટ્રોજન પરમાણુ બે સ્થાયી સમઘટકો :  $^{14}\text{N}$  અને  $^{15}\text{N}$  ધરાવે છે. તે પાણીમાં ઘણી ઓછી દ્રાવ્યતા (273 K તાપમાને અને 1 bar દબાણે 23.2 cm<sup>3</sup> પ્રતિ લિટર પાણી) તથા નીચા ઠારબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ ધરાવે છે (કોષ્ટક 7.1).

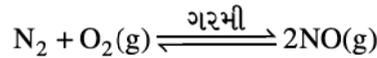
$\text{N}\equiv\text{N}$  બંધની ઊંચી બંધન એન્ટાલ્પીના કારણે ડાયનાઇટ્રોજન ઓરડાના તાપમાને વધુ નિષ્ક્રિય હોય છે. જોકે તાપમાન વધવાની સાથે પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં ઝડપી વધારો થાય છે. તે કેટલીક ધાતુઓ સાથે જોડાઈને મુખ્યત્વે આયનીય નાઇટ્રાઇડ સંયોજનો અને અધાતુઓ સાથે સહસંયોજક નાઇટ્રાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. કેટલીક વિશિષ્ટ પ્રક્રિયાઓ :



તે આશરે 773 K તાપમાને ઉદ્દીપકની હાજરીમાં (હેબર પ્રક્રમ) હાઇડ્રોજન સાથે સંયોજાઈને એમોનિયા બનાવે છે.



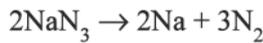
ડાયનાઇટ્રોજન માત્ર ઊંચા તાપમાને (આશરે 2000 K) ડાયઑક્સિજન સાથે સંયોજાઈને નાઇટ્રિક ઓક્સાઇડ, NO બનાવે છે.



**ઉપયોગો :** ડાયનાઇટ્રોજનનો મુખ્ય ઉપયોગ એમોનિયા અને નાઇટ્રોજન ધરાવતા અન્ય ઔદ્યોગિક રસાયણોના ઉત્પાદનમાં થાય છે (દા.ત., કેલ્શિયમ સાયનેમાઇડ). જ્યાં નિષ્ક્રિય વાતાવરણની જરૂરિયાત હોય ત્યાં પણ તેનો ઉપયોગ જોવા મળે છે (દા.ત., લોખંડ અને સ્ટીલ ઉદ્યોગમાં પ્રતિક્રિયાત્મક રસાયણો માટે નિષ્ક્રિય મંદક). પ્રવાહી ડાયનાઇટ્રોજનનો ઉપયોગ જૈવિક પદાર્થો અને ખાદ્યસામગ્રીની જાળવણી માટે પ્રશીતક તરીકે તથા કાયોસર્જરીમાં થાય છે.

**કોયડો 7.3** સોડિયમ એઝાઇડની ઉષ્મીય વિઘટન પ્રક્રિયા લખો.

**ઉકેલ :** સોડિયમ એઝાઇડની ઉષ્મીય વિઘટન પ્રક્રિયા ડાયનાઇટ્રોજન વાયુ આપે છે.



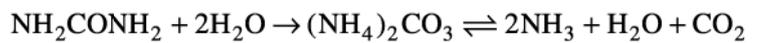
### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

7.3 ઓરડાના તાપમાને  $\text{N}_2$  શા માટે ઓછો પ્રતિક્રિયાત્મક છે ?

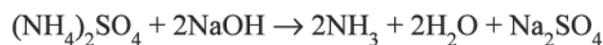
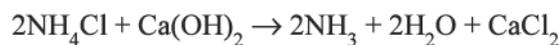
### 7.3 એમોનિયા (Ammonia)

#### બનાવટ

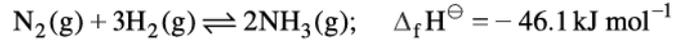
એમોનિયા હવા અને જમીનમાં ઓછી માત્રામાં રહેલો હોય છે, જ્યાં તે નાઇટ્રોજનયુક્ત કાર્બનિક પદાર્થના સડવાથી બને છે. દા.ત., યૂરિયા



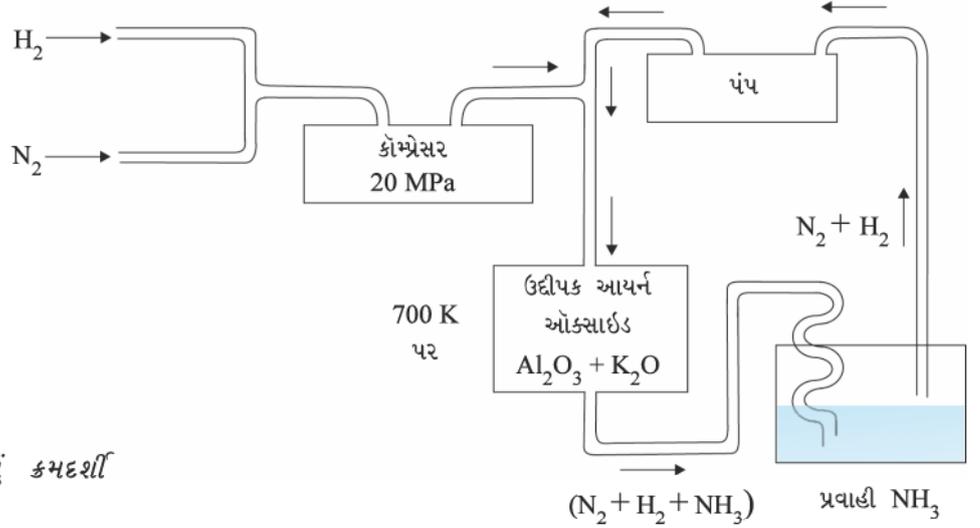
નાના પાયા પર એમોનિયા, એમોનિયમ ક્ષારોમાંથી મેળવાય છે, કે જેની જ્યારે કૉસ્ટિક સોડા અથવા કેલ્શિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે ત્યારે એમોનિયમ ક્ષાર વિઘટન પામે છે.



મોટા પાયા પર એમોનિયાને હેબર પ્રક્રમ (Haber's process) દ્વારા ઉત્પાદિત કરવામાં આવે છે.

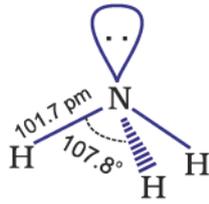


લ-શટેલિયરના સિદ્ધાંત મુજબ ઊંચું દબાણ એમોનિયાના નિર્માણની તરફેણ કરે છે. એમોનિયાના ઉત્પાદન માટે અનુકૂળતમ પરિસ્થિતિઓ  $200 \times 10^5 \text{ Pa}$  (આશરે 200 atm) દબાણ,  $\sim 700 \text{ K}$  તાપમાન અને થોડા પ્રમાણમાં  $\text{K}_2\text{O}$  અને  $\text{Al}_2\text{O}_3$  યુક્ત આયર્ન ઓક્સાઇડ જેવા ઉદ્દીપકનો ઉપયોગ છે, જેથી સંતુલન અવસ્થા પ્રાપ્ત કરવાનો વેગ વધારી શકાય છે. આકૃતિ 7.1માં એમોનિયા ઉત્પાદનનું ક્રમદર્શી રેખાચિત્ર દર્શાવેલ છે. અગાઉ આયર્ન ઉદ્દીપક તરીકે અને મોલિબ્ડેનમ પ્રવર્ધક (promotor) તરીકે ઉપયોગમાં લેવાતા હતા.



આકૃતિ 7.1 :

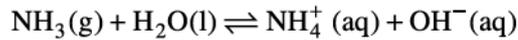
એમોનિયાના ઉત્પાદન માટેનું ક્રમદર્શી રેખાચિત્ર



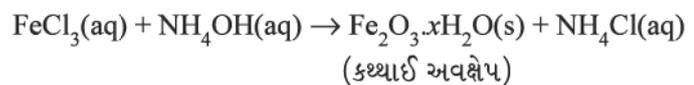
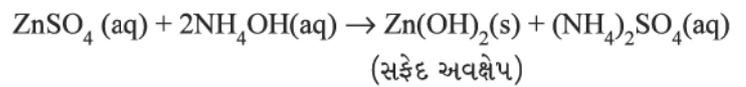
ગુણધર્મો

એમોનિયા તીવ્રવાસવાળો રંગવિહીન વાયુ છે. તેના ઠારબિંદુ (freezing point) અને ઉત્કલનબિંદુ (boiling point) અનુક્રમે  $198.4 \text{ K}$  અને  $239.7 \text{ K}$  છે. પાણીની જેમ ઘન અને પ્રવાહી અવસ્થાઓમાં તે હાઇડ્રોજન બંધ દ્વારા જોડાયેલા હોય છે, જેના કારણે તેના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુના મૂલ્યો તેના આણ્વીયદળના આધારે અપેક્ષિત મૂલ્યો કરતાં વધુ હોય છે. એમોનિયા અણુ ત્રિકોણીય પિરામિડલ છે જેના શીર્ષ પર નાઇટ્રોજન પરમાણુ હોય છે. બંધારણમાં દર્શાવ્યા મુજબ તે ત્રણ બંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મો અને એક અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ ધરાવે છે.

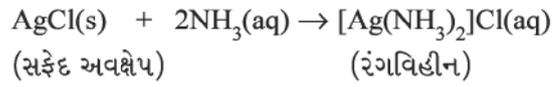
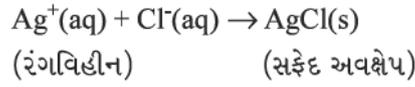
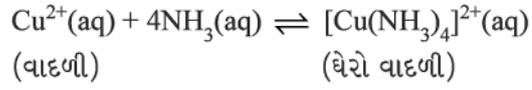
એમોનિયા વાયુ પાણીમાં વધુ દ્રાવ્ય હોય છે.  $\text{OH}^-$  આયનો બનવાને કારણે તેનું જલીય દ્રાવણ નિર્બળ બેઇઝ હોય છે.



તે એસિડ સાથે એમોનિયમ ક્ષાર બનાવે છે, દા.ત.,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  વગેરે. એક નિર્બળ બેઇઝ તરીકે તે ઘણી ધાતુઓના ક્ષારના દ્રાવણોમાંથી તેમના હાઇડ્રોક્સાઇડ સંયોજનોને (કેટલીક ધાતુઓના કિસ્સાઓમાં જળયુક્ત ઓક્સાઇડ સંયોજનો) અવક્ષેપિત કરે છે. ઉદાહરણ તરીકે,



એમોનિયા અણુના નાઈટ્રોજન પરમાણુ પર અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મની હાજરી તેને લુઈસ બેઈઝ બનાવે છે. તે ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મનું દાન કરે છે અને ધાતુઆયનો સાથે બંધ બનાવે છે. એવા સંકીર્ણ સંયોજનો બનાવાય છે કે જેનો અનુપ્રયોગ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{+}$  જેવા ધાતુઆયનોની પરખમાં થાય.



**ઉપયોગો :** એમોનિયાનો ઉપયોગ નાઈટ્રોજનયુક્ત જુદા જુદા ખાતરોના ઉત્પાદનમાં (એમોનિયમ નાઈટ્રેટ, યૂરિયા, એમોનિયમ ફોસ્ફેટ અને એમોનિયમ સલ્ફેટ) તથા નાઈટ્રોજનયુક્ત કેટલાક અકાર્બનિક સંયોજનોના ઉત્પાદનમાં થાય છે, જેમાં નાઈટ્રિક એસિડ સૌથી અગત્યનો છે. પ્રવાહી એમોનિયા પ્રશીતક તરીકે પણ ઉપયોગી થાય છે.

**કોયડો 7.4** શા માટે  $\text{NH}_3$  લુઈસ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે ?

**ઉકેલ :**  $\text{NH}_3$  પાસે નાઈટ્રોજન પરમાણુ પર એક અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મ દાન માટે પ્રાપ્ય હોય છે. તેથી તે લુઈસ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 7.4 એમોનિયાના મહત્તમ ઉત્પાદન માટે જરૂરી પરિસ્થિતિઓ દર્શાવો.
- 7.5  $\text{Cu}^{2+}$ ના દ્રાવણ સાથે એમોનિયા કેવી રીતે પ્રક્રિયા કરે છે ?

7.4 નાઈટ્રોજનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો (Oxides of Nitrogen) નાઈટ્રોજન જુદી જુદી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં અનેક ઓક્સાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. આ ઓક્સાઈડ સંયોજનોનાં નામ, સૂત્ર, બનાવટ અને ભૌતિક દેખાવ કોષ્ટક 7.3માં દર્શાવવામાં આવ્યા છે.

કોષ્ટક 7.3 : નાઈટ્રોજન ઓક્સાઈડ સંયોજનો

નામ	સૂત્ર	નાઈટ્રોજનની ઓક્સિડેશન અવસ્થા	બનાવટ માટેની સામાન્ય પદ્ધતિઓ	ભૌતિક દેખાવ અને રાસાયણિક સ્વભાવ
ડાયનાઈટ્રોજન ઓક્સાઈડ [નાઈટ્રોજન (I) ઓક્સાઈડ]	$\text{N}_2\text{O}$	+ 1	$\text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{\text{ગરમી}} \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$	રંગવિહીન વાયુ, તટસ્થ
નાઈટ્રોજન મોનોક્સાઈડ [નાઈટ્રોજન (II) ઓક્સાઈડ]	$\text{NO}$	+ 2	$2\text{NaNO}_2 + 2\text{FeSO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{NaHSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$	રંગવિહીન વાયુ, તટસ્થ

ડાયનાઇટ્રોજન ટ્રાયોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન (III) ઓક્સાઇડ]	$N_2O_3$	+ 3	$2NO + N_2O_4 \xrightarrow{250K} 2N_2O_3$	વાદળી રંગનો ઘન, એસિડિક
નાઇટ્રોજન ડાયોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન (IV) ઓક્સાઇડ]	$NO_2$	+ 4	$2Pb(NO_3)_2 \xrightarrow{673K} 4NO_2 + 2PbO + O_2$	કથ્થાઈ વાયુ, એસિડિક
ડાયનાઇટ્રોજન ટેટ્રોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન (IV) ઓક્સાઇડ]	$N_2O_4$	+ 4	$2NO_2 \xrightleftharpoons[ગરમી]{ઠંડક} N_2O_4$	રંગવિહીન ઘન / પ્રવાહી, એસિડિક
ડાયનાઇટ્રોજન પેન્ટોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન (V) ઓક્સાઇડ]	$N_2O_5$	+ 5	$4HNO_3 + P_4O_{10} \rightarrow 4HPO_3 + 2N_2O_5$	રંગવિહીન ઘન, એસિડિક

ઓક્સાઇડ સંયોજનોના લુઈસ બિંદુ નિરૂપિત સરખંદન બંધારણો અને બંધ પ્રાયલો કોષ્ટક 7.4માં દર્શાવવામાં આવ્યા છે.

કોષ્ટક 7.4 : નાઇટ્રોજનના ઓક્સાઇડ સંયોજનોના બંધારણો

સૂત્ર	સરખંદન બંધારણો	બંધ પ્રાયલો
$N_2O$	$\ddot{N}=\ddot{N}=\ddot{O} \leftrightarrow :N \equiv N - \ddot{O}:$	$N - N - O$ 113 pm 119 pm રેખીય
$NO$	$:N = \ddot{O} : \leftrightarrow : \ddot{N} = \ddot{O} :$	$N - O$ 115 pm
$N_2O_3$		 સમતલીય
$NO_2$		 કોણીય
$N_2O_4$		 સમતલીય
$N_2O_5$		 સમતલીય

**કોયડો 7.5** NO<sub>2</sub> શા માટે દ્વિઅણુ (dimer) બનાવે છે ?

**ઉકેલ :** NO<sub>2</sub> એકી સંયોજકતા ઈલેક્ટ્રોન સંખ્યા ધરાવે છે. તે વિશિષ્ટ વિષમ અણુ તરીકે વર્તે છે. ડાયમરાઇઝેશનથી તે બેકી સંખ્યામાં ઈલેક્ટ્રોન ધરાવતા સ્થાયી N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> અણુમાં રૂપાંતર પામે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

7.6 N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> માં નાઇટ્રોજનની સહસંયોજકતા કેટલી છે ?

### 7.5 નાઇટ્રિક એસિડ (Nitric Acid)

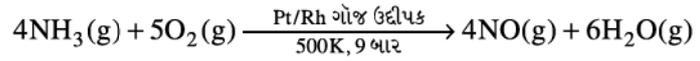
નાઇટ્રોજન H<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (હાઇપોનાઇટ્રસ એસિડ), HNO<sub>2</sub> (નાઇટ્રસ એસિડ) અને HNO<sub>3</sub> (નાઇટ્રિક એસિડ) જેવા ઓક્સોએસિડ સંયોજનો બનાવે છે. આ પૈકી HNO<sub>3</sub> સૌથી અગત્યનો છે.

#### બનાવટ

પ્રયોગશાળામાં કાચની વકનળીમાં KNO<sub>3</sub> અથવા NaNO<sub>3</sub> અને સાંદ્ર H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ને ગરમ કરીને નાઇટ્રિક એસિડ બનાવવામાં આવે છે.

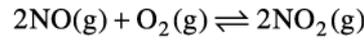


મોટા પાયે તેને મુખ્યત્વે ઓસ્વાલ્ડ પ્રક્રમ દ્વારા બનાવવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિ વાતાવરણીય ઓક્સિજન દ્વારા NH<sub>3</sub> ના ઉદ્દીપકીય ઓક્સિડેશન પર આધારિત હોય છે.

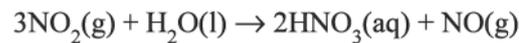


(હવામાંથી)

આ રીતે ઉત્પન્ન થયેલ નાઇટ્રિક ઓક્સાઇડ, ઓક્સિજન સાથે જોડાઈને NO<sub>2</sub> આપે છે.

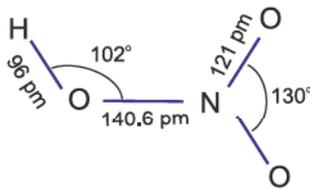


ઉત્પન્ન થયેલ નાઇટ્રોજન ડાયોક્સાઇડ પાણીમાં દ્રાવ્ય થઈને HNO<sub>3</sub> બનાવે છે.



ઉત્પન્ન થયેલ NO નું પુનઃચક્રણ (recycle) થાય છે અને જલીય HNO<sub>3</sub> ને નિસ્કંદન દ્વારા દળથી આશરે 68 % સુધી સાંદ્ર બનાવી શકાય છે. ત્યારબાદ સાંદ્ર H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> સાથે નિર્જળીકરણ દ્વારા તેને 98 % સુધી સાંદ્ર બનાવી શકાય છે.

#### ગુણધર્મો



નાઇટ્રિક એસિડ રંગવિહીન પ્રવાહી (ઠા.બિ. 231.4 K અને ઉ.બિ 355.6 K) છે. પ્રયોગશાળા કક્ષાનો નાઇટ્રિક એસિડ દળથી આશરે 68 % HNO<sub>3</sub> ધરાવે છે અને વિશિષ્ટ ઘનતા 1.504 ધરાવે છે.

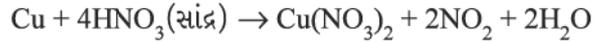
વાયુ અવસ્થામાં HNO<sub>3</sub>, બંધારણમાં દર્શાવ્યા મુજબ સમતલીય અણુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે.

જલીય દ્રાવણમાં નાઇટ્રિક એસિડ, હાઇડ્રોનિયમ અને નાઇટ્રેટ આયનો આપીને પ્રબળ એસિડ તરીકે વર્તે છે.

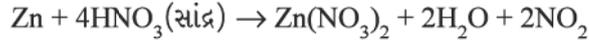


સાંદ્ર નાઇટ્રિક એસિડ પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે અને તે ગોલ્ડ અને પ્લેટિનમ જેવી ઉમદા ધાતુઓ સિવાયની મોટા ભાગની ધાતુઓ પર હુમલો કરે છે.

ઓક્સિડેશનની નીપજોનો આધાર એસિડની સાંદ્રતા, તાપમાન અને ઓક્સિડેશન પામનાર પદાર્થના સ્વભાવ પર રહેલો હોય છે.



ઝિંક મંદ નાઈટ્રિક એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરીને  $\text{N}_2\text{O}$  બનાવે છે અને સાંદ્ર એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરીને  $\text{NO}_2$  બનાવે છે.

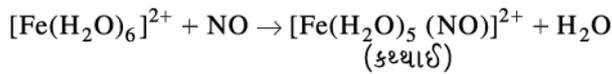
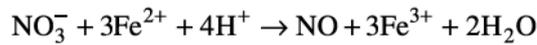


કેટલીક ધાતુઓ (દા.ત., Cr, Al) સાંદ્ર નાઈટ્રિક એસિડમાં દ્રાવ્ય થતી નથી કારણ કે તેમની સપાટી પર ઓક્સાઈડનું નિષ્ક્રિય આવરણ બની જાય છે.

સાંદ્ર નાઈટ્રિક એસિડ અધાતુઓ અને તેમના સંયોજનોનું પણ ઓક્સિડેશન કરે છે. આયોડિન આયોડિક એસિડમાં, કાર્બન કાર્બન ડાયોક્સાઈડમાં, સલ્ફર  $\text{H}_2\text{SO}_4$ માં અને ફોસ્ફરસ ફોસ્ફોરિક એસિડમાં ઓક્સિડેશન પામે છે.



કથ્થાઈ વલય કસોટી : નાઈટ્રેટ માટેની પ્રચલિત કથ્થાઈ વલય કસોટી નાઈટ્રેટનું નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડમાં રિડક્શન કરવાની  $\text{Fe}^{2+}$ ની ક્ષમતા પર આધારિત હોય છે, જે  $\text{Fe}^{2+}$  સાથે પ્રક્રિયા કરીને કથ્થાઈ રંગનું સંકીર્ણ બનાવે છે. આ કસોટી સામાન્ય રીતે નાઈટ્રેટ આયન ધરાવતા જલીય દ્રાવણમાં મંદ ફેરસ સલ્ફેટનું દ્રાવણ ઉમેર્યા બાદ તેમાં કસનળીની દીવાલને અડકાડીને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ ઉમેરીને કરવામાં આવે છે. દ્રાવણ અને સલ્ફ્યુરિક એસિડના સ્તરો વચ્ચે આંતરપૃષ્ઠ પર જોવા મળતું કથ્થાઈ વલય (brown ring) દ્રાવણમાં નાઈટ્રેટ આયનની હાજરી સૂચવે છે.

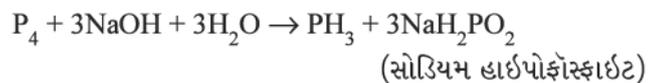


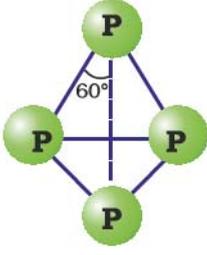
**ઉપયોગો :** નાઈટ્રિક એસિડનો મુખ્ય ઉપયોગ ખાતરો માટે એમોનિયમ નાઈટ્રેટ અને વિસ્ફોટકો તથા પાયરોટેકનિક્સમાં ઉપયોગી થતા અન્ય નાઈટ્રેટ સંયોજનોના ઉત્પાદનમાં થાય છે. તે નાઈટ્રોગ્લિસરીન, ટ્રાયનાઈટ્રોટોલ્યુઈન અને અન્ય કાર્બનિક નાઈટ્રો સંયોજનોની બનાવટમાં ઉપયોગી થાય છે. તેના અન્ય મુખ્ય ઉપયોગો સ્ટેનલેસ સ્ટીલના એસિડ ઉપચારમાં, ધાતુઓના નિક્ષારણમાં અને રોકેટ બળતણોમાં ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે છે.

## 7.6 ફોસ્ફરસ - અપરરૂપો (Phosphorus - Allotropic Forms)

ફોસ્ફરસ અનેક અપરરૂપોમાં મળી આવે છે, તે પૈકીના સફેદ, લાલ અને કાળા ફોસ્ફરસ અગત્યના છે.

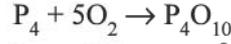
સફેદ ફોસ્ફરસ એક પારભાસક સફેદ મીણ જેવો ઘન પદાર્થ છે. તે ઝેરી, પાણીમાં અદ્રાવ્ય પણ કાર્બન ડાયસલ્ફાઈડમાં દ્રાવ્ય હોય છે તથા અંધારામાં દીપ્ત (glow) થાય છે (રાસાયણિક સંદીપ્તિ). તે નિષ્ક્રિય વાતાવરણમાં ઉકળતા  $\text{NaOH}$  દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય થઈને  $\text{PH}_3$  બનાવે છે.





આકૃતિ 7.2 : સફેદ ફોસ્ફરસ

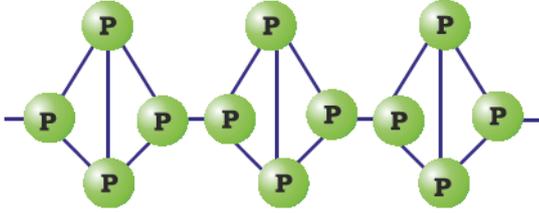
જ્યાં માત્ર 60° ખૂણાઓ છે તેવા P<sub>4</sub> અણુમાં કોણીય તાણના કારણે સફેદ ફોસ્ફરસ ઓછો સ્થાયી છે અને તેથી તે સામાન્ય પરિસ્થિતિઓમાં અન્ય ઘન અવસ્થાઓ કરતા વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક છે. તે હવામાં ઝડપથી આગ પકડીને P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> નો ઘટ્ટ સફેદ ધુમાડો ઉત્પન્ન કરે છે.



તે આકૃતિ 7.2માં દર્શાવ્યા મુજબ અનોખો સમચતુષ્ફલકીય P<sub>4</sub> અણુ ધરાવે છે.

સફેદ ફોસ્ફરસને કેટલાક દિવસો સુધી નિષ્ક્રિય વાતાવરણમાં 573 K તાપમાને ગરમ કરવાથી લાલ ફોસ્ફરસ મળે છે. જ્યારે લાલ ફોસ્ફરસને ઊંચા દબાણે ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે કાળા ફોસ્ફરસની અવસ્થાઓની શ્રેણીઓ બને છે. લાલ ફોસ્ફરસ લોખંડ જેવો રાખોડી ચળકાટ ધરાવે છે. તે વાસવિહીન, બિનઝેરી તથા પાણી અને કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડમાં અદ્રાવ્ય હોય છે. લાલ ફોસ્ફરસ રાસાયણિક રીતે સફેદ ફોસ્ફરસ કરતાં ઘણો ઓછો પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે. તે અંધારામાં દીપ્ત પામતો નથી.

તે પોલિમેરિક છે જેમાં આકૃતિ 7.3માં દર્શાવ્યા મુજબ સમચતુષ્ફલકીય P<sub>4</sub> અણુઓ એકબીજા સાથે જોડાઈને શૃંખલા સ્વરૂપે હોય છે.



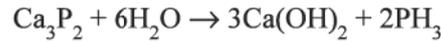
આકૃતિ 7.3 : લાલ ફોસ્ફરસ

કાળો ફોસ્ફરસ બે સ્વરૂપો - α - કાળો ફોસ્ફરસ અને β-કાળો ફોસ્ફરસ ધરાવે છે. જ્યારે બંધ નળીમાં લાલ ફોસ્ફરસને 803 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે α-કાળો ફોસ્ફરસ બને છે. તેને હવામાં ઊર્ધ્વપાતિત કરી શકાય છે તથા તેના સ્ફટિકો અપારદર્શક મોનોક્લિનિક (એકનતાક્ષ) અથવા રહોમ્બોહેદ્રલ (ત્રિસમનતાક્ષ) હોય છે. તે હવામાં ઓક્સિડેશન પામતા નથી. સફેદ ફોસ્ફરસને 473 K તાપમાને અને ઊંચા દબાણે ગરમ કરીને β-કાળો ફોસ્ફરસ બનાવવામાં આવે છે. તે હવામાં 673 K તાપમાન સુધી બળતો નથી.

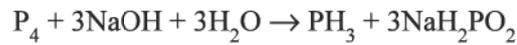
## 7.7 ફોસ્ફીન (Phosphine)

બનાવટ

કેલ્શિયમ ફોસ્ફાઇડની પાણી અથવા મંદ HCl સાથેની પ્રક્રિયાથી ફોસ્ફીન બનાવવામાં આવે છે.

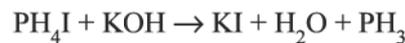


પ્રયોગશાળામાં CO<sub>2</sub>ના નિષ્ક્રિય વાતાવરણમાં સફેદ ફોસ્ફરસને સાંદ્ર NaOH સાથે ગરમ કરીને ફોસ્ફીન બનાવાય છે.



(સોડિયમ હાઇપોફોસ્ફાઇટ)

જ્યારે તે શુદ્ધ અવસ્થામાં હોય ત્યારે તે અજવલનશીલ હોય છે પરંતુ P<sub>2</sub>H<sub>4</sub> અથવા P<sub>4</sub> બાષ્પની હાજરીમાં તે જવલનશીલ બને છે. અશુદ્ધિઓમાંથી શુદ્ધ કરવા માટે તેને HIમાં અવશોષિત કરવામાં આવે છે, જેથી ફોસ્ફોનિયમ આયોડાઇડ (PH<sub>4</sub>I) બને છે જેની KOH સાથે પ્રક્રિયા કરવાથી ફોસ્ફીન બને છે.

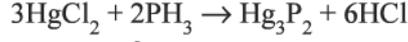
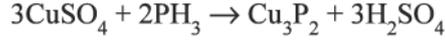


ગુણધર્મો

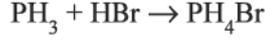
તે સડેલી માછલી જેવી વાસવાળો રંગવિહીન અને અતિઝેરી વાયુ છે. તે HNO<sub>3</sub>, Cl<sub>2</sub> અને Br<sub>2</sub> જેવા ઓક્સિડેશનકર્તાઓની બાષ્પની અલ્પમાત્રાના સંપર્કમાં આવવાથી વિસ્ફોટિત થાય છે.

તે પાણીમાં અલ્પપ્રમાણમાં દ્રાવ્ય હોય છે. PH<sub>3</sub>નું પાણીમાં દ્રાવણ પ્રકાશની હાજરીમાં લાલ ફોસ્ફરસ અને H<sub>2</sub> બનાવે છે. જ્યારે ફોસ્ફીનને કૉપર સલ્ફેટ અથવા

મરક્યુરિક ક્લોરાઇડ દ્રાવણમાં અવશોષવામાં આવે ત્યારે અનુવર્તી ફોસ્ફાઇડ સંયોજનો બને છે.



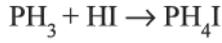
ફોસ્ફીન નિર્બળ બેઇઝ છે અને તે એમોનિયાની જેમ એસિડ સંયોજનો સાથે ફોસ્ફોનિયમ બનાવે છે દા.ત.,



**ઉપયોગો :** ફોસ્ફીનના સ્વયંસ્ફૂરિત દહનનો તકનિકી રીતે ઉપયોગ હોલ્મ સિગ્નલોમાં થાય છે. કેલ્શિયમ કાર્બાઇડ અને કેલ્શિયમ ફોસ્ફાઇડના પાત્રોને છિદ્રિત કરીને સમુદ્રમાં ફેંકવામાં આવે છે, જ્યારે તેમાંથી ઉત્પન્ન થતો વાયુ સળગે છે ત્યારે તે સિગ્નલ તરીકે કાર્ય કરે છે. તે ધૂમ્ર પડદા (smoke screens) તરીકે પણ ઉપયોગી થાય છે.

**કોયડો 7.6** કેવી રીતે સાબિત કરી શકાય કે  $\text{PH}_3$  સ્વભાવે બેઝિક છે ?

**ઉકેલ :**  $\text{PH}_3$ ,  $\text{HI}$  જેવા એસિડ સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરીને  $\text{PH}_4\text{I}$  બનાવે છે જે દર્શાવે છે કે તે સ્વભાવે બેઝિક છે.



ફોસ્ફરસ પરમાણુ પરના અબંધકારક ઈલેક્ટ્રોનયુગ્મના કારણે  $\text{PH}_3$  ઉપરની પ્રક્રિયામાં લુઇસ બેઇઝ તરીકે વર્તે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

7.7 (a)  $\text{PH}_3$  કરતાં  $\text{PH}_4^+$ માં બંધકોણ વધારે હોય છે. શા માટે ?

(b) જ્યારે  $\text{PH}_3$  એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે કઈ નીપજ મળે છે ?

7.8  $\text{CO}_2$ ના નિષ્ક્રિય વાતાવરણમાં સફેદ ફોસ્ફરસને સાંદ્ર  $\text{NaOH}$  સાથે ગરમ કરતા શું થાય છે ?

### 7.8 ફોસ્ફરસ હેલાઇડ સંયોજનો (Phosphorus Halides)

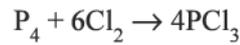
ફોસ્ફરસ બે પ્રકારના હેલાઇડ સંયોજનો  $-\text{PX}_3$  ( $X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ ) અને  $\text{PX}_5$  ( $X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}$ ) બનાવે છે.

#### 7.8.1 ફોસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ

(Phosphorus Trichloride)

બનાવટ

ગરમ કરેલા સફેદ ફોસ્ફરસ પર શુષ્ક ક્લોરિન પસાર કરવાથી ફોસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ મળે છે.

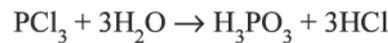


સફેદ ફોસ્ફરસ સાથેની થાયોનિલ ક્લોરાઇડની પ્રક્રિયાથી પણ ફોસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ મેળવી શકાય છે.

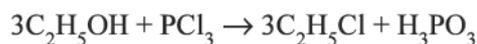
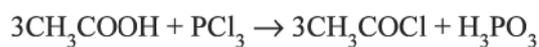


ગુણધર્મો

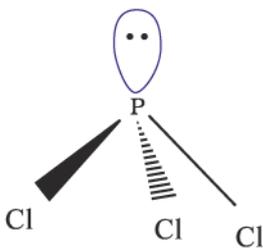
તે રંગવિહીન તૈલી પ્રવાહી છે અને ભેજની હાજરીમાં તે જળવિભાજન પામે છે.



તે  $-\text{OH}$  સમૂહ ધરાવતા કાર્બનિક સંયોજનો જેવા કે  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  સાથે પ્રક્રિયા કરે છે.



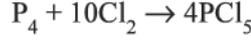
તે બંધારણમાં દર્શાવ્યા મુજબ પિરામિડલ આકાર ધરાવે છે, જેમાં ફોસ્ફરસ  $\text{sp}^3$  સંકૃત છે.



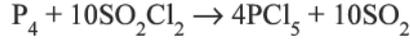
## 7.8.2 ફોસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ (Phosphorus Pentachloride)

બનાવટ

સફેદ ફોસ્ફરસની વધુ પડતા શુષ્ક ક્લોરિન સાથેની પ્રક્રિયા દ્વારા ફોસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ બનાવવામાં આવે છે.

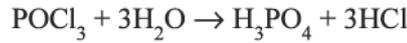
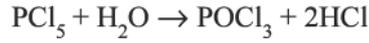


SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>ની ફોસ્ફરસ સાથેની પ્રક્રિયાથી પણ તે બનાવાય છે.

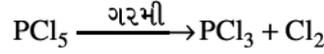


ગુણધર્મો

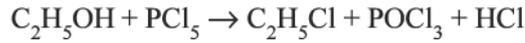
PCl<sub>5</sub> પીળાશ પડતો સફેદ પાઉડર છે અને ભેજવાળી હવામાં તે POCl<sub>3</sub>માં જળવિભાજન પામે છે અને અંતે ફોસ્ફોરિક એસિડમાં રૂપાંતર પામે છે.



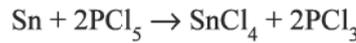
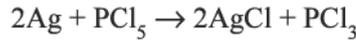
જ્યારે તેને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે ઉર્ધ્વપાતન પામે છે પરંતુ વધારે ગરમ કરવાથી તે વિઘટન પામે છે.



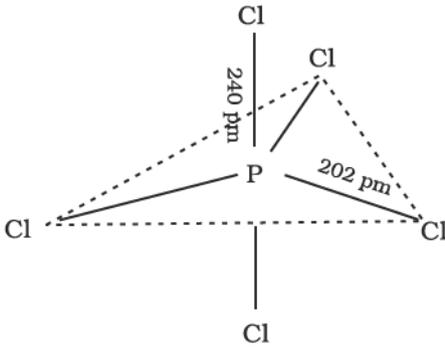
તે-OH સમૂહ ધરાવતા કાર્બનિક સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરી તેમને ક્લોરો વ્યુત્પન્નોમાં પરિવર્તિત કરે છે.



સૂક્ષ્મ વિભાજિત ધાતુઓને PCl<sub>5</sub> સાથે ગરમ કરવાથી અનુવર્તી ક્લોરાઇડ સંયોજનો બને છે.



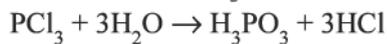
તે કેટલાક કાર્બનિક સંયોજનોના સંશ્લેષણમાં ઉપયોગી છે. દા.ત., C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl, CH<sub>3</sub>COCl.



વાયુમય અને પ્રવાહી અવસ્થામાં તે આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ બંધારણ ધરાવે છે. ત્રણ નિરક્ષીય (equatorial) P-Cl બંધો સમતુલ્ય હોય છે, જ્યારે બે અક્ષીય (axial) બંધો, નિરક્ષીય બંધો કરતા લાંબા હોય છે. આમ થવાનું કારણ એ છે કે નિરક્ષીય બંધ યુગ્મો કરતા અક્ષીય બંધ યુગ્મો વધુ અપાકર્ષણ અનુભવે છે.

**કોયડો 7.7** PCl<sub>3</sub> ભેજમાં શા માટે ધૂમ્ર ઉત્પન્ન કરે છે ?

**ઉકેલ :** ભેજની હાજરીમાં PCl<sub>3</sub> જળવિભાજન પામીને HClની ધૂમ્ર ઉત્પન્ન કરે છે.



**કોયડો 7.8** PCl<sub>5</sub> અણુમાંના બધા પાંચ બંધો સમતુલ્ય છે ? તમારા જવાબનું વાજબીપણુ જણાવો.

**ઉકેલ :** PCl<sub>5</sub> ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ બંધારણ ધરાવે છે, તેમાં ત્રણ નિરક્ષીય P-Cl બંધો સમતુલ્ય હોય છે, જ્યારે બે અક્ષીય બંધો જુદા જુદા હોય છે અને નિરક્ષીય બંધો કરતા લાંબા હોય છે.

## લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

7.9 જ્યારે  $\text{PCl}_5$  ને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે શું થાય છે ?

7.10 પાણીમાં  $\text{PCl}_5$  ની જળવિભાજનીય પ્રક્રિયા માટેનું સમતોલિત સમીકરણ લખો.

### 7.9 ફોસ્ફરસના ઓક્સોએસિડ સંયોજનો (Oxoacids of Phosphorus)

ફોસ્ફરસ અનેક ઓક્સોએસિડ સંયોજનો બનાવે છે. ફોસ્ફરસના કેટલાક ઓક્સોએસિડ સંયોજનોને તેમના સૂત્રો, બનાવટની પદ્ધતિઓ અને તેમના બંધારણોમાં રહેલા કેટલાક લાક્ષણિક બંધો સહિત કોષ્ટક 7.5માં દર્શાવવામાં આવ્યા છે.

કોષ્ટક 7.5 : ફોસ્ફરસના ઓક્સોએસિડ સંયોજનો

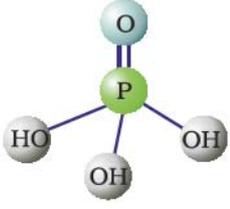
નામ	સૂત્ર	ફોસ્ફરસની ઓક્સિડેશન અવસ્થા	લાક્ષણિક બંધો અને તેમની સંખ્યા	બનાવટ
હાઇપોફોસ્ફરસ (ફોસ્ફિનિક)	$\text{H}_3\text{PO}_2$	+1	એક P - OH બે P - H એક P = O	સફેદ $\text{P}_4$ + આલ્કલી
ઓર્થોફોસ્ફરસ (ફોસ્ફોનિક)	$\text{H}_3\text{PO}_3$	+3	બે P - OH એક P - H એક P = O	$\text{P}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$
પાયરોફોસ્ફરસ	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_5$	+3	બે P - OH બે P - H બે P = O	$\text{PCl}_3 + \text{H}_3\text{PO}_3$
હાઇપોફોસ્ફોરિક	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6$	+4	ચાર P - OH બે P = O એક P - P	લાલ $\text{P}_4$ + આલ્કલી
ઓર્થોફોસ્ફોરિક	$\text{H}_3\text{PO}_4$	+5	ત્રણ P - OH એક P = O	$\text{P}_4\text{O}_{10} + \text{H}_2\text{O}$
પાયરોફોસ્ફોરિક	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$	+5	ચાર P - OH બે P = O એક P - O - P	ફોસ્ફોરિક એસિડને ગરમ કરવાથી
મેટાફોસ્ફોરિક*	$(\text{HPO}_3)_n$	+5	ત્રણ P - OH ત્રણ P = O ત્રણ P - O - P	ફોસ્ફરસ એસિડ + $\text{Br}_2$ ને બંધ નળીમાં ગરમ કરવાથી

\* માત્ર પોલિમેરિક સ્વરૂપમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે.  $(\text{HPO}_3)_3$  ના લાક્ષણિક બંધોને કોષ્ટકમાં દર્શાવેલા છે.

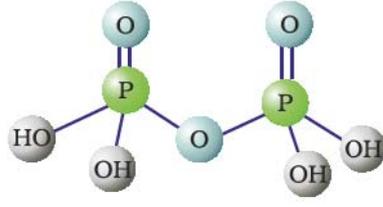
ઓક્સોએસિડ સંયોજનોના સંઘટન  $\text{H}_2\text{O}$  અણુ અથવા O પરમાણુના પ્રાપ્ત થવાના અથવા ગુમાવાના સંદર્ભે આંતરસંબંધિત હોય છે. કેટલાક અગત્યના ઓક્સોએસિડ સંયોજનોના બંધારણો નીચે દર્શાવ્યા છે.

ઓક્સોએસિડ સંયોજનોમાં ફોસ્ફરસ અન્ય પરમાણુઓ દ્વારા સમયતુષ્ફલકીય રીતે ઘેરાયેલો હોય છે. આ બધા એસિડ સંયોજનો ઓછામાં ઓછો એક P = O અને એક P - OH બંધ ધરાવે છે. એવા ઓક્સોએસિડ સંયોજનો કે જેમાં ફોસ્ફરસની નીચી ઓક્સિડેશન અવસ્થા (+5 કરતાં ઓછી) હોય છે તે P = O અને P - OH બંધો ઉપરાંત ક્યાં તો P - P (દા.ત.  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6$  માં) અથવા P - H (દા.ત.,  $\text{H}_3\text{PO}_2$  માં) બંધ ધરાવે છે, પરંતુ બંને બંધો ધરાવતા નથી. ફોસ્ફરસની +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા આ એસિડ સંયોજનોની વૃત્તિ ઊંચી અને નીચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં વિષમીકરણ પામવાની વૃત્તિ ધરાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે ઓર્થોફોસ્ફરસ એસિડ (અથવા ફોસ્ફરસ એસિડ)ને ગરમ કરવાથી તે વિષમીકરણ પામીને ઓર્થોફોસ્ફોરિક એસિડ (અથવા ફોસ્ફોરિક એસિડ) અને ફોસ્ફીન બનાવે છે.

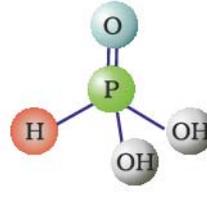




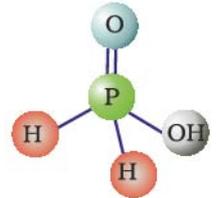
$H_3PO_4$   
ઓર્થોફોસ્ફોરિક એસિડ



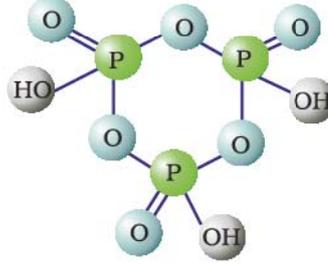
$H_4P_2O_7$   
પાયરોફોસ્ફોરિક એસિડ



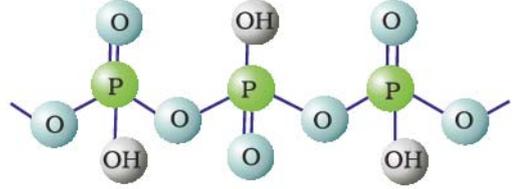
$H_3PO_3$   
ઓર્થોફોસ્ફરસ એસિડ



$H_3PO_2$   
હાઇપોફોસ્ફરસ એસિડ



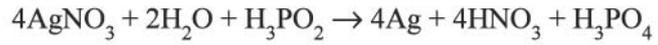
સાયક્લોટ્રાયમેટાફોસ્ફોરિક એસિડ  $(HPO_3)_3$



પોલિમેટાફોસ્ફોરિક એસિડ  $(HPO_3)_n$

આકૃતિ 7.4 : કેટલાક અગત્યના ઓક્સોએસિડ સંયોજનોના બંધારણો

જે એસિડ સંયોજનોમાં P - H બંધ હોય છે તે પ્રબળ રિડક્શનકર્તા ગુણધર્મો ધરાવે છે. આમ, હાઇપોફોસ્ફરસ એસિડ બે P - H બંધ ધરાવતો હોવાથી તે એક સારો રિડક્શનકર્તા છે. ઉદાહરણ તરીકે તે  $AgNO_3$  નું ધાત્વીય સિલ્વરમાં રિડક્શન કરે છે.



આ P-H બંધો આયનીકરણ પામીને  $H^+$  આપતા નથી તથા બેઝિકતામાં કોઈ ભૂમિકા ભજવતા નથી. માત્ર તે જ H પરમાણુ કે જે P-OH સ્વરૂપમાં ઓક્સિજન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા હોય તે આયનીકરણ પામી શકે છે અને બેઝિકતા ઉત્પન્ન કરે છે. આમ,  $H_3PO_3$  અને  $H_3PO_4$  અનુક્રમે દ્વિ-બેઝિક અને ત્રિ-બેઝિક છે કારણ કે  $H_3PO_3$  ના બંધારણમાં બે P-OH બંધો અને  $H_3PO_4$  માં ત્રણ P-OH બંધો હોય છે.

**કોયડો 7.9** તમે  $H_3PO_2$  ની સંરચનાના આધારે તેની રિડક્શનકર્તા વર્તણૂક કેવી રીતે સ્પષ્ટ કરી શકશો ?

**ઉકેલ :**  $H_3PO_2$  માં બે H પરમાણુઓ સીધા જ P પરમાણુ સાથે બંધથી જોડાયેલા હોય છે, જે આ એસિડને રિડક્શન લક્ષણ આપે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

7.11  $H_3PO_4$  ની બેઝિકતા કેટલી છે ?

7.12 જ્યારે  $H_3PO_3$  ને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે શું થાય છે ?

### 7.10 સમૂહ 16ના તત્ત્વો (Group 16 Elements)

આવર્તકોષ્ટકના સમૂહ 16માં ઓક્સિજન, સલ્ફર, સેલેનિયમ, ટેલુરિયમ, પોલોનિયમ અને લિવરમોરિયમ તત્ત્વોનો સમાવેશ થાય છે. કેટલીક વખત આ સમૂહ ચાલ્કોજન સમૂહ તરીકે ઓળખાય છે. આ નામ પિત્તળ માટે ગ્રીક ભાષાના શબ્દથી વ્યુત્પિત થયો છે તથા સલ્ફર અને તેના સમવંશીઓના (congeners) કોપર સાથેના જોડાણને દર્શાવે છે. મોટા ભાગની કોપર ખનીજોમાં ક્યાં તો ઓક્સિજન અથવા સલ્ફર અને મોટા ભાગે આ સમૂહના અન્ય સભ્યો હોય છે.

### 7.10.1 પ્રાપ્તિસ્થાન (Occurrence)

પૃથ્વી પર બધા તત્ત્વોમાં ઓક્સિજન સૌથી વધુ પ્રચુરતામાં પ્રાપ્ત થાય છે. પૃથ્વીના પોપડાના દળનો લગભગ 46.6 % ભાગ ઓક્સિજન દ્વારા બને છે. શુષ્ક હવામાં કદથી 20.946 % ઓક્સિજન રહેલો હોય છે.

જોકે પૃથ્વીના પોપડામાં સલ્ફરની પ્રચુરતા માત્ર 0.03 - 0.1 % હોય છે. સંયોજિત સ્વરૂપમાં સલ્ફર મુખ્યત્વે સલ્ફેટ સંયોજનો તરીકે જેવા કે જિપ્સમ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ઈપ્સમ સોલ્ટ  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , બેરાઈટ  $\text{BaSO}_4$  અને સલ્ફાઈડ સંયોજનો તરીકે જેવા કે ગેલિના  $\text{PbS}$ , ઝિંક બ્લેન્ડ  $\text{ZnS}$ , કોપર પાઈરાઈટ્સ  $\text{CuFeS}_2$  અસ્તિત્વ ધરાવે છે. જવાળામુખીમાં સલ્ફરની અલ્પમાત્રા હાઈડ્રોજન સલ્ફાઈડ સ્વરૂપે હોય છે. કાર્બનિક પદાર્થો જેવા કે ઈંડા, પ્રોટીન, લસણ, ડુંગળી, રાઈ, વાળ અને ઊંન સલ્ફર ધરાવે છે.

સલ્ફાઈડ ખનીજોમાં સેલેનિયમ અને ટેલુરિયમ પણ ધાતુ સેલેનાઈડ સંયોજનો અને ધાતુ ટેલુરાઈડ સંયોજનો તરીકે મળી આવે છે. કુદરતમાં થોરિયમ અને યુરેનિયમ ખનીજોની ક્ષયિત નીપજ તરીકે પોલોનિયમ મળી આવે છે. લિવરમોરિયમ એક સાંશ્લેષિત રેડિયોસક્રિયતત્ત્વ છે. તેની સંજ્ઞા Lv, પરમાણ્વીય ક્રમાંક 116, પરમાણ્વીય દળ 292 અને ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $[\text{Rn}] 5f^{14}6d^{10}7s^27p^4$  છે. તેનું ઉત્પાદન ખૂબજ ઓછા પ્રમાણમાં થાય છે અને તે ખૂબ ટૂંકો અર્ધઆયુષ્ય સમય (માત્ર એક સેકન્ડનો નાનો ભાગ) ધરાવે છે. આ બાબત Lvના ગુણધર્મોના અભ્યાસની મર્યાદા બાંધે છે.

અહીં, લિવરમોરિયમ સિવાયના સમૂહ 16ના તત્ત્વોના અગત્યના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો તેની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સહિત કોષ્ટક 7.6માં દર્શાવેલા છે. કેટલાક પરમાણ્વીય, ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો તથા તેમના વલણો નીચે ચર્ચવામાં આવ્યા છે.

કોષ્ટક 7.6 : સમૂહ 16ના તત્ત્વોના કેટલાક ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	O	S	Se	Te	Po
પરમાણ્વીય ક્રમાંક	8	16	34	52	84
પરમાણ્વીય દળ/g mol <sup>-1</sup>	16.00	32.06	78.96	127.60	210.00
ઈલેક્ટ્રોનીય રચના	$[\text{He}]2s^22p^4$	$[\text{Ne}]3s^23p^4$	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^4$	$[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^4$	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^4$
સહસંયોજક ત્રિજ્યા/(pm) <sup>a</sup>	66	104	117	137	146
આયનીય ત્રિજ્યા/E <sup>2-</sup> /pm	140	184	198	221	230 <sup>b</sup>
ઈલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી / $\Delta_{\text{eg}} \text{H kJ mol}^{-1}$	-141	-200	-195	-190	-174
આયનીકરણ એન્થાલ્પી ( $\Delta_1 \text{H}_1$ ) / kJ mol <sup>-1</sup>	1314	1000	941	869	813
વિદ્યુત્ત્વજ્ઞતા	3.50	2.58	2.55	2.01	1.76
ઘનતા/ g cm <sup>-3</sup> (298 K)	1.32 <sup>c</sup>	2.06 <sup>d</sup>	4.19 <sup>e</sup>	6.25	---
ગલનબિંદુ / K	55	393 <sup>f</sup>	490	725	520
ઉત્કલનબિંદુ / K	90	718	958	1260	1235
ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓ*	-2,-1,1,2	-2,2,4,6	-2,2,4,6	-2,2,4,6	2,4

<sup>a</sup> એકલબંધ; <sup>b</sup> અંદાજિત મૂલ્ય; <sup>c</sup> ગલનબિંદુએ; <sup>d</sup> રહ્યોમ્બિક સલ્ફર; <sup>e</sup> હેક્ઝાગોલન રાખોડી; <sup>f</sup> મોનોક્લિનિક સ્વરૂપ 673 K ; \* ઑક્સિજન ફ્લોરાઈડ સંયોજનો  $\text{OF}_2$  અને  $\text{O}_2\text{F}_2$  માં ઑક્સિજન અનુક્રમે +2 અને +1 ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે.

### 7.10.2 ઈલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configuration)

સમૂહ 16ના તત્ત્વોની બાહ્યતમ કોશમાં છ ઈલેક્ટ્રોન રહેલા હોય છે અને તેમની સામાન્ય ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^4$  છે.

### 7.10.3 પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા (Atomic and Ionic Radii)

સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં કોશની સંખ્યામાં વધારો થવાથી પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા વધે છે. જોકે અપવાદ રૂપે ઑક્સિજન પરમાણુનું કદ નાનું હોય છે.

#### 7.10.4 આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Ionisation Enthalpy)

સમૂહમાં નીચેની તરફ જતા આયનીકરણ એન્થાલ્પી ઘટે છે. તેનું કારણ કદમાં થતો વધારો છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વોની આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય, સમૂહ 15ના અનુવર્તી આવર્તનાં તત્ત્વોની સરખામણીમાં ઓછું હોય છે. આમ થવાનું કારણ સમૂહ 15ના તત્ત્વો અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી  $p$ -કક્ષકોવાળી વિશેષ સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવે છે.

#### 7.10.5 ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી (Electron Gain Enthalpy)

ઑક્સિજનની સુબદ્ર (compact) સ્વભાવના કારણે તેની ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી સલ્ફર કરતાં ઓછી ઋણ હોય છે. જોકે સલ્ફરથી પોલોનિયમ સુધી ફરીથી તેના મૂલ્યો ઓછા ઋણ થતા જાય છે.

#### 7.10.6 વિદ્યુતઋણતા (Electronegativity)

બધાં તત્ત્વોમાં ફ્લોરિન તત્ત્વ પછી ઑક્સિજન તત્ત્વની વિદ્યુતઋણતા સૌથી વધુ છે. સમૂહમાં પરમાણ્વીય ક્રમાંક વધવાની સાથે વિદ્યુતઋણતામાં ઘટાડો થતો જાય છે. આ દર્શાવે છે કે ઑક્સિજનથી પોલોનિયમ સુધી ધાત્વીય લક્ષણ વધે છે.

#### કોયડો 7.10

સામાન્ય રીતે સમૂહ 16ના તત્ત્વોની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય, સમૂહ 15ના અનુવર્તી આવર્તોનાં તત્ત્વોની સરખામણીમાં ઓછું હોય છે. શા માટે ?

#### ઉકેલ :

સમૂહ 15ના તત્ત્વોની અર્ધભરાયેલ  $p$ -કક્ષકોની વિશેષ સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાના કારણે સમૂહ 16ના તત્ત્વોની સરખામણીમાં તેમાંથી ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવા માટે બહુ વધુ પ્રમાણમાં ઊર્જાની જરૂર પડે છે.

#### 7.10.7 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

સમૂહ 16ના તત્ત્વોના કેટલાક ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 7.6માં દર્શાવેલા છે. ઑક્સિજન અને સલ્ફર અધાતુઓ, સેલેનિયમ અને ટેલુરિયમ અર્ધધાતુઓ, જ્યારે પોલોનિયમ ધાતુ છે. પોલોનિયમ રેડિયોસક્રિય છે અને ટૂંકુ આયુષ્ય ધરાવે છે (અર્ધઆયુષ્ય 13.8 દિવસ). આ બધાં તત્ત્વો અપરરૂપતા દર્શાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા પરમાણ્વીય ક્રમાંક વધવાની સાથે ગલન અને ઉત્કલન બિંદુઓ વધે છે. ઑક્સિજન અને સલ્ફરના ગલન અને ઉત્કલનબિંદુઓ વચ્ચેના મોટા તફાવતને તેમની પરમાણુકતા આધારે સમજાવી શકાય છે. ઑક્સિજન દ્વિ-પરમાણ્વીય અણુ ( $O_2$ ) તરીકે જ્યારે સલ્ફર બહુપરમાણ્વીય અણુ ( $S_8$ ) તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે.

#### 7.10.8 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties)

*ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓ અને રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વલણ*  
સમૂહ 16ના તત્ત્વો અનેક ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓ પ્રદર્શિત કરે છે (કોષ્ટક 7.6). (-2) ઑક્સિડેશન અવસ્થાનું સ્થાયીત્વ સમૂહમાં નીચેની તરફ જતા ઘટે છે. પોલોનિયમ ભાગ્યેજ (-2) ઑક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. ઑક્સિજનની ઘણી ઊંચી વિદ્યુતઋણતાના કારણે તે  $OF_2$  સિવાયના સંયોજનોમાં માત્ર ઋણ ઑક્સિડેશન અવસ્થા (-2) દર્શાવે છે,  $OF_2$  માં તેની ઑક્સિડેશન અવસ્થા (+2) હોય છે. સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વો +2, +4, +6 ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે, પરંતુ +4 અને +6 વધુ સામાન્ય છે. સલ્ફર, સેલેનિયમ અને ટેલુરિયમ સામાન્ય રીતે ઑક્સિજન સાથેના તેમના સંયોજનોમાં +4 ઑક્સિડેશન અવસ્થા અને ફ્લોરિન સાથેના સંયોજનોમાં +6 ઑક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા +6 ઑક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતા ઘટે છે અને +4 ઑક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતા વધે છે (નિષ્ક્રિયયુગ્મ અસર). +4 અને +6 ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં બંધન પ્રાથમિક રીતે સહસંયોજક હોય છે.

#### *ઑક્સિજનની અનિયમિત વર્તણૂક*

દ્વિતીય આવર્તમાં રહેલા  $p$ -વિભાગના અન્ય સભ્યોની જેમ ઑક્સિજનની અનિયમિત વર્તણૂક તેના નાના કદ અને ઊંચી વિદ્યુતઋણતાના કારણે હોય છે. નાના કદ અને ઊંચી વિદ્યુતઋણતાની અસરોનું એક વિશિષ્ટ ઉદાહરણ પાણીમાં પ્રબળ હાઈડ્રોજનબંધની હાજરી છે જે  $H_2S$ માં જોવા મળતો નથી.

ઓક્સિજનમાં  $d$  કક્ષકોની ગેરહાજરીના કારણે તેની સહસંયોજકતા ચાર સુધી મર્યાદિત હોય છે અને વ્યવહારમાં તે ક્યારેક જ બેથી વધુ હોય છે. બીજી તરફ સમૂહના અન્ય તત્ત્વોના કિસ્સામાં સંયોજકતા કોશોનું વિસ્તરણ થઈ શકે છે અને સહસંયોજકતા 4થી વધુ હોય છે.

(i) હાઈડ્રોજન સાથેની પ્રતિક્રિયાત્મકતા : સમૂહ 16ના બધાં તત્ત્વો  $H_2E$  ( $E = O, S, Se, Te, Po$ ) પ્રકારના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોના કેટલાક ગુણધર્મો કોષ્ટક 7.7માં દર્શાવેલા છે. તેમના એસિડિક લક્ષણ  $H_2O$  થી  $H_2Te$  તરફ વધે છે. એસિડિક લક્ષણમાં થતા વધારાને સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા H-E બંધના વિયોજન માટેની બંધન એન્થાલ્પીમાં થતાં ઘટાડા દ્વારા સમજાવી શકાય. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા H-E બંધની વિયોજન એન્થાલ્પીમાં થતા ઘટાડાના કારણે હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોની તાપીય સ્થાયીતા(thermal stability)માં  $H_2O$ થી  $H_2Po$  તરફ જતા ઘટાડો થાય છે. પાણી સિવાયના બધા હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો રિડક્શનકર્તા ગુણધર્મ ધરાવે છે અને આ લક્ષણ  $H_2S$  થી  $H_2Te$  તરફ વધતું જાય છે.

કોષ્ટક 7.7 : સમૂહ 16ના તત્ત્વોના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોના ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	$H_2O$	$H_2S$	$H_2Se$	$H_2Te$
ગ.બિં/K	273	188	208	222
ઉ.બિં/K	373	213	232	269
H-E અંતર/pm	96	134	146	169
HEH ખૂણો ( $^\circ$ )	104	92	91	90
$\Delta_f H / kJ mol^{-1}$	-286	-20	73	100
$\Delta_{diss} H (H-E)/kJ mol^{-1}$	463	347	276	238
વિયોજન અચળાંક <sup>a</sup>	$1.8 \times 10^{-16}$	$1.3 \times 10^{-7}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-3}$

<sup>a</sup> જલીય દ્રાવણ, 298 K

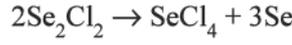
(ii) ઓક્સિજન સાથેની પ્રતિક્રિયાત્મકતા : આ બધા તત્ત્વો  $EO_2$  અને  $EO_3$  પ્રકારના ઓક્સાઈડ સંયોજનો બનાવે છે જ્યાં  $E = S, Se, Te$  અથવા  $Po$ . ઓઝોન ( $O_3$ ) અને સલ્ફર ડાયોક્સાઈડ ( $SO_2$ ) વાયુસ્વરૂપે હોય છે. જ્યારે સેલેનિયમ ડાયોક્સાઈડ ( $SeO_2$ ) ઘન સ્વરૂપે હોય છે. ડાયોક્સાઈડનો રિડક્શનકર્તા ગુણધર્મ  $SO_2$  થી  $TeO_2$  તરફ ઘટે છે;  $SO_2$  રિડક્શનકર્તા છે, જ્યારે  $TeO_2$  ઓક્સિડેશનકર્તા છે. સલ્ફર, સેલેનિયમ અને ટેલુરિયમ પણ  $EO_2$  પ્રકારના ઓક્સાઈડ સંયોજનો ઉપરાંત  $EO_3$  પ્રકારના ઓક્સાઈડ સંયોજનો ( $SO_3, SeO_3, TeO_3$ ) બનાવે છે. બંને પ્રકારના ઓક્સાઈડ સંયોજનો સ્વભાવે એસિડિક હોય છે.

(iii) હેલોજન તત્ત્વો પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : સમૂહ 16ના તત્ત્વો માટી સંખ્યામાં  $EX_6$ ,  $EX_4$  અને  $EX_2$  પ્રકારના હેલાઈડ સંયોજનો બનાવે છે, જ્યાં E આ સમૂહનું તત્ત્વ છે અને X હેલોજન તત્ત્વ છે. હેલાઈડ સંયોજનોની સ્થાયીતાનો ઉતરતો ક્રમ  $F^- > Cl^- > Br^- > I^-$  છે. હેક્ઝાહેલાઈડ સંયોજનો પૈકી માત્ર હેક્ઝાફ્લોરાઈડ સંયોજનો જ સ્થાયી હેલાઈડ સંયોજનો છે. બધા હેક્ઝાફ્લોરાઈડ સંયોજનો વાયુ સ્વરૂપે હોય છે. તેઓ અષ્ટફલકીય બંધારણ ધરાવે છે. સલ્ફર હેક્ઝાફ્લોરાઈડ,  $SF_6$  અવકાશીય કારણોસર વિશિષ્ટરીતે (અપવાદ) સ્થાયી છે.

ટેટ્રાફ્લોરાઈડ સંયોજનો પૈકી  $SF_4$  વાયુ,  $SeF_4$  પ્રવાહી અને  $TeF_4$  ઘન સ્વરૂપે હોય છે. આ ફ્લોરાઈડ સંયોજનો  $sp^3d$  સંકરણ ધરાવે છે અને તેથી તેઓ ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ બંધારણ ધરાવે છે, જેમાં એક અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મ દ્વારા એક નિરક્ષીય સ્થાન રોકાયેલ હોય છે. આ ભૌમિતિક આકારને ચીચવો (see-saw) ભૌમિતિક આકાર પણ કહે છે.

ઓક્સિજન સિવાયનાં બધાં તત્ત્વો ડાયક્લોરાઈડ સંયોજનો અને ડાયબ્રોમાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. આ ડાયહેલાઈડ સંયોજનો  $sp^3$  સંકરણ દ્વારા બને છે અને તેથી તેઓ સમચતુષ્ફલકીય બંધારણ ધરાવે છે. ખૂબ જાણીતા મોનોહેલાઈડ સંયોજનો સ્વભાવમાં

દ્વિઅણુ હોય છે. તેના ઉદાહરણો  $S_2F_2$ ,  $S_2Cl_2$ ,  $S_2Br_2$ ,  $Se_2Cl_2$  અને  $Se_2Br_2$  છે. આ દ્વિઅણુ હેલાઈડ સંયોજનો નીચે દર્શાવ્યા મુજબ વિષમીકરણ પ્રક્રિયા આપે છે.



### કોયડો 7.11

$H_2Te$  કરતાં  $H_2S$  ઓછો એસિડિક છે. શા માટે ?

### ઉકેલ :

સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં બંધ (E-H) વિયોજન એન્થાલ્પી ઘટવાના કારણે એસિડિક લક્ષણ વધતું જાય છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

7.13 સલ્ફરના અગત્યના સ્ત્રોતોની યાદી તૈયાર કરો.

7.14 સમૂહ 16ના તત્ત્વોના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનોની તાપીય સ્થાયીતાનો ક્રમ લખો.

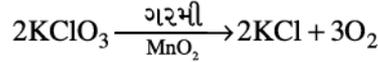
7.15 શા માટે  $H_2O$  પ્રવાહી છે અને  $H_2S$  વાયુ છે ?

## 7.11 ડાયઑક્સિજન (Dioxygen)

### બનાવટ

પ્રયોગશાળામાં ડાયઑક્સિજનને નીચે દર્શાવેલી રીતો (ways) દ્વારા મેળવી શકાય છે :

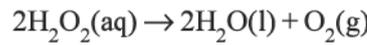
(i) ઓક્સિજનયુક્ત ક્ષારો જેવા કે ક્લોરેટ, નાઈટ્રેટ અને પરમેંગેનેટ સંયોજનોને ગરમ કરવાથી,



(ii) વિદ્યુત-રાસાયણિક શ્રેણીમાં નીચેની ધાતુઓના ઓક્સાઈડ સંયોજનો તથા કેટલીક ધાતુઓના ઉચ્ચતર ઓક્સાઈડના ઉષ્મીય વિઘટન દ્વારા



(iii) હાઈડ્રોજન પેરોક્સાઈડ સરળતાથી ઉદ્દીપકો જેવા કે સૂક્ષ્મવિભાજિત ધાતુઓ અને મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઈડ દ્વારા પાણી અને ડાયઑક્સિજનમાં વિઘટન પામે છે.



મોટા પાયે તેને પાણી અથવા હવામાંથી બનાવી શકાય છે. પાણીના વિદ્યુત વિભાજનમાં કેથોડ પર હાઈડ્રોજન અને એનોડ પર ઓક્સિજન મુક્ત થાય છે.

ઔદ્યોગિક રીતે હવામાંથી પ્રથમ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ અને પાણીની વરાળ દૂર કરીને ડાયઑક્સિજન મેળવવામાં આવે છે અને ત્યારબાદ બાકી રહેલા વાયુઓને પ્રવાહીમાં ફેરવીને વિભાગીય નિસ્સંદન કરતાં ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયઑક્સિજન મળે છે.

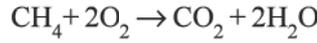
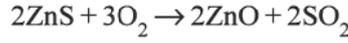
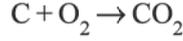
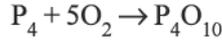
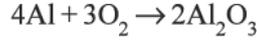
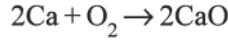
### ગુણધર્મો

ડાયઑક્સિજન રંગવિહીન અને વાસવિહીન વાયુ છે. 293 K તાપમાને તેની પાણીમાં દ્રાવ્યતા  $100 \text{ cm}^3$  પાણીમાં  $3.08 \text{ cm}^3$ ની સીમા સુધી હોય છે, જે સમુદ્રી અને જલીય જીવનની આવશ્યક મદદ માટે પૂરતી છે. તે 90 K તાપમાને પ્રવાહીકરણ પામે છે અને 55 K તાપમાને તે ઠરે છે. ઓક્સિજન પરમાણુ ત્રણ સ્થાયી સમસ્થાનિકો :  $^{16}O$ ,  $^{17}O$  અને  $^{18}O$  ધરાવે છે. બેકી સંખ્યામાં ઈલેક્ટ્રોન હોવા છતાં આણ્વીય ઓક્સિજન  $O_2$  વિશિષ્ટ રીતે અનુચુંબકીય છે (જૂઓ ધોરણ-XI રસાયણવિજ્ઞાન પાઠ્યપુસ્તક, એકમ-4).

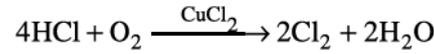
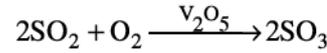
ડાયઑક્સિજન કેટલીક ધાતુઓ (દા.ત., Au, Pt) અને કેટલાક નિષ્ક્રિય વાયુઓ સિવાય લગભગ બધી ધાતુઓ અને અધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. તેનો અન્ય તત્ત્વો સાથે સંયોગ હંમેશાં પ્રબળ ઉષ્માક્ષેપક હોય છે, જે પ્રક્રિયાને ટકાવી રાખવામાં મદદરૂપ થાય છે. જો

કે આ પ્રક્રિયાને શરૂ થવા માટે કેટલીક બાહ્ય ગરમી જરૂરી અને છે કારણ કે ઓક્સિજન-ઓક્સિજન દ્વિ-બંધની બંધન વિયોજન એન્થાલ્પી ઊંચી હોય છે ( $493.4 \text{ kJ mol}^{-1}$ ).

ડાયઑક્સિજનની ધાતુઓ, અધાતુઓ અને અન્ય સંયોજનો સાથેની કેટલીક પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવી છે :



કેટલાક સંયોજનોનું ઉદ્દીપકીય ઓક્સિડેશન થાય છે, ઉદાહરણ તરીકે,



**ઉપયોગો :** સામાન્ય શ્વસન અને દહન પ્રક્રમોમાં તેના મહત્વ ઉપરાંત ઓક્સિજનનો ઉપયોગ ઓક્સિએસિટિલિન વેલ્ડિંગમાં, અનેક ધાતુઓના ઉત્પાદનમાં, વિશેષ રીતે સ્ટીલના ઉત્પાદનમાં થાય છે. હોસ્પિટલોમાં, અત્યંત ઊંચાઈ પર ઊંડાણ દરમિયાન અને પર્વતારોહણમાં ઓક્સિજનના સિલિન્ડરનો બહોળો ઉપયોગો થાય છે. બળતણોનાં દહનમાં દા.ત., પ્રવાહી ઓક્સિજનમાં હાઈડ્રોજિન રોકેટને ઉપર ઉડવા માટે વિસ્મયજનક દબાણ પૂરું પાડે છે.

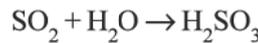
### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 7.16 નીચેના પૈકી કયું તત્વ ઓક્સિજન સાથે સીધી પ્રક્રિયા આપતું નથી ?  
Zn, Ti, Pt, Fe
- 7.17 નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયાઓ પૂર્ણ કરો :  
(i)  $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow$   
(ii)  $4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow$

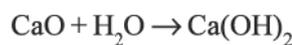
### 7.12 સાદા ઓક્સાઈડ સંયોજનો (Simple Oxides)

ઓક્સિજનનું અન્ય તત્વ સાથેનું દ્વિ-અંગી સંયોજન ઓક્સાઈડ કહેવાય છે. અગાઉ જણાવ્યું છે તેમ ઓક્સિજન આવર્તકોષ્ટકના મોટા ભાગના તત્વો સાથે પ્રક્રિયા કરી ઓક્સાઈડ બનાવે છે. ઘણા એવા કિસ્સાઓ છે જેમાં એક તત્વ બે અથવા વધારે ઓક્સાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. આ ઓક્સાઈડ સંયોજનો તેમના સ્વભાવ અને ગુણધર્મોમાં બહોળી વિવિધતા દર્શાવે છે.

ઓક્સાઈડ સંયોજનો સાદા (દા.ત.,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) અથવા મિશ્રિત ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) હોઈ શકે છે. સાદા ઓક્સાઈડ સંયોજનોને તેમના એસિડિક, બેઝિક અથવા ઊભયધર્મી લક્ષણના આધારે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. જે ઓક્સાઈડ પાણી સાથે સંયોજાઈને એસિડ બનાવે છે તેને એસિડિક ઓક્સાઈડ (દા.ત.,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ) કહેવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $\text{SO}_2$  પાણી સાથે સંયોજાઈને  $\text{H}_2\text{SO}_3$  એસિડ બનાવે છે.

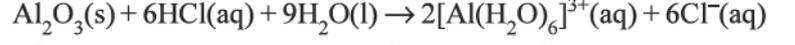


સામાન્ય નિયમ મુજબ માત્ર અધાતુ ઓક્સાઈડ સંયોજનો જ એસિડિક હોય છે પરંતુ ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં કેટલીક ધાતુઓના ઓક્સાઈડ સંયોજનો પણ એસિડિક લક્ષણ ધરાવે છે (દા.ત.,  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ ,  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ). જે ઓક્સાઈડ સંયોજનો પાણી સાથે બેઝ બનાવે છે તેઓ બેઝિક ઓક્સાઈડ તરીકે ઓળખાય છે (દા.ત.,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{BaO}$ ). ઉદાહરણ તરીકે,  $\text{CaO}$  પાણી સાથે સંયોજાઈને  $\text{Ca(OH)}_2$  બેઝ બનાવે છે.



સામાન્ય રીતે, ધાત્વીય ઓક્સાઇડ સંયોજનો બેઝિક હોય છે.

કેટલાક ધાત્વીય ઓક્સાઇડ સંયોજનો દ્વિત વર્તણૂક (dual behaviour) દર્શાવે છે. તેઓ એસિડિક અને બેઝિક એમ બંને ઓક્સાઇડ સંયોજનોની લાક્ષણિકતા દર્શાવે છે. આવા ઓક્સાઇડ સંયોજનોને ઊભયધર્મી ઓક્સાઇડ સંયોજનો કહેવામાં આવે છે. તેઓ એસિડ અને બેઇઝ સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $Al_2O_3$  એસિડ સંયોજનો અને બેઇઝ સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરે છે.



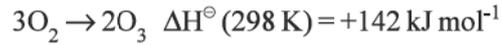
કેટલાક ઓક્સાઇડ સંયોજનો જે એસિડિક હોતા નથી અને બેઝિક પણ હોતા નથી તેવા ઓક્સાઇડ સંયોજનોને તટસ્થ ઓક્સાઇડ સંયોજનો તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.  $CO$ ,  $NO$  અને  $N_2O$  તટસ્થ ઓક્સાઇડ સંયોજનોના ઉદાહરણો છે.

### 7.13 ઓઝોન (Ozone)

ઓઝોન ઓક્સિજનનું એક અપરરૂપ છે. તે એટલું પ્રતિક્રિયાત્મક છે કે સમુદ્રની સપાટીએ વાતાવરણમાં તે લાંબો સમય રહી શકતું નથી. લગભગ 20 કિલોમીટર ઊંચાઈએ તે સૂર્યપ્રકાશની હાજરીમાં વાતાવરણીય ઓક્સિજનમાંથી બને છે. આ ઓઝોન સ્તર પૃથ્વીની સપાટીને પારજાંબલી વિકિરણોની (UV) વધુ પડતી સાંદ્રતાથી રક્ષણ આપે છે.

#### બનાવટ

જ્યારે ઓક્સિજનના શુષ્ક પ્રવાહને ધ્વનિહીન વિદ્યુત વિભારમાંથી (silent electrical discharge) પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે ઓક્સિજનનું ઓઝોન (10 %)માં રૂપાંતરણ થાય છે. આ નીપજને ઓઝોનીકૃત ઓક્સિજન તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.



જોકે ઓક્સિજનમાંથી ઓઝોનનું નિર્માણ ઉષ્માશોષક પ્રક્રમ છે, ઓઝોનની બનાવટમાં તેના વિઘટનને રોકવા ધ્વનિહીન વિદ્યુત વિભારનો ઉપયોગ આવશ્યક હોય છે.

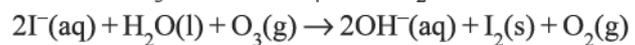
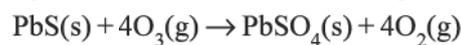
જો ઓઝોનની સાંદ્રતા 10 ટકાથી વધુ જરૂરી હોય તો ઓઝોનિટ્રો (ozonisers)ની બેટરીનો ઉપયોગ કરી શકાય છે તથા શુદ્ધ ઓઝોનને (ઉ.બિં 101.1 K) ફરતે પ્રવાહી ઓક્સિજન ધરાવતા પાત્રમાં સંઘનિત કરી શકાય છે.

#### ગુણધર્મો

શુદ્ધ ઓઝોન આછો વાદળી વાયુ, ઘેરું વાદળી પ્રવાહી અને જાંબલી-કાળો ઘન હોય છે. ઓઝોન લાક્ષણિક વાસ ધરાવે છે અને તેની ઓછી સાંદ્રતા હાનિકારક હોતી નથી. તેમ છતાં જો સાંદ્રતા 100 ભાગ પ્રતિ મિલિયન (parts per million)થી વધુ થાય તો શ્વાસ લેવામાં પ્રતિકૂળતા જણાય છે જેનાથી માથાનો દુખાવો અને ઉબકા આવવા જેવી અસરો જોવા મળે છે.

ઓઝોન ઉષ્માગતિશાસ્ત્રીય રીતે ઓક્સિજનની સરખામણીમાં અસ્થાયી હોય છે કારણ કે તેના ઓક્સિજનમાં વિઘટનથી ઉષ્મામુક્ત ( $\Delta H$  ઋણ હોય છે) થાય છે અને એન્ટ્રોપી વધે છે ( $\Delta S$  ધન હોય છે). આ બે અસરો એકબીજાને પ્રબળ બનાવે છે, જે તેના ઓક્સિજનમાં પરિવર્તન માટે વધુ ઋણ ગિબ્સ-ઊર્જા ફેરફારમાં પરિણમે છે. તેથી તે વાસ્તવમાં આશ્ચર્યજનક નથી કે ઓઝોનની ઊંચી સાંદ્રતા ભયંકર વિસ્ફોટક હોઈ શકે છે.

તે બહુ સરળતાથી નવજાત ઓક્સિજન પરમાણુઓ મુક્ત કરવાના કારણે ( $O_3 \rightarrow O_2 + O$ ) શક્તિશાળી ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે. ઉદાહરણ તરીકે તે લેડ સલ્ફાઇડનું લેડ સલ્ફેટમાં અને આયોડિન આયનનું આયોડિનમાં ઓક્સિડેશન કરે છે.

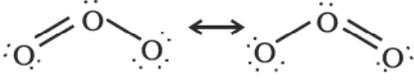


જ્યારે ઓઝોન, બોરેટ બફર (pH 9.2) દ્વારા બફરયુક્ત બનાવેલા પોટેશિયમ આયોડાઇડના વધુ પડતા દ્રાવણ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે આયોડિન મુક્ત થાય છે, જેનું સોડિયમ થાયોસલ્ફેટના પ્રમાણિત દ્રાવણ વડે અનુમાપન કરવામાં આવે છે. આ  $O_3$ ના માપન માટેની જથ્થાત્મક પદ્ધતિ છે.

પ્રયોગો દર્શાવે છે કે નાઈટ્રોજન ઓક્સાઈડ સંયોજનો (ખાસ કરીને નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ) ઓઝોન સાથે અતિ ઝડપથી સંયોજાય છે. આથી તે શક્ય છે કે સુપરસોનિક જેટ વિમાનોના નિર્ગમન તંત્રોમાંથી ઉત્સર્જિત થતો નાઈટ્રોજન ઓક્સાઈડ સંયોજનો ઉપરના વાતાવરણમાં રહેલા ઓઝોન સ્તરની સાંદ્રતાનું ધીમે ધીમે ક્ષયન કરી રહ્યા હોય.



આ ઓઝોન સ્તરને બીજા ખતરાની સંભાવના ફિઓનના ઉપયોગથી છે, જેનો ઉપયોગ વાયુવિલય (aerosol) સ્પ્રેમાં અને પ્રશીતકો તરીકે થાય છે.



ઓઝોન અણુમાં બે ઓક્સિજન-ઓક્સિજન બંધ લંબાઈઓ સમાન (128 pm) હોય છે અને આ અણુ અપેક્ષા મુજબ આશરે 117° બંધકોણ સહિત કોણીય હોય છે. તે બે મુખ્ય સ્વરૂપોનું સંસ્પંદન સંકૃત છે.

**ઉપયોગો :** તે જીવાણુનાશક, સંક્રમણહારક તરીકે અને પાણીને રોગાણુરહિત કરવામાં વપરાય છે. તે તેલ, હાથીદાંત, લોટ, સ્ટાર્ચ વગેરેની વિરંજન ક્રિયામાં પણ ઉપયોગી છે. તે પોટેશિયમ પરમંગેનેટના ઉત્પાદનમાં ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 7.18 O<sub>3</sub> શા માટે શક્તિશાળી ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે ?  
7.19 O<sub>3</sub>નું જથ્થાત્મક માપન કેવી રીતે થાય છે ?

### 7.14 સલ્ફર - અપરરૂપો (Sulphur - Allotropic Forms)

સલ્ફર અનેક અપરરૂપો ધરાવે છે જેમાં પીળો રૂહોમ્બિક (α-સલ્ફર) અને મોનોક્લિનિક (β-સલ્ફર) સ્વરૂપો સૌથી અગત્યના છે. ઓરડાના તાપમાને સ્થાયી સ્વરૂપ રૂહોમ્બિક સલ્ફર છે, જ્યારે તેને 369 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે મોનોક્લિનિક સલ્ફરમાં રૂપાંતર પામે છે.

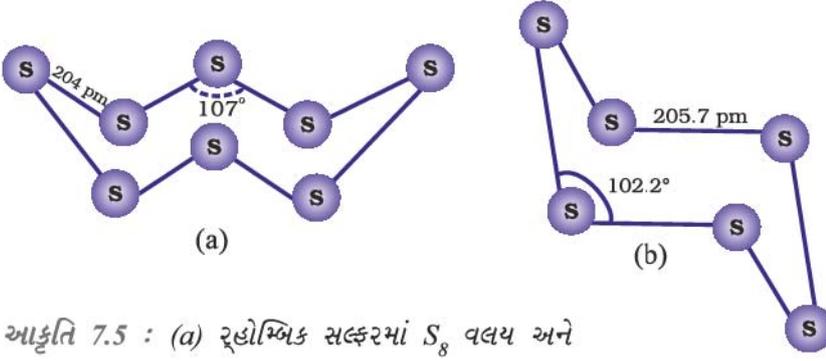
#### રૂહોમ્બિક સલ્ફર (α-સલ્ફર)

આ અપરરૂપ પીળા રંગનું હોય છે, જેનું ગલનબિંદુ 385.8 K અને વિશિષ્ટ ઘનતા 2.06 હોય છે. રૂહોમ્બિક સલ્ફરના સ્ફટિકોને રોલ સલ્ફરના CS<sub>2</sub> માં બનાવેલા દ્રાવણને ઉકાળીને બનાવાય છે. તે પાણીમાં અદ્રાવ્ય હોય છે પરંતુ બેન્ઝિન, આલ્કોહોલ અને ઈથરમાં થોડી માત્રામાં દ્રાવ્ય હોય છે. તે CS<sub>2</sub> માં સંપૂર્ણ દ્રાવ્ય હોય છે.

#### મોનોક્લિનિક સલ્ફર (β-સલ્ફર)

તેનું ગલનબિંદુ 393 K અને વિશિષ્ટ ઘનતા 1.98 છે. તે CS<sub>2</sub> માં દ્રાવ્ય છે. સલ્ફરના આ સ્વરૂપને બનાવવા માટે એક ડિશમાં રૂહોમ્બિક સલ્ફરને પીગાળવામાં આવે છે અને પોપડો બને ત્યાં સુધી ઠંડો પાડવામાં આવે છે. આ પોપડામાં બે છિદ્રો કરવામાં આવે છે અને બાકી રહેલા પ્રવાહીને કાઢી લેવામાં આવે છે. પોપડાને દૂર કરવાથી β-સલ્ફરના રંગવિહીન સોયાકાર સ્ફટિકો બને છે. તે 369 K થી ઊંચા તાપમાને સ્થાયી હોય છે અને તેનાથી નીચા તાપમાને તે α-સલ્ફરમાં રૂપાંતર પામે છે. તેનાથી વિપરિત α-સલ્ફર 369 K થી નીચા તાપમાને સ્થાયી હોય છે અને તેનાથી ઊંચા તાપમાને β-સલ્ફરમાં રૂપાંતર પામે છે. 369 K તાપમાને બંને સ્વરૂપો સ્થાયી હોય છે. આ તાપમાનને સંક્રાંતિ તાપમાન કહેવાય છે.

રૂહોમ્બિક અને મોનોક્લિનિક સલ્ફરમાં S<sub>8</sub> અણુઓ હોય છે. આ S<sub>8</sub> અણુઓ સંકુલિત થઈને વિવિધ સ્ફટિક બંધારણો આપે છે. આ બંને સ્વરૂપોમાં S<sub>8</sub> વલય ગડીવાળા હોય છે અને મુગુટ (crown) આકાર ધરાવે છે. આણ્વીય પરિમાણોને આકૃતિ 7.5(a)માં દર્શાવવામાં આવ્યા છે.



આકૃતિ 7.5 : (a) રૂહોમ્બિક સલ્ફરમાં  $S_8$  વલય અને  
(b)  $S_6$  સ્વરૂપના બંધારણો

છેલ્લા બે દાયકામાં સલ્ફરના અનેક પ્રકારોને સંશ્લેષિત કરવામાં આવ્યા જેમાં 6-20 સલ્ફર પરમાણુઓ ધરાવતા વલય હોય છે. સાયકલો -  $S_6$  માં વલય ચેર (પુરશી) સ્વરૂપ ધારણ કરે છે અને આ આણ્વીય પરિમાણોને આકૃતિ 7.5(b)માં દર્શાવેલ છે. ઊંચા તાપમાને (~ 1000 K) મુખ્ય સ્પિસીઝ તરીકે  $S_2$  હોય છે અને તે  $O_2$ ની જેમ અનુચુંબકીય હોય છે.

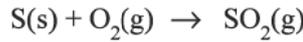
**કોયડો 7.12** સલ્ફરનું કયું સ્વરૂપ અનુચુંબકીય વર્તણૂક દર્શાવે છે ?

**ઉકેલ :** બાષ્પ અવસ્થામાં સલ્ફર આંશિક રીતે  $S_2$  અણુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે, જે  $O_2$ ની જેમ બંધપ્રતિકારક  $\pi^*$  કક્ષકોમાં બે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનો ધરાવે છે અને તેથી અનુચુંબકત્વ પ્રદર્શિત કરે છે.

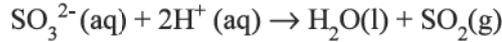
### 7.15 સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ (Sulphur Dioxide)

#### બનાવટ

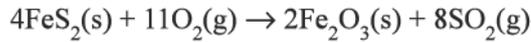
જ્યારે સલ્ફરને હવા અથવા ઓક્સિજન સાથે બાળવામાં આવે છે ત્યારે સલ્ફર ડાયોક્સાઇડના થોડા પ્રમાણ (6 - 8 %) સાથે સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ બને છે.



પ્રયોગશાળામાં સલ્ફાઇટની મંદસલ્ફ્યુરિક એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરવાથી સરળતાથી સલ્ફર ડાયોક્સાઇડને ઉત્પન્ન કરી શકાય છે.



ઔદ્યોગિક રીતે તે સલ્ફાઇડ અયસ્કોના ભૂંજનથી ઉપનીપજ તરીકે મળે છે.

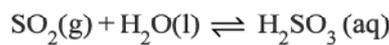


આ વાયુને શુષ્ક કર્યા બાદ દબાણ દ્વારા પ્રવાહીકૃત કરવામાં આવે છે અને સ્ટીલના સિલિન્ડરમાં સંઘરવામાં આવે છે.

#### ગુણધર્મો

સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ તીવ્રવાસવાળો રંગવિહીન વાયુ છે અને પાણીમાં વધુ દ્રાવ્ય છે. તે ઓરડાના તાપમાને 2 વાતાવરણ દબાણ હેઠળ પ્રવાહીમાં રૂપાંતર પામે છે અને 263 K તાપમાને ઉકળે છે.

જ્યારે સલ્ફર ડાયોક્સાઇડને પાણીમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે તે સલ્ફ્યુરસ એસિડનું દ્રાવણ બનાવે છે.

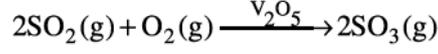
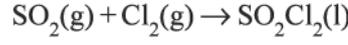


તે સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડના દ્રાવણ સાથે સરળતાથી પ્રક્રિયા કરીને સોડિયમ સલ્ફાઇટ બનાવે છે જે પછીથી વધુ સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરીને સોડિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફાઇટ બનાવે છે.

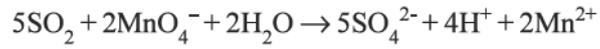
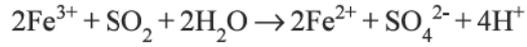
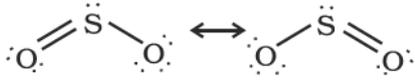


તેની પાણી અને આલ્કલી સાથેની પ્રક્રિયામાં સલ્ફર ડાયોક્સાઇડની વર્તણૂક કાર્બન ડાયોક્સાઇડની વર્તણૂકને વધુ સમાન હોય છે.

સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ કોલસાની (charcoal) (જે ઉદ્દીપક તરીકે વર્તે છે) હાજરીમાં ક્લોરિન સાથે પ્રક્રિયા કરીને સલ્ફ્યુરાઇલ ક્લોરાઇડ,  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  બનાવે છે. સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ વેનેડિયમ (V) ઓક્સાઇડ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં ઓક્સિજન દ્વારા સલ્ફર ટ્રાયોક્સાઇડમાં ઓક્સિડેશન પામે છે.



જ્યારે સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ ભેજવાળો હોય છે ત્યારે તે રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે. ઉદાહરણ તરીકે, સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ આયર્ન (III) આયનોનું આયર્ન (II) આયનોમાં રૂપાંતર કરે છે અને એસિડિક પોટેશિયમ પરમંગેનેટ (VII) દ્રાવણને રંગવિહીન બનાવે છે; છેલ્લી પ્રક્રિયા આ વાયુ માટેની અનુકૂળ કસોટી છે.



$\text{SO}_2$  અણુ કોણીય છે. તે બે વિહિત સ્વરૂપોનું સસંબંધન સંકૃત છે.

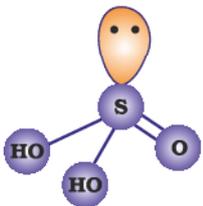
**ઉપયોગો :** સલ્ફર ડાયોક્સાઇડનો ઉપયોગ (i) શર્કરા અને પેટ્રોલિયમના શુદ્ધિકરણમાં (ii) લાકડા અને રેશમના વિરંજનમાં તથા (iii) પ્રતિક્લોર, સંક્રમણહારકો અને પરિરક્ષકો તરીકે થાય છે. સલ્ફ્યુરિક એસિડ, સોડિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફાઇટ અને કેલ્શિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફાઇટ(ઔદ્યોગિક રસાયણો)નું ઉત્પાદન સલ્ફર ડાયોક્સાઇડમાંથી કરવામાં આવે છે. પ્રવાહી  $\text{SO}_2$  અનેક કાર્બનિક અને અકાર્બનિક રસાયણોને ઓગાળવા દ્રાવક તરીકે વપરાય છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

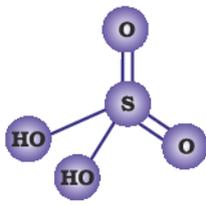
- 7.20 જ્યારે Fe(III) ક્ષારના જલીય દ્રાવણમાંથી સલ્ફર ડાયોક્સાઇડને પસાર કરવામાં આવે છે, ત્યારે શું થાય છે ?
- 7.21  $\text{SO}_2$  અણુમાં બનતા બે S-O બંધોના સ્વભાવ પર આલોચના કરો. શું આ અણુમાં બે S-O બંધો સમતુલ્ય છે ?
- 7.22  $\text{SO}_2$  ની હાજરીને કેવી રીતે પારખી શકાય ?

### 7.16 સલ્ફરના ઓક્સોએસિડ સંયોજનો (Oxoacids of Sulphur)

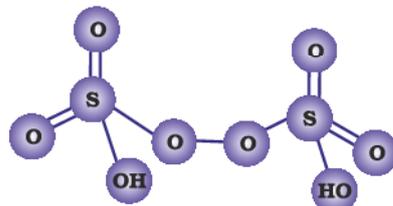
સલ્ફર અનેક ઓક્સોએસિડ સંયોજનો જેવા કે  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ,  $\text{H}_2\text{S}_x\text{O}_6$ , ( $x = 2$  થી 5),  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_5$ ,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$  બનાવે છે. આ એસિડ સંયોજનો પૈકીના કેટલાક અસ્થાયી છે અને તેમને અલગ કરી શકાતા નથી. તેઓને જલીય દ્રાવણમાં અથવા તેમના ક્ષાર સ્વરૂપમાં ઓળખી શકાય છે. કેટલાક અગત્યના ઓક્સોએસિડ સંયોજનોને આકૃતિ 7.6માં દર્શાવ્યા છે.



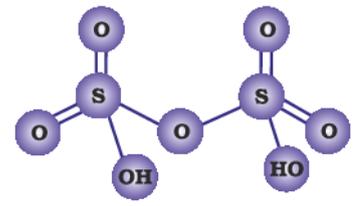
સલ્ફ્યુરસ એસિડ  
( $\text{H}_2\text{SO}_3$ )



સલ્ફ્યુરિક એસિડ  
( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )



પેરોક્સોડાયસલ્ફ્યુરિક એસિડ  
( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ )



પાયરોસલ્ફ્યુરિક એસિડ (ઓલિયમ)  
( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ )

આકૃતિ 7.6 : સલ્ફરના કેટલાક અગત્યના ઓક્સોએસિડ સંયોજનોના બંધારણો

## 7.17 સલ્ફ્યુરિક એસિડ (Sulphuric Acid)

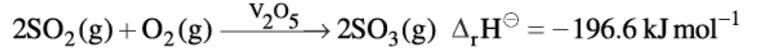
### ઉત્પાદન

સલ્ફ્યુરિક એસિડ વિશ્વભરના ખૂબ જ અગત્યના ઔદ્યોગિક રસાયણો પૈકીનું એક છે. સલ્ફ્યુરિક એસિડનું ઉત્પાદન સંપર્ક પ્રક્રમ દ્વારા કરવામાં આવે છે કે જેમાં ત્રણ તબક્કાઓ સમાયેલા હોય છે.

- સલ્ફર અથવા સલ્ફાઇડ અયસ્કોને બાળીને  $\text{SO}_2$  ઉત્પન્ન કરવો.
- ઉદ્દીપક ( $\text{V}_2\text{O}_5$ )ની હાજરીમાં ઓક્સિજન સાથેની પ્રક્રિયા દ્વારા  $\text{SO}_2$  નું  $\text{SO}_3$  માં રૂપાંતર અને
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  માં  $\text{SO}_3$ ના અવશોષણથી ઓલિયમ ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ) બનવું.

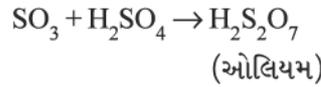
સલ્ફ્યુરિક એસિડના ઉત્પાદનનું ક્રમદર્શી રેખાચિત્ર આકૃતિ 7.7માં દર્શાવેલ છે. ઉત્પન્ન થયેલા  $\text{SO}_2$ ને ધૂળના કણો અને આર્સેનિક સંયોજનો જેવી અશુદ્ધિઓને દૂર કરીને શુદ્ધ કરવામાં આવે છે.

$\text{H}_2\text{SO}_4$ ના ઉત્પાદનમાં  $\text{V}_2\text{O}_5$  (ઉદ્દીપક)ની હાજરીમાં  $\text{SO}_2$  સાથેની  $\text{O}_2$ ની ઉદ્દીપકીય ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાથી  $\text{SO}_3$ નું બનવું તે મુખ્ય તબક્કો છે.

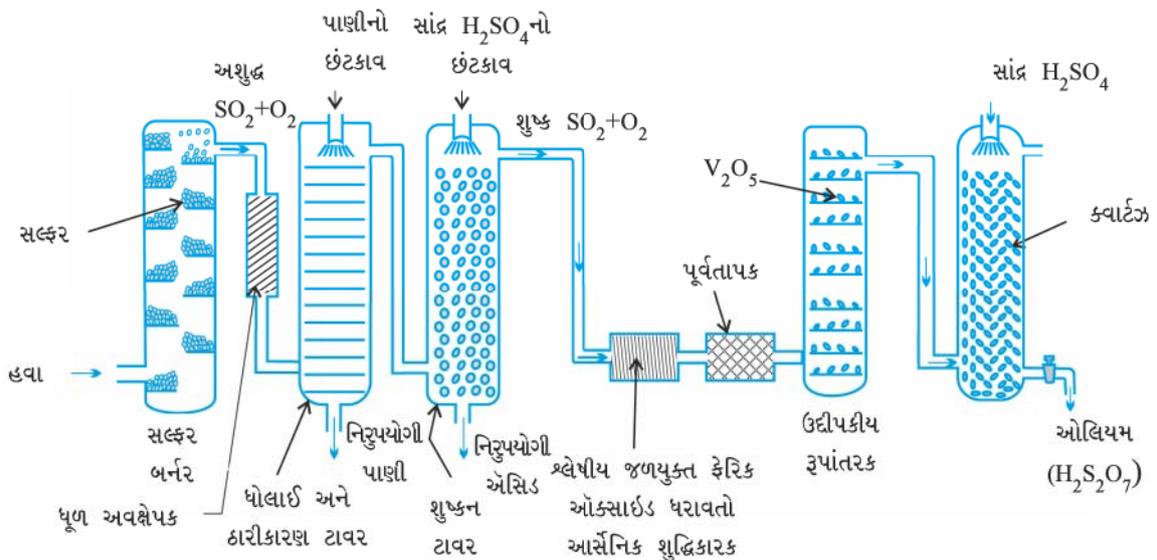


આ પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક, પ્રતિવર્તી છે અને પુરોગામી પ્રક્રિયા કદમાં ઘટાડો કરે છે, તેથી મહત્તમ નીપજ મેળવવા માટે નીચું તાપમાન અને ઊંચું દબાણ સાનુકૂળ પરિસ્થિતિઓ છે. પરંતુ તાપમાન બહુ નીચું ન જવું જોઈએ નહીં તો પ્રક્રિયાવેગ ઘટી જશે.

વ્યવહારમાં આ પ્લાન્ટનું સંચાલન (operation) 2 બાર દબાણે અને 720 K તાપમાને કરવામાં આવે છે. ઉદ્દીપકીય રૂપાંતર દ્વારા પ્રાપ્ત  $\text{SO}_3$  વાયુને સાંદ્ર  $\text{H}_2\text{SO}_4$  માં અવશોષવામાં આવે છે જે ઓલિયમ ઉત્પન્ન કરે છે. ઓલિયમનું પાણી વડે મંદન જરૂરી સાંદ્રતાવાળો  $\text{H}_2\text{SO}_4$  આપે છે. ઉદ્યોગમાં આ પ્રક્રમને સતત ચાલુ રાખવા માટે અને ખર્ચને ઘટાડવા માટે પણ આ બે તબક્કાઓને એકસાથે કરવામાં આવે છે.



સંપર્ક પ્રક્રમ દ્વારા મળતો સલ્ફ્યુરિક એસિડ 96 - 98 % શુદ્ધ હોય છે.

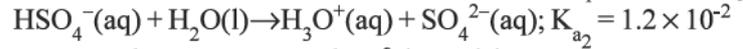
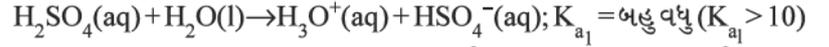


આકૃતિ 7.7 : સલ્ફ્યુરિક એસિડના ઉત્પાદનનું ક્રમદર્શી રેખાચિત્ર

## ગુણધર્મો

સલ્ફ્યુરિક એસિડ રંગવિહીન, ઘટ્ટ, તૈલી પ્રવાહી છે જેની 298 K તાપમાને વિશિષ્ટ ઘનતા 1.84 છે. આ એસિડ 283 K તાપમાને ઠરે છે અને 611 K તાપમાને ઉકળે છે. તે ઉષ્માનો વધુ જથ્થો ઉત્પન્ન થવાના સાથે પાણીમાં ઓગળે છે. આમ, સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડમાંથી સલ્ફ્યુરિક એસિડના દ્રાવણ બનાવતી વખતે કાળજી રાખવી પડે છે. સાંદ્ર એસિડને પાણીમાં જ સતત હલાવતા જઈ ધીમે ધીમે ઉમેરવો જોઈએ.

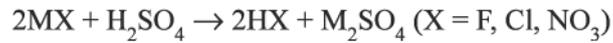
નીચે દર્શાવેલી લાક્ષણિકતાઓના પરિણામ સ્વરૂપે સલ્ફ્યુરિક એસિડની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ થાય છે : (a) નીચી બાષ્પશીલતા (b) પ્રબળ ઓક્સિડિક લક્ષણ (c) પાણી પ્રત્યે પ્રબળ રાસાયણિક આકર્ષણ (d) ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તવાની ક્ષમતા. જલીય દ્રાવણમાં સલ્ફ્યુરિક એસિડ બે તબક્કામાં આયનીકરણ પામે છે.



$K_{a_1}$  ના મોટા મૂલ્ય ( $k_{a_1} > 10$ )નો અર્થ એ થાય છે કે  $\text{H}_2\text{SO}_4$  વધુ પ્રમાણમાં  $\text{H}^+$  અને  $\text{HSO}_4^-$ માં વિયોજન પામે છે. વિયોજન અચળાંક ( $K_a$ )નું ઊંચું મૂલ્ય એસિડની વધુ પ્રબળતા દર્શાવે છે.

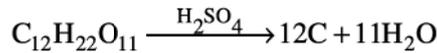
એસિડ, ક્ષારોની બે શ્રેણી બનાવે છે : સામાન્ય સલ્ફેટ સંયોજન (જેવા કે સોડિયમ સલ્ફેટ અને કૉપર સલ્ફેટ) અને એસિડ સલ્ફેટ સંયોજનો (દા.ત., સોડિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફેટ).

સલ્ફ્યુરિક એસિડની નીચી બાષ્પશીલતાના કારણે તેને વધુ બાષ્પશીલ એસિડ સંયોજનોના તેના અનુવર્તી ક્ષારોમાંથી ઉત્પાદન માટે ઉપયોગમાં લઈ શકાય છે.

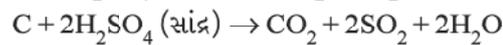
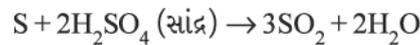
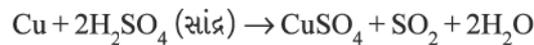


(M = ધાતુ)

સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ પ્રબળ નિર્જળીકરણકર્તા છે. જે વાયુઓ એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરતા ન હોય તેવા અનેક ભીના વાયુઓને સલ્ફ્યુરિક એસિડમાંથી પસાર કરીને શુષ્ક બનાવી શકાય છે. સલ્ફ્યુરિક એસિડ કાર્બનિક સંયોજનોમાંથી પાણીને દૂર કરે છે; તેની કાર્બોહાઇડ્રેટ સંયોજનોને બાળીને કાળા પાડવાની ક્રિયા તેનો પુરાવો છે.



ગરમ સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ મધ્યમ પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે. આ સંદર્ભમાં તે ફોસ્ફોરિક એસિડ અને નાઇટ્રિક એસિડ વચ્ચેનો મધ્યવર્તી છે. ધાતુઓ અને અધાતુઓ બંને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ વડે ઓક્સિડેશન પામે છે, જ્યારે સલ્ફ્યુરિક એસિડ  $\text{SO}_2$  માં રિડક્શન પામે છે.



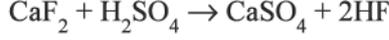
**ઉપયોગો :** સલ્ફ્યુરિક એસિડ એક ખૂબ જ અગત્યનું ઔદ્યોગિક રસાયણ છે. કોઈ પણ રાષ્ટ્રનું ઔદ્યોગિક સામર્થ્ય તેના સલ્ફ્યુરિક એસિડના ઉત્પાદન અને વપરાશના જથ્થાના આધારે નક્કી કરી શકાય છે. તે હજારો અન્ય સંયોજનોના ઉત્પાદનમાં અને અનેક ઔદ્યોગિક પ્રક્રમોમાં પણ આવશ્યક છે. ઉત્પાદિત થયેલ સલ્ફ્યુરિક એસિડનો મોટો જથ્થો ખાતરોના ઉત્પાદનમાં વપરાય છે (દા.ત., એમોનિયમ સલ્ફેટ, સુપરફોસ્ફેટ). સલ્ફ્યુરિક એસિડના અન્ય ઉપયોગો : (a) પેટ્રોલિયમના શુદ્ધીકરણમાં (b) વર્ણકો, પેઇન્ટ્સ અને રંગકોના મધ્યવર્તી સંયોજનોના ઉત્પાદનમાં (c) પ્રક્ષાલક ઉદ્યોગમાં (d) ધાતુકર્મીય અનુપ્રયોગોમાં (દા.ત., એનેમેલિંગ, ઇલેક્ટ્રોપ્લેટિંગ અને ગેલ્વેનાઇઝિંગના પહેલા ધાતુઓની સફાઈ) (e) સંગ્રાહકોષોમાં (f) નાઇટ્રોસેલ્યુલોઝ નીપજોના ઉત્પાદનમાં અને (g) પ્રયોગશાળા પ્રક્રિયક તરીકે

**કોયડો 7.13** શું થાય છે ? જ્યારે ....

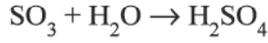
- સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડને કેલ્શિયમ ફ્લોરાઇડમાં ઉમેરવામાં આવે છે.
- SO<sub>3</sub>ને પાણીમાં પસાર કરવામાં આવે છે.

**ઉકેલ :**

- તે હાઇડ્રોજન ફ્લોરાઇડ બનાવે છે.



- તે SO<sub>3</sub>ને ઓગાળે છે અને H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> બનાવે છે.



### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

7.23 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> જેમાં અગત્યનો ભાગ ભજવતો હોય તેવા ત્રણ ક્ષેત્રો જણાવો.

7.24 સંપર્ક પ્રક્રમ દ્વારા H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>ની મહત્તમ નીપજ પ્રાપ્ત થાય તેવી પરિસ્થિતિઓ લખો.

7.25 પાણીમાં H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> માટે K<sub>a2</sub> << K<sub>a1</sub> શા માટે હોય છે ?

### 7.18 સમૂહ 17ના તત્ત્વો (Group 17 Elements)

ફ્લોરિન, ક્લોરિન, બ્રોમિન, આયોડિન, એસ્ટેટાઇન અને ટેન્નેસીન સમૂહ 17ના સભ્યો છે. આ સામૂહિક રીતે હેલોજન તત્ત્વો [ગ્રીક ભાષામાં હેલો (halo)નો અર્થ ક્ષાર અને જેનેસનો (genes) અર્થ ઉત્પન્ન કરવું એટલે કે ક્ષાર ઉત્પન્ન કરનારા] તરીકે ઓળખાય છે. હેલોજન તત્ત્વો ઊંચા પ્રતિક્રિયાત્મક અધાત્વીય તત્ત્વો છે. સમૂહ 1 અને 2ની જેમ સમૂહ 17ના તત્ત્વો પણ એકબીજામાં વધુ સમાનતા દર્શાવે છે. આટલી બધી સમાનતા આવર્તકોષ્ટકના અન્ય સમૂહોનાં તત્ત્વોમાં જોવા મળતી નથી. હેલોજન તત્ત્વોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં પણ નિયમિત ક્રમણ હોય છે. એસ્ટેટાઇન અને ટેન્નેસીન રેડિયોસક્રિય તત્ત્વ છે.

#### 7.18.1 પ્રાપ્તિસ્થાન (Occurrence)

ફ્લોરિન અને ક્લોરિન વિપુલ પ્રમાણમાં મળી આવે છે જ્યારે બ્રોમિન અને આયોડિન ઓછા પ્રમાણમાં મળી આવે છે. ફ્લોરિન મુખ્યત્વે અદ્રાવ્ય ફ્લોરાઇડ સંયોજનો તરીકે (ફ્લોરસ્પાર, CaF<sub>2</sub>, કાયોલાઇટ Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> અને ફ્લોરોએપેટાઇટ 3Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·CaF<sub>2</sub>) અને થોડી માત્રામાં જમીનમાં, નદીના પાણીમાં, વનસ્પતિઓમાં તથા પ્રાણીઓના હાડકાં અને દાંતમાં રહેલો હોય છે. સમુદ્રના પાણીમાં સોડિયમ, પોટેશિયમ, મેગ્નેશિયમ અને કેલ્શિયમના ક્લોરાઇડ, બ્રોમાઇડ અને આયોડાઇડ સંયોજનો રહેલા હોય છે પરંતુ મુખ્યત્વે સોડિયમ ક્લોરાઇડ દ્રાવણ (વજનથી 2.5%) હોય છે. શુષ્ક થયેલા સમુદ્રોના નિક્ષેપોમાં આ સંયોજનો રહેલા હોય છે દા.ત., સોડિયમ ક્લોરાઇડ અને કાર્નેલાઇટ KCl·MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O સમુદ્રી જીવોના કેટલાક સ્વરૂપો તેમના તંત્રોમાં આયોડિન ધરાવે છે; દા.ત., વિવિધ સામુદ્રિક વનસ્પતિઓ 0.5% સુધી આયોડિન ધરાવે છે અને ચિલિ સોલ્ટ પીટર 0.2% સુધી સોડિયમ આયોડેટ ધરાવે છે.

ટેન્નેસીન સિવાયના સમૂહ 17નાં તત્ત્વોના અગત્યના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મોને તેમની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સાથે કોષ્ટક 7.8માં દર્શાવેલા છે. ટેન્નેસીન એક સાંશ્લેષિત રેડિયોસક્રિય તત્ત્વ છે. તેની સંજ્ઞા Ts, પરમાણ્વીય ક્રમાંક 117, પરમાણ્વીય દળ 294 અને ઈલેક્ટ્રોનીય રચના [Rn] 5f<sup>14</sup>6d<sup>10</sup>7s<sup>2</sup>7p<sup>5</sup> છે. આ તત્ત્વ ખૂબજ ઓછા પ્રમાણમાં બનાવાય છે. તેનો અર્ધઆયુષ્ય સમય માત્ર મિલિસેકન્ડમાં છે. આ કારણે તેનું રાસાયણવિજ્ઞાન પ્રસ્થાપિત થઈ શક્યું નથી.

કોષ્ટક 7.8 : હેલોજન તત્ત્વોના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	F	Cl	Br	I	At*
પરમાણ્વીય ક્રમાંક	9	17	35	53	85
પરમાણ્વીય દળ/g mol <sup>-1</sup>	19.00	35.45	79.90	126.90	210
ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	[He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>
સહસંયોજક ત્રિજ્યા/pm	64	99	114	133	-
આયનીય ત્રિજ્યા X <sup>-</sup> /pm	133	184	196	220	-
આયનીકરણ એન્થાલ્પી / kJ mol <sup>-1</sup>	1680	1256	1142	1008	-
ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી / kJ mol <sup>-1</sup>	-333	-349	-325	-296	-
વિદ્યુતઋણતા <sup>b</sup>	4	3.2	3.0	2.7	2.2
Δ <sub>Hyd</sub> H(X <sup>-</sup> )/kJ mol <sup>-1</sup>	515	381	347	305	-
	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>Cl<sub>2</sub></b>	<b>Br<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	-
ગલનબિંદુ / K	54.4	172.0	265.8	386.6	-
ઉત્કલનબિંદુ / K	84.9	239.0	332.5	458.2	-
ઘનતા/ g cm <sup>-3</sup>	1.5 (85) <sup>c</sup>	1.66 (203) <sup>c</sup>	3.19 (273) <sup>c</sup>	4.94(293) <sup>d</sup>	-
અંતર/ X-X/pm	143	199	228	266	-
બંધવિયોજન એન્થાલ્પી/kJmol <sup>-1</sup>	158.8	242.6	192.8	151.1	-
E° /v <sup>e</sup>	2.87	1.36	1.09	0.54	-

<sup>a</sup> રેડિયોસક્રિય; <sup>b</sup> પાઉલિંગ માપકમ; <sup>c</sup> પ્રવાહી માટે તાપમાન (K) કૌંસમાં દર્શાવેલ છે; <sup>d</sup> ઘન; <sup>e</sup> અર્ધકોષ પ્રક્રિયા X<sub>2</sub>(g) + 2e<sup>-</sup> → 2X<sup>-</sup>(aq) છે.

કેટલાક પરમાણ્વીય, ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોના વલણોને નીચે ચર્ચવામાં આવ્યા છે.

### 7.18.2 ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configuration)

આ બધાં તત્ત્વો તેમના બાહ્યતમ કોશમાં (ns<sup>2</sup>np<sup>5</sup>) સાત ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે જે તેમની પછીના નિષ્ક્રિય વાયુ કરતાં એક ઇલેક્ટ્રોન ઓછો હોય છે.

### 7.18.3 પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા (Atomic and Ionic Radii)

હેલોજન તત્ત્વો મહત્તમ અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભારના કારણે તેમના અનુવર્તી આવર્તોમાં સૌથી ઓછી પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા ધરાવે છે. ફ્લોરિનની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા બીજા આવર્તના અન્ય તત્ત્વોની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા કરતાં ઘણી ઓછી હોય છે. ફ્લોરિનથી આયોડિન તરફ ક્વોન્ટમ કોશોના ક્રમ વધવાના કારણે તેમની પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યા વધે છે.

### 7.18.4 આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Ionisation Enthalpy)

તેઓ ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવવાનું ઓછું વલણ ધરાવે છે, તેથી તેઓ ઊંચી આયનીકરણ એન્થાલ્પી ધરાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા પરમાણ્વીય કદ વધવાના કારણે આયનીકરણ એન્થાલ્પી ઘટે છે.

### 7.18.5 ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી (Electron Gain Enthalpy)

હેલોજન તત્ત્વો તેના અનુવર્તી આવર્તમાં મહત્તમ ઋણ ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી ધરાવે છે. આનું કારણ એ છે કે આ તત્ત્વોના પરમાણુઓ સ્થાયી નિષ્ક્રિયવાયુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના કરતાં એક ઇલેક્ટ્રોન ઓછો ધરાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી ઓછી ઋણ થતી જાય છે. જોકે ફ્લોરિનની ઋણ ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી ક્લોરિનની ઋણ ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી કરતાં ઓછી હોય છે. આનું કારણ ફ્લોરિન પરમાણુનું નાનું કદ છે. પરિણામે ફ્લોરિનની સાપેક્ષીય નાની 2p કક્ષકોમાં પ્રબળ આંતર-ઇલેક્ટ્રોનીય અપાકર્ષણ હોય છે અને તેથી આવનાર ઇલેક્ટ્રોન વધુ આકર્ષણ અનુભવતો નથી.

### 7.18.6 વિદ્યુતઋણતા (Electronegativity)

તેઓ વધુ ઊંચી વિદ્યુતઋણતા ધરાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં વિદ્યુતઋણતા ઘટે છે. ફ્લોરિન આવર્તકોષ્ટકમાં સૌથી વધુ વિદ્યુતઋણમય તત્વ છે.

**કોયડો 7.14** આવર્તકોષ્ટકમાં હેલોજન તત્વો તેના અનુવર્તી આવર્તોમાં મહત્તમ ઋણ ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી ધરાવે છે. શા માટે ?

**ઉકેલ :** હેલોજન તત્વો તેના અનુવર્તી આવર્તોમાં સૌથી નાનું કદ ધરાવે છે અને તેથી અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભાર ઊંચો હોય છે. પરિણામે તેઓ સરળતાથી એક ઇલેક્ટ્રોન મેળવી નિષ્ક્રિય વાયુની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પ્રાપ્ત કરે છે.

### 7.18.7 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

હેલોજન તત્વો તેમના ભૌતિક ગુણધર્મોમાં એકધારુ વિચલન દર્શાવે છે. ફ્લોરિન અને ક્લોરિન વાયુઓ છે, બ્રોમિન પ્રવાહી છે અને આયોડિન ઘન છે. તેમના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ પરમાણ્વીય ક્રમાંક વધવાની સાથે નિયમિતપણે વધે છે. બધા હેલોજન તત્વો રંગીન હોય છે. આનું કારણ એ છે કે દૃશ્યમાન વર્ણપટમાં વિકિરણોનું અવશોષણ થાય છે જેના પરિણામે બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોન ઉત્તેજિત થઈને ઊંચા શક્તિસ્તરમાં જાય છે. વિકિરણના જુદા જુદા ક્વોન્ટમના અવશોષણ દ્વારા તેઓ જુદા જુદા રંગો દર્શાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે, F<sub>2</sub> પીળો, Cl<sub>2</sub> લીલાશ પડતો પીળો, Br<sub>2</sub> લાલ અને I<sub>2</sub> જાંબલી રંગ ધરાવે છે. ફ્લોરિન અને ક્લોરિન પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. બ્રોમિન અને આયોડિન પાણીમાં અલ્પદ્રાવ્ય હોય છે પરંતુ ક્લોરોફોર્મ, કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ, કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડ અને હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો જેવા જુદા જુદા કાર્બનિક દ્રાવકોમાં દ્રાવ્ય થઈ રંગીન દ્રાવણો આપે છે.

કોષ્ટક 7.8 પરથી આપણને એક જિજ્ઞાસાપૂર્ણ અનિયમિતતા એ જોવા મળી છે કે Cl<sub>2</sub>ની સરખામણીમાં F<sub>2</sub>ની વિયોજન એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો ઓછા હોય છે, જ્યારે ક્લોરિન પછી X - X બંધ વિયોજન એન્ટાલ્પીના મૂલ્યોમાં જોવા મળેલ અપેક્ષિત વલણ : Cl - Cl > Br - Br > I - I છે. આ અનિયમિતતાનું કારણ એ છે કે F<sub>2</sub> અણુમાં Cl<sub>2</sub> અણુ કરતાં એકબીજાની વધુ નજીક આવેલા અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મો વચ્ચેના ઇલેક્ટ્રોન-ઇલેક્ટ્રોન અપાકર્ષણ સાપેક્ષીય રીતે વધુ છે.

**કોયડો 7.15** ફ્લોરિનની ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી ક્લોરિનની સાપેક્ષમાં ઓછી ઋણ હોવા છતાં ફ્લોરિન, ક્લોરિન કરતાં પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે. શા માટે ?

**ઉકેલ :** તેનું કારણ ....

- F - F બંધની નીચી વિયોજન એન્ટાલ્પી (કોષ્ટક 7.8)
- F<sup>-</sup>ની ઊંચી જલીયકરણ એન્ટાલ્પી (કોષ્ટક 7.8)

### 7.18.8 રાસાયણિક ગુણધર્મો (Chemical Properties)

**ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ અને રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વલણો**

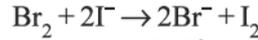
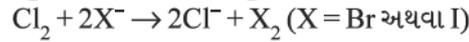
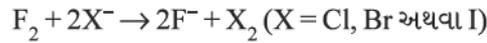
બધા હેલોજન તત્વો -1 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. જોકે ક્લોરિન, બ્રોમિન અને આયોડિન નીચે સમજાવ્યા મુજબ +1, +3, +5 અને +7 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ પણ દર્શાવે છે.

ભૂમિ અવસ્થામાં	ns	np	nd	
હેલોજન પરમાણુ (ફ્લોરિન સિવાયના)	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑		1 અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન -1 અથવા +1 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓનું સ્પષ્ટીકરણ આપે છે.
પ્રથમ ઉત્તેજિત અવસ્થા	↑↓	↑↓ ↑ ↑	↑	3 અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓનું સ્પષ્ટીકરણ આપે છે.
દ્વિતીય ઉત્તેજિત અવસ્થા	↑↓	↑ ↑ ↑	↑ ↑	5 અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓનું સ્પષ્ટીકરણ આપે છે.
તૃતીય ઉત્તેજિત અવસ્થા	↑	↑ ↑ ↑	↑ ↑ ↑	7 અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન +7 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓનું સ્પષ્ટીકરણ આપે છે.

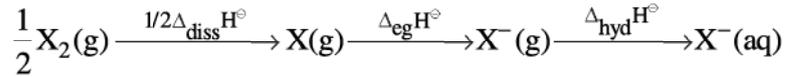
ક્લોરિન, બ્રોમિન અને આયોડિનની ઉચ્ચ ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ મુખ્યત્વે ત્યારે પ્રાપ્ત થાય છે જ્યારે હેલોજન તત્ત્વો નાના અને ઉચ્ચ વિદ્યુતઋણતાવાળા ફ્લોરિન અને ઓક્સિજન પરમાણુઓ સાથે સંયોજાય છે. દા.ત., આંતરહેલોજન સંયોજનો, ઓક્સાઇડ સંયોજનો અને ઓક્સોએસિડ સંયોજનોમાં, ક્લોરિન અને બ્રોમિનના ઓક્સાઇડ સંયોજનો અને ઓક્સોએસિડ સંયોજનોમાં +4 અને +6 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ જોવા મળે છે. ફ્લોરિન પરમાણુની સંયોજકતા કોશમાં ૮ કક્ષકો હોતી નથી અને તેથી તે તેનું અષ્ટક વિસ્તારી શકતા નથી. તે સૌથી વધુ વિદ્યુતઋણમય તરીકે માત્ર -1 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.

બંધ હેલોજન તત્ત્વો વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે. તેઓ ધાતુઓ અને અધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરીને હેલાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં હેલોજન તત્ત્વોની પ્રતિક્રિયાત્મકતા ઘટે છે.

ઇલેક્ટ્રોનને સહેલાઈથી સ્વીકારી શકવાના કારણે હેલોજન તત્ત્વો પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તાનો સ્વભાવ ધરાવે છે. F<sub>2</sub> સૌથી પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા હેલોજન છે અને તે અન્ય હેલાઇડ આયનોનું દ્રાવણમાં અથવા ઘન અવસ્થામાં પણ ઓક્સિડેશન કરે છે. સામાન્ય રીતે એક હેલોજન ઊંચા પરમાણ્વીય ક્રમાંકવાળા હેલાઇડ આયનોનું ઓક્સિડેશન કરે છે.



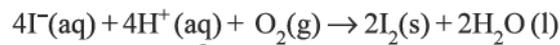
સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં હેલોજન તત્ત્વોની જલીય દ્રાવણમાં ઘટતી જતી ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકેની ક્ષમતાનો પુરાવો તેમના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ (કોષ્ટક 7.8) પરથી મળે છે, જે નીચે દર્શાવેલા પ્રાયલો પર આધાર રાખે છે.



હેલોજન તત્ત્વોની સાપેક્ષ ઓક્સિડેશનકર્તા શક્તિને તેમની પાણી સાથેની પ્રક્રિયાથી વધુ સારી રીતે સમજી શકાય છે. ફ્લોરિન પાણીનું ઓક્સિજનમાં ઓક્સિડેશન કરે છે જ્યારે ક્લોરિન અને બ્રોમિન પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરીને અનુવર્તી હાઇડ્રોહલિક અને હાઇપોહલસ એસિડ સંયોજનો બનાવે છે. આયોડિનની પાણી સાથેની પ્રક્રિયા અસ્વયંસ્ફુરિત હોય છે. વાસ્તવમાં, I<sup>-</sup>નું એસિડિક માધ્યમમાં ઓક્સિજન વડે ઓક્સિડેશન થઈ શકે છે; જે ફ્લોરિન દ્વારા જોવા મળતી પ્રક્રિયાની વિપરીત પ્રક્રિયા છે.



(જ્યાં X = Cl અથવા Br)



#### ફ્લોરિનની અનિયમિત વર્તણૂક

આવર્તકોષ્ટકમાં બીજા આવર્તમાં રહેલા p-વિભાગના અન્ય તત્ત્વોની જેમ ફ્લોરિન ઘણા ગુણધર્મોમાં અનિયમિતતા હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે ફ્લોરિન માટે આયનીકરણ એન્ટાલ્પી, વિદ્યુતઋણતા અને વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલના મૂલ્યો અન્ય હેલોજન તત્ત્વોના વલણો દ્વારા નક્કી થયેલ અપેક્ષિત મૂલ્યો કરતાં ઊંચાં હોય છે. આ ઉપરાંત આયનીય અને સહસંયોજક ત્રિજ્યા, ગ.બિં અને ઉ.બિં., બંધ વિયોજન એન્ટાલ્પી અને ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો અપેક્ષિત મૂલ્યો કરતાં વધુ નીચાં હોય છે. ફ્લોરિનની આ અનિયમિત વર્તણૂકનું કારણ તેનું નાનું કદ, સૌથી વધુ વિદ્યુતઋણતા, નીચી F-F બંધ વિયોજન એન્ટાલ્પી અને સંયોજકતા કોશમાં ૮ કક્ષકોની અપ્રાપ્યતા છે.

ફ્લોરિનની મોટા ભાગની પ્રક્રિયાઓ ઉષ્માક્ષેપક (તેનો અન્ય તત્ત્વો સાથે નાનો અને પ્રબળ બંધ બનવાના કારણે) છે. તે માત્ર એક જ ઓક્સોએસિડ બનાવે છે જ્યારે અન્ય હેલોજન તત્ત્વો અનેક ઓક્સોએસિડ સંયોજનો બનાવે છે. પ્રબળ હાઇડ્રોજન બંધનના કારણે હાઇડ્રોજન ફ્લોરાઇડ પ્રવાહી (ઉ.બિ. 293 K) હોય છે. ફ્લોરિનના નાના કદ અને

ઊંચી વિદ્યુતઋણતાના કારણે HFમાં હાઈડ્રોજન બંધ બને છે. મોટાકદ અને નીચી વિદ્યુતઋણતા ધરાવતાં અન્ય હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનો વાયુ સ્વરૂપમાં હોય છે.

(i) હાઈડ્રોજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : તેઓ બધા હાઈડ્રોજન સાથે પ્રક્રિયા કરી હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનો બનાવે છે, પરંતુ હાઈડ્રોજન માટેનું આકર્ષણ ફ્લોરિનથી આયોડિન સુધી ઘટતું જાય છે. હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનો પાણીમાં ઓગળીને હાઈડ્રોહેલિક એસિડ સંયોજનો બનાવે છે. હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનોના કેટલાક ગુણધર્મો કોષ્ટક 7.9માં દર્શાવેલા છે. આ એસિડ સંયોજનોની એસિડિક પ્રબળતાનો ક્રમ: HF < HCl < HBr < HI છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતાં આ હેલાઈડ સંયોજનોની સ્થાયીતા બંધ (H-X) વિયોજન એન્ટાલ્પી H-F > H-Cl > H-Br > H-I ક્રમમાં ઘટવાના કારણે ઘટે છે.

કોષ્ટક 7.9 : હાઈડ્રોજન હેલાઈડ સંયોજનોના ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	HF	HCl	HBr	HI
ગલનબિંદુ/K	190	159	185	222
ઉત્કલનબિંદુ/K	293	189	206	238
બંધલંબાઈ (H-X)/pm	91.7	127.4	141.4	160.9
$\Delta_{\text{diss}} H^{\circ}/\text{kJ mol}^{-1}$	574	432	363	295
$\text{pK}_a$	3.2	-7.0	-9.5	-10.0

(ii) ઓક્સિજન પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : હેલોજન તત્ત્વો ઓક્સિજન સાથે ઘણા ઓક્સાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. પરંતુ તે પૈકીના મોટા ભાગના અસ્થાયી હોય છે. ફ્લોરિન બે ઓક્સાઈડ સંયોજનો  $\text{OF}_2$  અને  $\text{O}_2\text{F}_2$  બનાવે છે. જો કે માત્ર  $\text{OF}_2$  જ 298 K તાપમાને ઉષ્મીય રીતે સ્થાયી છે. આ ઓક્સાઈડ સંયોજનો આવશ્યક રીતે ઓક્સિજન ફ્લોરાઈડ સંયોજનો છે કારણ કે ફ્લોરિન, ઓક્સિજન કરતાં વધુ વિદ્યુતઋણ છે. આ બંને પ્રબળ ફ્લોરિનેશન કર્તાઓ છે.  $\text{O}_2\text{F}_2$  પ્લુટોનિયમનું  $\text{PuF}_6$  માં ઓક્સિડેશન કરે છે અને આ પ્રક્રિયાનો ઉપયોગ શક્તિહીન ન્યુક્લિયર બળતણમાંથી પ્લુટોનિયમને  $\text{PuF}_6$  તરીકે દૂર કરવા માટે થાય છે.

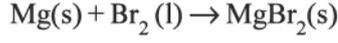
ક્લોરિન, બ્રોમિન અને આયોડિન ઓક્સાઈડ સંયોજનો બનાવે છે કે જેમાં આ હેલોજન તત્ત્વોની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓનો વિસ્તાર +1 થી +7 હોય છે. ગતિકી અને ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના પરિબળોના સંયોગીકરણના કારણે સામાન્ય રીતે હેલોજન તત્ત્વો દ્વારા બનતા ઓક્સાઈડ સંયોજનોની સ્થાયીતાનો ઘટતો ક્રમ  $\text{I} > \text{Cl} > \text{Br}$  હોય છે. આયોડિનના ઓક્સાઈડ સંયોજનોની સ્થાયીતાનું કારણ આયોડિન અને ઓક્સિજન વચ્ચેની વધુ ધ્રુવણીયતા (polarisability) છે. ક્લોરિનના કિસ્સામાં t-કક્ષકોની પ્રાપ્યતાના કારણે ક્લોરિન અને ઓક્સિજન વચ્ચે બહુબંધ બને છે, જે તેની સ્થાયીતા વધારે છે. બ્રોમિનમાં બંને લાક્ષણિકતાઓના અભાવના કારણે બ્રોમિનના ઓક્સાઈડ સંયોજનોની સ્થાયીતા સૌથી ઓછી હોય છે. હેલોજન તત્ત્વોના ઉચ્ચતર ઓક્સાઈડ સંયોજનોનું વલણ નિમ્નતર ઓક્સાઈડ સંયોજનો કરતા વધુ સ્થાયી થવાનું હોય છે.

ક્લોરિનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો  $\text{Cl}_2\text{O}$ ,  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}_6$  અને  $\text{Cl}_2\text{O}_7$  વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ઓક્સિડેશન કર્તાઓ છે અને વિસ્ફોટક વલણ ધરાવે છે.  $\text{ClO}_2$  કાગળના માવા અને કાપડ ઉદ્યોગમાં વિરંજન કર્તા તરીકે અને પાણીના શુદ્ધીકરણમાં ઉપયોગી થાય છે.

બ્રોમિનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો  $\text{Br}_2\text{O}$ ,  $\text{BrO}_2$ ,  $\text{BrO}_3$  સૌથી ઓછા સ્થાયી હેલોજન ઓક્સાઈડ સંયોજનો (મધ્ય હરોળ અનિયમિતતા) છે અને તેઓ માત્ર નીચા તાપમાને જ અસ્તિત્વ ધરાવે છે. તેઓ વધુ શક્તિશાળી ઓક્સિડેશન કર્તાઓ છે.

આયોડિનના ઓક્સાઈડ સંયોજનો  $\text{I}_2\text{O}_4$ ,  $\text{I}_2\text{O}_5$ ,  $\text{I}_2\text{O}_7$  અદ્રાવ્ય ઘન પદાર્થો છે અને ગરમી આપતાં વિઘટન પામે છે.  $\text{I}_2\text{O}_5$  ખૂબ સારો ઓક્સિડેશન કર્તા છે અને તે કાર્બન મોનોક્સાઈડના માપનમાં ઉપયોગી થાય છે.

(iii) ધાતુઓ પ્રત્યે પ્રતિક્રિયાત્મકતા : હેલોજન તત્ત્વો ધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરીને ધાતુ હેલાઈડ સંયોજનો બનાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે, બ્રોમિન, મેંગ્નેશિયમ સાથે પ્રક્રિયા કરીને મેંગ્નેશિયમ બ્રોમાઈડ બનાવે છે.



હેલાઈડ સંયોજનોના આયનીય લક્ષણ  $\text{MF} > \text{MCl} > \text{MBr} > \text{MI}$  ક્રમમાં ઘટે છે, જ્યાં M એકસંયોજક ધાતુ છે. જો ધાતુ એકથી વધુ ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવતી હોય તો ઉચ્ચ ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા હેલાઈડ સંયોજનો, નિમ્ન ઓક્સિડેશન અવસ્થાવાળા હેલાઈડ સંયોજનો કરતાં વધુ સહસંયોજક હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{PbCl}_4$ ,  $\text{SbCl}_5$  અને  $\text{UF}_6$  અનુક્રમે  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{PbCl}_2$ ,  $\text{SbCl}_3$  અને  $\text{UF}_4$  કરતા વધુ સહસંયોજક હોય છે.

- (iv) અન્ય હેલોજન તત્વો પ્રત્યે હેલોજન તત્વોની પ્રતિક્રિયાત્મકતા : હેલોજન તત્વો અન્ય હેલોજન તત્વો સાથે સંયોજાઈને અનેક સંયોજનો બનાવે છે, જે  $\text{XX}'$ ,  $\text{XX}_3'$ ,  $\text{XX}_5'$  અને  $\text{XX}_7'$  પ્રકારના આંતરહેલોજન સંયોજનો તરીકે ઓળખાય છે. જ્યાં X મોટા કદનું હેલોજન તત્વ છે અને X' નાના કદનું હેલોજન તત્વ છે.

### કોષ્ટકો 7.16

ફ્લોરિન માત્ર -1 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે જ્યારે અન્ય હેલોજન તત્વો +1, +3, +5 અને +7 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ પણ દર્શાવે છે. સમજાવો.

### ઉકેલ :

ફ્લોરિન સૌથી વધુ વિદ્યુતઋણમય તત્વ છે અને કોઈ પણ ધન ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવતું નથી. અન્ય હેલોજન તત્વો  $d$  કક્ષકો ધરાવે છે અને તેથી તેઓ તેમના અષ્ટકને વિસ્તારી શકે છે અને +1, +3, +5 અને +7 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ પણ દર્શાવે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 7.26 બંધ વિયોજન એન્થાલ્પી, ઈલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી અને જલીયકરણ એન્થાલ્પી જેવા પ્રાયલોને ધ્યાને લઈને  $\text{F}_2$  અને  $\text{Cl}_2$ ની ઓક્સિડેશનકર્તા શક્તિની સરખામણી કરો.
- 7.27 ફ્લોરિનની અનિયમિત વર્તણૂક દર્શાવતા હોય તેવા બે ઉદાહરણો જણાવો.
- 7.28 સમુદ્ર કેટલાક હેલોજન તત્વોનો મુખ્ય સ્ત્રોત છે. આલોચના કરો.

### 7.19 ક્લોરિન (Chlorine)

શીલેએ (Scheele) 1774માં  $\text{MnO}_2$  પર  $\text{HCl}$ ની પ્રક્રિયા દ્વારા ક્લોરિનની શોધ કરી હતી. 1810માં ડેવીએ (Davy) તેનો તાત્વિક સ્વભાવ સ્થાપિત કર્યો અને તેના રંગના આધારે તેનું નામ ક્લોરિન સૂચવ્યું (ગ્રીક, *Chloros* = લીલાશ પડતો પીળો).

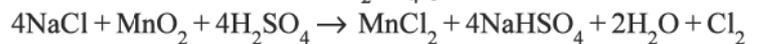
#### બનાવટ

ક્લોરિનને નીચે દર્શાવેલી પદ્ધતિઓમાંથી કોઈ પણ એક પદ્ધતિ વડે બનાવી શકાય છે :

- (i) મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઈડને સાંદ્ર હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ સાથે ગરમ કરતાં



જોકે  $\text{HCl}$ ના સ્થાને મીઠું અને સાંદ્ર  $\text{H}_2\text{SO}_4$ નું મિશ્રણ વપરાય છે.

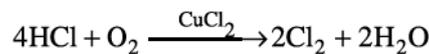


- (ii) પોટેશિયમ પરમેંગેનેટ પર  $\text{HCl}$ ની પ્રક્રિયા દ્વારા



#### ક્લોરિનનું ઉત્પાદન

- (i) ડીકન (Deacon) પ્રક્રમ : 723 K તાપમાને  $\text{CuCl}_2$  (ઉદ્દીપક)ની હાજરીમાં વાતાવરણીય ઓક્સિજન વડે હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડના ઓક્સિડેશન દ્વારા

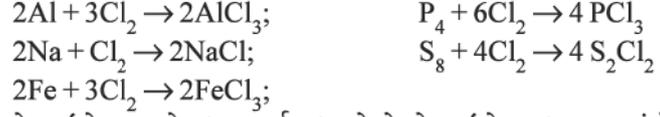


- (ii) વિદ્યુતવિભાજન પ્રક્રમ : ક્ષારજળના (brine) (સાંદ્ર  $\text{NaCl}$  દ્રાવણ) વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા ક્લોરિન મેળવવામાં આવે છે. ક્લોરિન એનોડ પર મુક્ત થાય છે. તે અનેક રાસાયણિક ઉદ્યોગોમાં ઉપપેદાશ તરીકે મળે છે.

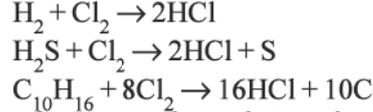
### ગુણધર્મો

તે તીવ્ર અને ગૂંચળામણકારક વાસ ધરાવતો લીલાશ પડતો પીળો વાયુ છે. તે હવા કરતાં 2-5 ગણો ભારે છે. તે સહેલાઈથી લીલાશ પડતા પીળા પ્રવાહીમાં પ્રવાહીકૃત પામે છે જે 239 K તાપમાને ઉકળે છે. તે પાણીમાં દ્રાવ્ય હોય છે.

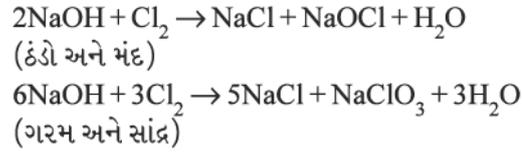
ક્લોરિન અનેક ધાતુઓ અને અધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરીને ક્લોરાઇડ સંયોજનો બનાવે છે.



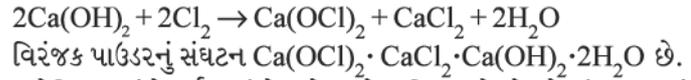
તે હાઇડ્રોજન માટે વધુ આકર્ષણ ધરાવે છે. તે હાઇડ્રોજન ધરાવતા સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરી HCl બનાવે છે.



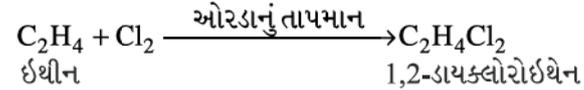
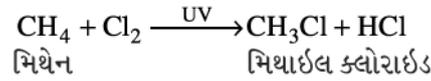
ક્લોરિન ઠંડા અને મંદ બેઇઝ સાથે ક્લોરાઇડ અને હાઇપોક્લોરાઇટનું મિશ્રણ બનાવે છે. પરંતુ ક્લોરિન ગરમ અને સાંદ્ર બેઇઝ સાથે ક્લોરાઇડ અને ક્લોરેટ આપે છે.



તે શુષ્ક ફોસ્ફોરસ યૂના સાથે વિરંજક પાઉડર બનાવે છે.

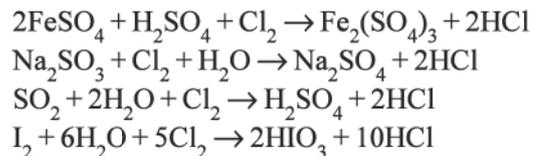


ક્લોરિન હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરે છે, તે સંતૃપ્ત હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો સાથે વિસ્થાપિત નીપજો અને અસંતૃપ્ત હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનો સાથે યોગશીલ નીપજો આપે છે. ઉદાહરણ તરીકે,



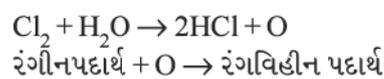
સ્થિર પડી રહેલું ક્લોરિન જળ તેમાં HCl અને HOCl બનવાને કારણે તેનો પીળો રંગ ગુમાવે છે. આ રીતે પ્રાપ્ત હાઇપોક્લોરસ એસિડ (HOCl) નવજાત ઓક્સિજન આપે છે, જે ક્લોરિનના ઓક્સિડેશન કરવાના અને વિરંજન કરવાના ગુણધર્મો માટે જવાબદાર હોય છે.

ક્લોરિન ફેરસનું ફેરિકમાં અને સલ્ફાઇડનું સલ્ફેટમાં ઓક્સિડેશન કરે છે. ક્લોરિન સલ્ફર ડાયોક્સાઇડનું સલ્ફર ટ્રાયોક્સાઇડમાં અને આયોડિનનું આયોડેટમાં ઓક્સિડેશન કરે છે. સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ અને આયોડિન પાણીની હાજરીમાં અનુક્રમે સલ્ફ્યુરિક એસિડ અને આયોડિક એસિડ બનાવે છે.



ક્લોરિન શક્તિશાળી વિરંજક છે, વિરંજન ક્રિયા ઓક્સિડેશનના કારણે થાય છે.

તે ભેજની હાજરીમાં શાકભાજી અથવા કાર્બનિક દ્રવ્યનું વિરંજન કરે છે. ક્લોરિનની વિરંજન અસર કાયમી હોય છે.



ઉપયોગો : તેનો ઉપયોગ (i) લાકડાના માવા (કાગળ અને રેયોનના ઉત્પાદન માટે જરૂરી), રૂ અને કાપડના વિરંજન માટે (ii) ગોલ્ડ અને પ્લેટિનમના નિષ્કર્ષણમાં (iii) રંગકો, ઔષધો અને  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CHCl}_3$ , DDT, પ્રશીતક વગેરે જેવા કાર્બનિક સંયોજનોના ઉત્પાદનમાં (iv) પીવાના પાણીને રોગાણુરહિત કરવામાં (v) ફોસ્જન ( $\text{COCl}_2$ ), અશ્રુવાયુ ( $\text{CCl}_3\text{NO}_2$ ), મસ્ટાર્ડવાયુ ( $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ) જેવા ઝેરી વાયુઓની બનાવટમાં થાય છે.

**કોયડો 7.17**  $\text{Cl}_2$ ની ગરમ અને સાંદ્ર  $\text{NaOH}$  સાથેની પ્રક્રિયા માટેનું સમતોલિત રાસાયણિક સમીકરણ લખો. શું આ પ્રક્રિયા વિષમીકરણ પ્રક્રિયા છે ? વાજબીપણુ તપાસો.

**ઉકેલ :**  $3\text{Cl}_2 + 6\text{NaOH} \rightarrow 5\text{NaCl} + \text{NaClO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$   
હા, ક્લોરિન શૂન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થામાંથી -1 તથા +5 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં રૂપાંતર પામે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

7.29  $\text{Cl}_2$ ની વિરંજન ક્રિયા માટેના કારણો આપો.

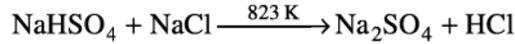
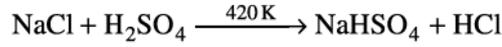
7.30 ક્લોરિન વાયુમાંથી બનાવી શકાય તેવા બે ઝેરી વાયુઓના નામ જણાવો.

## 7.20 હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડ (Hydrogen Chloride)

1648માં ગ્લોબરે (Glauber) મીઠાને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ સાથે ગરમ કરીને આ એસિડ બનાવ્યો હતો. 1810માં ડેવીએ (Davy) દર્શાવ્યું કે આ હાઈડ્રોજન અને ક્લોરિનનું સંયોજન છે.

### બનાવટ

પ્રયોગશાળામાં સોડિયમ ક્લોરાઈડને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ સાથે ગરમ કરીને હાઈડ્રોજન ક્લોરાઈડ બનાવી શકાય છે.



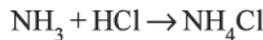
$\text{HCl}$  વાયુને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડમાંથી પસાર કરીને શુષ્ક કરી શકાય છે.

### ગુણધર્મો

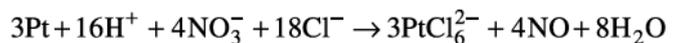
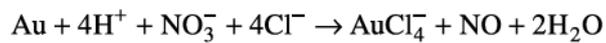
તે રંગવિહીન અને તીવ્ર વાસવાળો વાયુ છે. તે સહેલાઈથી રંગવિહીન પ્રવાહીમાં (ઉ.બિ.189 K) પ્રવાહીકરણ પામે છે અને સફેદ સ્ફટિકમય ઘનમાં (ઠારબિંદુ 159 K) ઠારણ પામે છે. તે પાણીમાં સંપૂર્ણ દ્રાવ્ય છે અને નીચે દર્શાવવા મુજબ આયનીકરણ પામે છે.



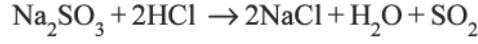
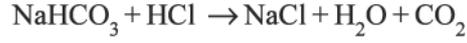
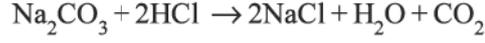
તેનું જલીય દ્રાવણ હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ કહેવાય છે. વિયોજન અચળાંક ( $K_a$ )નું ઊંચું મૂલ્ય સૂચવે છે કે તે પાણીમાં પ્રબળ એસિડ તરીકે હોય છે. તે  $\text{NH}_3$  સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ના સફેદ ધુમાડા આપે છે.



જ્યારે ત્રણ ભાગ સાંદ્ર  $\text{HCl}$  અને એક ભાગ સાંદ્ર  $\text{HNO}_3$ ને મિશ્ર કરવામાં આવે તો એકવારીજીયા (અમ્લરાજ) બને છે, જે ઉમદા ધાતુઓ દા.ત., સોનું, પ્લેટિનમને ઓગાળવામાં ઉપયોગી થાય છે.



હાઈડ્રોકલોરિક એસિડ નિર્બળ એસિડ સંયોજનોના ક્ષારોનું વિઘટન કરે છે, દા.ત., કાર્બોનેટ સંયોજનો, હાઈડ્રોજન કાર્બોનેટ સંયોજનો, સલ્ફાઈટ સંયોજનો વગેરે.



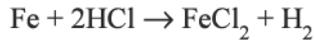
ઉપયોગો : તેનો ઉપયોગ (i) ક્લોરિન,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  અને ગ્લુકોઝના (મકાઈ સ્ટાર્ચમાંથી) ઉત્પાદનમાં (ii) હાડકાંમાંથી ગુંદરના નિષ્કર્ષણ માટે અને અસ્થિ કોલસાના (bone black) શુદ્ધીકરણ માટે (iii) ઔષધોમાં અને પ્રયોગશાળાના પ્રક્રિયક તરીકે થાય છે.

### કોયડો 7.18

જ્યારે HCl આયર્નના બારિક પાઉડર સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે તે ફેરસ ક્લોરાઈડ બનાવે છે અને ફેરિક ક્લોરાઈડ બનાવતા નથી. શા માટે ?

#### ઉકેલ :

તેની આયર્ન સાથેની પ્રક્રિયા  $\text{H}_2$  ઉત્પન્ન કરે છે.



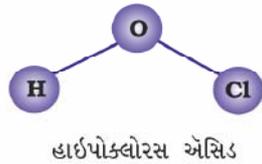
હાઈડ્રોજનની ઉત્પત્તિ ફેરિક ક્લોરાઈડના નિર્માણને રોકે છે.

### 7.21 હેલોજન તત્વોના ઓક્સોએસિડ સંયોજનો (Oxoacids of Halogens)

ઊંચી વિદ્યુતઋણતા અને નાના કદના કારણે ફ્લોરિન માત્ર એક જ ઓક્સોએસિડ HOF બનાવે છે, જે ફ્લોરિક (I) એસિડ અથવા હાઈપોફ્લોરસ એસિડ તરીકે ઓળખાય છે. અન્ય હેલોજન તત્વો અનેક ઓક્સોએસિડ સંયોજનો બનાવે છે. તે પૈકી મોટા ભાગના સંયોજનોનું શુદ્ધ અવસ્થામાં અલગીકરણ કરી શકાતું નથી. આ સંયોજનો માત્ર જલીય દ્રાવણોમાં અથવા તેમના ક્ષાર સ્વરૂપમાં સ્થાયી હોય છે. હેલોજન તત્વોના ઓક્સોએસિડ સંયોજનોને કોષ્ટક 7.10માં અને તેમના બંધારણોને આકૃતિ 7.8માં દર્શાવેલા છે.

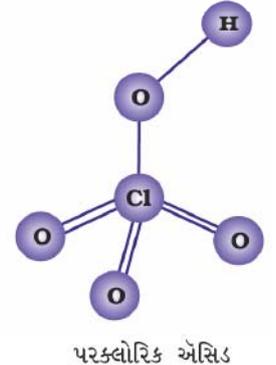
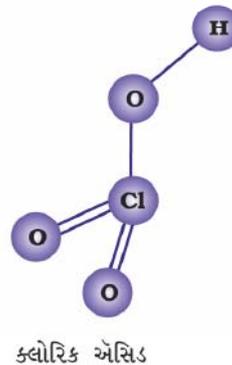
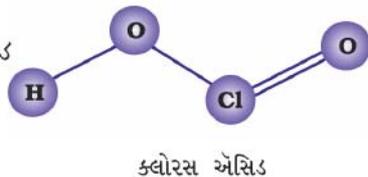
કોષ્ટક 7.10 : હેલોજન તત્વોના ઓક્સોએસિડ સંયોજનો

હેલિક (I) એસિડ (હાઈપોહેલસ એસિડ)	HOF (હાઈપોફ્લોરસ એસિડ)	HOCl (હાઈપોકલોરસ એસિડ)	HOBr (હાઈપોબ્રોમસ એસિડ)	HOI (હાઈપોઆયોડસ એસિડ)
હેલિક (III) એસિડ (હેલસ એસિડ)	-	HOClO (ક્લોરસ એસિડ)	-	-
હેલિક (V) એસિડ (હેલિક એસિડ)	-	HOClO <sub>2</sub> (ક્લોરિક એસિડ)	HOBrO <sub>2</sub> (બ્રોમિક એસિડ)	HOIO <sub>2</sub> (આયોડિક એસિડ)
હેલિક (VII) એસિડ (પરહેલિક એસિડ)	-	HOClO <sub>3</sub> (પરક્લોરિક એસિડ)	HOBrO <sub>3</sub> (પરબ્રોમિક એસિડ)	HOIO <sub>3</sub> (પરઆયોડિક એસિડ)



#### આકૃતિ 7.8 :

ક્લોરિનના ઓક્સોએસિડ સંયોજનોના બંધારણો



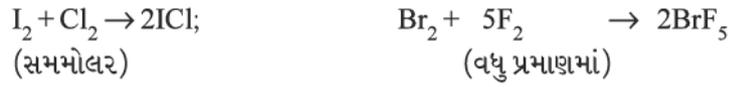
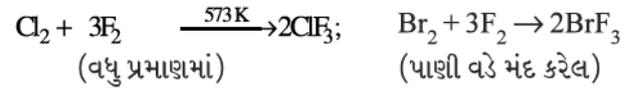
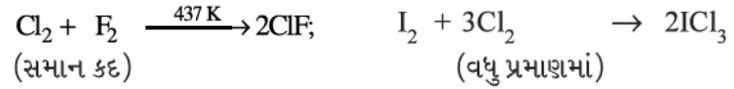
## 7.22 આંતરહેલોજન સંયોજનો (Interhalogen Compounds)

જ્યારે બે જુદા જુદા હેલોજન તત્ત્વો એકબીજા સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે આંતરહેલોજન સંયોજનો બને છે. તેમને સામાન્ય સંઘટન  $XX'$ ,  $XX_3'$ ,  $XX_5'$  અને  $XX_7'$  તરીકે દર્શાવાય છે, જ્યાં X માટો કદના હેલોજન અને X' નાના કદના હેલોજન છે તથા X એ X' કરતાં વધુ વિદ્યુતધન છે. જેમ X અને X' નો ગુણોત્તર વધતો જાય છે તેમ પ્રતિ અણુ પરમાણુઓની સંખ્યા પણ વધતી જાય છે. તેથી આયોડિન (VII) ફ્લોરાઇડમાં પરમાણુઓની સંખ્યા મહત્તમ હોવી જોઈએ કારણ કે I અને F વચ્ચે ત્રિજ્યાનો ગુણોત્તર મહત્તમ હોય છે. તેથી તેનું સૂત્ર  $IF_7$  (પરમાણુઓની મહત્તમ સંખ્યા ધરાવે છે) હોય છે.

બનાવટ

આંતરહેલોજન સંયોજનોને સીધા સંયોગીકરણ દ્વારા અથવા હેલોજનની નીચા આંતરહેલોજન સાથેની ક્રિયા દ્વારા બનાવી શકાય છે. બનતી નીપજ કેટલીક વિશિષ્ટ પરિસ્થિતિઓ પર આધાર રાખે છે.

દા.ત.,



ગુણધર્મો

આંતરહેલોજન સંયોજનોના કેટલાક ગુણધર્મો કોષ્ટક 7.11માં દર્શાવેલ છે.

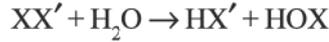
કોષ્ટક 7.11 : આંતરહેલોજન સંયોજનોના કેટલાક ગુણધર્મો

પ્રકાર	સૂત્ર	ભૌતિક અવસ્થા અને રંગ	બંધારણ
$XX'_1$	ClF	રંગવિહીન વાયુ	—
	BrF	આછો કથ્થાઈ વાયુ	—
	IF <sup>a</sup>	વર્ણપટદર્શકી દ્વારા સંસૂચિત	—
	BrCl <sup>b</sup>	વાયુ	—
	ICl	રુબિ લાલ ઘન ( $\alpha$ -સ્વરૂપ) કથ્થાઈ લાલ ઘન ( $\beta$ -સ્વરૂપ)	—
$XX'_3$	IBr	કાળો ઘન	—
	ClF <sub>3</sub>	રંગવિહીન વાયુ	વળેલો T- આકાર
	BrF <sub>3</sub>	પીળું લીલું પ્રવાહી	વળેલો T- આકાર
	IF <sub>3</sub>	પીળો પાઉડર	વળેલો T- આકાર (?)
$XX'_5$	ICl <sub>3</sub> <sup>c</sup>	નારંગી ઘન	વળેલો T- આકાર (?)
	IF <sub>5</sub>	રંગવિહીન વાયુ પણ 77 Kથી નીચા તાપમાને ઘન	સમચોરસ પિરામિડીય
	BrF <sub>5</sub>	રંગવિહીન પ્રવાહી	સમચોરસ પિરામિડીય
$XX'_7$	ClF <sub>5</sub>	રંગવિહીન પ્રવાહી	સમચોરસ પિરામિડીય
	IF <sub>7</sub>	રંગવિહીન વાયુ	પેન્ટાગોનલ બાય- પિરામિડીય

<sup>a</sup> અત્યંત અસ્થાયી; <sup>b</sup> ઓરડાના તાપમાને શુદ્ધ ઘન પદાર્થ જાણીતો છે; <sup>c</sup> Cl-સેતુવાળો દ્વિઅણુ ( $I_2Cl_2$ ) બનાવે છે.

આ બધા સહસંયોજક અણુઓ છે અને સ્વભાવે પ્રતિયુંબકીય હોય છે. CIF સિવાય 298 K તાપમાને તેઓ બાષ્પશીલ ઘન પદાર્થો અથવા પ્રવાહી સ્વરૂપે હોય છે, જ્યારે CIF વાયુ સ્વરૂપે હોય છે. ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ સિવાયના તેમના ભૌતિક ગુણધર્મો હેલોજન ઘટકોના મધ્યવર્તી હોય છે, તેમના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ અપેક્ષા કરતાં સહેજ ઊંચા હોય છે.

તેમના રાસાયણિક ગુણધર્મોની સરખામણી વ્યક્તિગત હેલોજન તત્ત્વો સાથે કરી શકાય છે. સામાન્ય રીતે આંતરહેલોજન સંયોજનો હેલોજન તત્ત્વો (ફ્લોરિન સિવાય) કરતા વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે. આનું કારણ આંતરહેલોજન સંયોજનોમાં X-X' બંધ, હેલોજન તત્ત્વોમાં રહેલા X-X બંધ (F-F બંધ સિવાય) કરતાં નબળો હોય છે. આ બધા સંયોજનો જળવિભાજન પામીને નાના હેલોજનમાંથી હેલાઈડ આયન આપે છે અને મોટા હેલોજનમાંથી હાઈપોહેલાઈટ (જ્યારે XX'), હેલાઈટ (જ્યારે XX'<sub>3</sub>), હેલેટ (જ્યારે XX'<sub>5</sub>) અને પરહેલેટ (જ્યારે XX'<sub>7</sub>) એનાયન બનાવે છે.

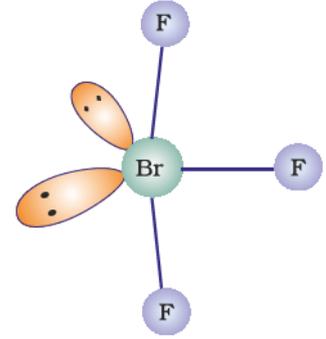


તેમના આણ્વીય બંધારણો વધુ રસપ્રદ હોય છે જેને VSEPR સિદ્ધાંતના આધારે સમજાવી શકાય છે (કોયડો 7.19). XX'<sub>3</sub> સંયોજનો વળેલો “T” આકાર, XX'<sub>5</sub> સંયોજનો સમચોરસ પિરામિડલ અને IF<sub>7</sub> પેન્ટાગોનલ બાયપિરામિડલ બંધારણો ધરાવે છે (કોષ્ટક 7.11).

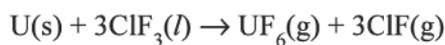
**કોયડો 7.19** VSEPR સિદ્ધાંતના આધારે BrF<sub>3</sub>નો આણ્વીય આકાર ચર્ચો.

**ઉકેલ :**

મધ્યસ્થ પરમાણુ Br તેના સંયોજકતા કોશમાં સાત ઈલેક્ટ્રોન ધરાવે છે. આ પૈકીના ત્રણ ઈલેક્ટ્રોન ફ્લોરિનના ત્રણ પરમાણુઓ સાથે ઈલેક્ટ્રોનયુગ્મ બંધ બનાવે છે તથા ચાર ઈલેક્ટ્રોન બાકી રહે છે. આમ, ત્રણ બંધકારક યુગ્મો અને બે અબંધકારકયુગ્મો હોય છે. VSEPR સિદ્ધાંત મુજબ આ ઈલેક્ટ્રોનયુગ્મો ટ્રાયગોનલ બાયપિરામિડના ખૂણાઓમાં સ્થાન લેશે. બે અબંધકારકયુગ્મો, અબંધકારકયુગ્મ - અબંધકારકયુગ્મ અને બંધકારકયુગ્મ- અબંધકારકયુગ્મ વચ્ચેના અપાકર્ષણને ન્યૂનતમ કરવા નિરક્ષીય સ્થાન મેળવે છે, આ અપાકર્ષણો બંધકારકયુગ્મ-બંધકારકયુગ્મ વચ્ચેના અપાકર્ષણ કરતાં વધુ હોય છે. આ ઉપરાંત અક્ષીય ફ્લોરિન પરમાણુઓ, અબંધકારકયુગ્મ - અબંધકારકયુગ્મ અપાકર્ષણને ન્યૂનતમ કરવા માટે નિરક્ષીય ફ્લોરિન પરમાણુઓ તરફ વળશે. આમ, તેનો આકાર થોડોક વળેલા “T” જેવો થાય છે.



**ઉપયોગો :** આ સંયોજનોને બિનજલીય દ્રાવકો તરીકે વાપરી શકાય છે. આંતરહેલોજન સંયોજનો ઘણા ઉપયોગી ફ્લોરિનેશન કર્તાઓ છે. <sup>235</sup>Uની સંવૃદ્ધિ માટે UF<sub>6</sub>ના ઉત્પાદનમાં CIF<sub>3</sub> અને BrF<sub>3</sub>નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.



**લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન**

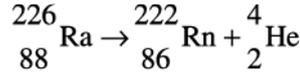
7.31 ICl શા માટે I<sub>2</sub> કરતાં વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક છે ?

## 7.23 સમૂહ 18ના તત્ત્વો (Group 18 Elements)

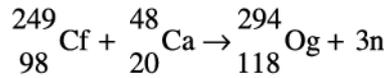
### 7.23.1 પ્રાપ્તિસ્થાન (Occurrence)

સમૂહ 18 સાત તત્ત્વો ધરાવે છે : હિલિયમ, નિયોન, આર્ગોન, ક્રિપ્ટોન, જેનોન, રેડોન અને ઓગનેસોન આ બધા વાયુઓ છે અને રાસાયણિક રીતે અપ્રતિક્રિયાત્મક (નિષ્ક્રિય) છે. તેઓ ખૂબ ઓછા સંયોજનો બનાવે છે, આ કારણે તેમને ઉમદા વાયુઓ કહેવાય છે.

રેડોન અને ઓગનેસોન સિવાયના બધા ઉમદા વાયુઓ વાતાવરણમાં મળી આવે છે. શુષ્ક હવામાં તેમની વાતાવરણીય પ્રચુરતા કદથી ~1 % જેટલી હોય છે, જેમાં આર્ગોન મુખ્ય ઘટક છે. હિલિયમ અને કેટલીક વખત નિયોન રેડિયોસક્રિય ઉત્પત્તિની ખનીજોમાં મળી આવે છે. દા.ત., પિચબ્લેન્ડ, મોનાઝાઈટ, ક્લીવાઈટ. હિલિયમનો મુખ્ય વ્યાપારિક સ્રોત કુદરતી વાયુ છે. જેનોન અને રેડોન આ સમૂહના સૌથી વિરલ તત્ત્વો છે. રેડોનને  $^{226}\text{Ra}$ ની ક્ષયિત નીપજ તરીકે મેળવવામાં આવે છે.



ઓગનેસોનનું સાંશ્લેષિત ઉત્પાદન  ${}_{98}^{249}\text{Cf}$  પરમાણુઓ અને  ${}_{20}^{48}\text{Ca}$  આયનોના સંઘાત દ્વારા કરવામાં આવે છે.



**કોયડો 7.20** સમૂહ 18ના તત્ત્વો શા માટે ઉમદા વાયુઓ તરીકે ઓળખાય છે ?

**ઉકેલ :** સમૂહ 18ના તત્ત્વો તેમની સંપૂર્ણ ભરાયેલી સંયોજકતા કોશ કક્ષકો ધરાવે છે અને તેથી નિશ્ચિત પરિસ્થિતિઓમાં માત્ર થોડાં તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. તેથી તેઓ હાલમાં ઉમદાવાયુઓ તરીકે ઓળખાય છે.

ઓગનેસોનની સંજ્ઞા Og, પરમાણ્વીય ક્રમાંક 118, પરમાણ્વીય દળ 294 અને ઈલેક્ટ્રોનીયરચના  $[\text{Rn}] 5f^{14}6d^{10}7s^27p^6$  છે. Ognું ઉત્પાદન ખૂબજ ઓછા પ્રમાણમાં કરવામાં આવે છે. તેનું અર્ધઆયુષ્ય 0.7 મિલિસેકન્ડ હોય છે. તેથી તેના રસાયણવિજ્ઞાનના માત્ર મુખ્ય અનુમાનો કરાયા છે.

સમૂહ 18ના તત્ત્વોના અગત્યના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મોને તેમની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના સાથે કોષ્ટક 7.12માં દર્શાવવામાં આવ્યા છે. આ સમૂહના કેટલાક પરમાણ્વીય, ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં વલણોને અહીં ચર્ચવામાં આવ્યા છે.

કોષ્ટક 7.12 : સમૂહ 18નાં તત્ત્વોના પરમાણ્વીય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મ	He	Ne	Ar	K	Xe	Rn*
પરમાણ્વીય ક્રમાંક	2	10	18	36	54	86
પરમાણ્વીયદળ/g mol <sup>-1</sup>	4.00	20.18	39.95	83.30	131.30	222.00
ઈલેક્ટ્રોનીય રચના	1s <sup>2</sup>	[He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>
પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા/pm	120	160	190	200	220	-
આયનીકરણ એન્ટાલ્પી/ kJ mol <sup>-1</sup>	2372	2080	1520	1351	1170	1037
ઈલેક્ટ્રોન પ્રાપ્તિ એન્ટાલ્પી / kJ mol <sup>-1</sup>	48	116	96	96	77	68
ઘનતા (STP એ)/g cm <sup>-3</sup>	1.8×10 <sup>-4</sup>	9.0×10 <sup>-4</sup>	1.8×10 <sup>-3</sup>	3.7×10 <sup>-3</sup>	5.9×10 <sup>-3</sup>	9.7×10 <sup>-3</sup>
ગલનબિંદુ/K	-	24.6	83.8	115.9	161.3	202
ઉત્કલનબિંદુ/K	4.2	27.1	87.2	119.7	165.0	211
વાતાવરણીય પ્રમાણ (% કદથી)	5.24×10 <sup>-4</sup>	-	1.82×10 <sup>-3</sup>	0.934	1.14×10 <sup>-4</sup>	8.7×10 <sup>-6</sup>

\* રેડિયોસક્રિય

- 7.23.2 ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configuration) હિલિયમ સિવાય બધા ઉમદા વાયુઓની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^6$  છે, હિલિયમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2$  છે (કોષ્ટક 7.12). ઉમદા વાયુઓની સંવૃત કોશ રચનાના કારણે તેમના નિષ્ક્રિય સ્વભાવ સહિતના અનેક ગુણધર્મો જોવા મળે છે.
- 7.23.3 આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Ionisation Enthalpy) સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાના કારણે આ વાયુઓ ઘણી ઊંચી આયનીકરણ એન્થાલ્પી દર્શાવે છે. જોકે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં તે પરમાણ્વીય કદ વધવાની સાથે ઘટે છે.
- 7.23.4 આયનીય ત્રિજ્યા (Atomic Radii) સમૂહમાં ઉપરથી નીચેની તરફ જતા આયનીય ત્રિજ્યા, પરમાણ્વીય ક્રમાંક વધવાની સાથે વધે છે.
- 7.23.5 ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી (Electron Gain Enthalpy) ઉમદા વાયુઓ સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવતા હોવાથી તેઓ ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારવાની વૃત્તિ ધરાવતા નથી અને તેથી તેઓ ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીનું વધુ ધન મૂલ્ય ધરાવે છે.

#### ભૌતિક ગુણધર્મો

બધા ઉમદા વાયુઓ એકપરમાણ્વીય છે. તેઓ રંગવિહીન, વાસવિહીન અને સ્વાદવિહીન છે. તેઓ પાણીમાં અલ્પદ્રાવ્ય છે. તેઓ ઘણા નીચા ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુઓ ધરાવે છે. કારણ કે આ તત્ત્વોમાં એક માત્ર આંતરપરમાણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા પ્રકારના નિર્બળ પ્રકીર્ણન બળો છે. જાણીતા પદાર્થોમાં હિલિયમનું ઉત્કલનબિંદુ (4.2 K) સૌથી નીચું છે. હિલિયમ પ્રયોગશાળામાં ઉપયોગમાં લેવાતા સૌથી વધુ સામાન્ય પદાર્થો જેવા કે રબર, કાચ અથવા પ્લાસ્ટિકમાંથી પ્રસરણ પામવાનો ગુણધર્મ ધરાવે છે.

**કોયડો 7.21** ઉમદા વાયુઓ અત્યંત નીચા ઉત્કલનબિંદુ ધરાવે છે ? શા માટે ?

**ઉકેલ :** ઉમદા વાયુઓ એક પરમાણ્વીય તરીકે નિર્બળ પ્રકીર્ણન બળો સિવાય કોઈ આંતરઆણ્વીય બળો ધરાવતા નથી, તેથી તેઓ અત્યંત નીચા તાપમાને પ્રવાહીમાં ફેરવાય છે. આમ, તેઓ નીચા ઉત્કલનબિંદુઓ ધરાવે છે.

#### રાસાયણિક ગુણધર્મો

સામાન્ય રીતે ઉમદા વાયુઓ સૌથી ઓછા પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે. તેમની રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા પ્રત્યેની નિષ્ક્રિયતાના કારણે નીચે દર્શાવેલા છે :

- હિલિયમ ( $1s^2$ ) સિવાયના ઉમદા વાયુઓ તેમની સંયોજકતા કોશમાં સંપૂર્ણ ભરાયેલી ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^6$  ધરાવે છે.
- તેઓ ઊંચી આયનીકરણ એન્થાલ્પી અને વધુ ધન ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી ધરાવે છે.

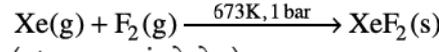
ઉમદા વાયુઓની શોધના સમયથી જ તેમની પ્રતિક્રિયાત્મકતા વારંવાર તપાસવામાં આવતી હતી, પરંતુ પ્રક્રિયા કરીને તેમના સંયોજનો બનાવવાના બધા પ્રયત્નો થોડા વર્ષો સુધી અસફળ રહ્યા હતા. માર્ચ 1962માં નીલ બાર્ટલેટ્ટે (Neil Bartlett) જે-તે સમયે બ્રિટિશ કોલંબિયા યુનિવર્સિટીમાં હતા, તેમણે એક ઉમદા વાયુની પ્રક્રિયાને અવલોકી હતી. તેમણે સૌપ્રથમ લાલ રંગનું સંયોજન બનાવ્યું હતું જેને  $O_2^+PtF_6^-$  સૂત્ર વડે દર્શાવી શકાય છે. તેમણે અનુભવ્યું કે આણ્વીય ઓક્સિજનની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પી ( $1175 \text{ kJmol}^{-1}$ ) લગભગ ઝેનોનની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પી ( $1170 \text{ kJmol}^{-1}$ ) જેટલી હતી. તેમણે Xe સાથે તેવા જ પ્રકારનું સંયોજન બનાવવાના પ્રયત્નો કર્યા હતા તથા  $PtF_6$  અને ઝેનોનને મિશ્ર કરીને લાલરંગનું અન્ય એક સંયોજન  $Xe^+PtF_6^-$  બનાવવામાં સફળતા પ્રાપ્ત કરી હતી. આ શોધ પછી ઝેનોનના અનેક સંયોજનો જેમાં મુખ્યત્વે ફ્લોરિન અને ઓક્સિજન જેવા વધુ વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વો સાથે સંશ્લેષિત કરવામાં આવ્યા છે.

ક્રિપ્ટોનના સંયોજનો ઘણા ઓછા છે. માત્ર ડાયફ્લોરાઇડ ( $KrF_2$ ) સંયોજનનો ઊંડાણમાં અભ્યાસ થયો છે. રેડોનના સંયોજનોનું અલગીકરણ થઈ શક્યું નથી પરંતુ

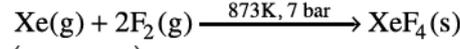
તેમની ઓળખ (દા.ત., RnF<sub>2</sub>) રેડિયો અનુજ્ઞાપક (radiotracer) પ્રવિધિ દ્વારા કરવામાં આવી છે. Ar, Ne અથવા Heના વાસ્તવિક સંયોજનો જાણીતા નથી.

(a) ઝેનોન-ફ્લોરિન સંયોજનો

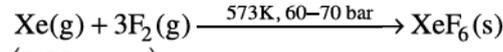
યોગ્ય પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિઓમાં તત્વોની સીધી પ્રક્રિયા દ્વારા ઝેનોન ત્રણ દ્વિઅંગી ફ્લોરાઇડ સંયોજનો XeF<sub>2</sub>, XeF<sub>4</sub> અને XeF<sub>6</sub> બનાવે છે.



(વધુ પ્રમાણમાં ઝેનોન)

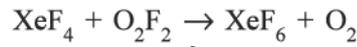


(1:5 પ્રમાણ)

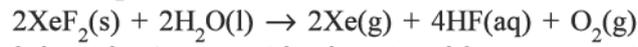


(1:20 પ્રમાણ)

XeF<sub>6</sub> ને પણ 143 K તાપમાને XeF<sub>4</sub> અને O<sub>2</sub>F<sub>2</sub>ની પારસ્પરિક ક્રિયા દ્વારા બનાવી શકાય છે.

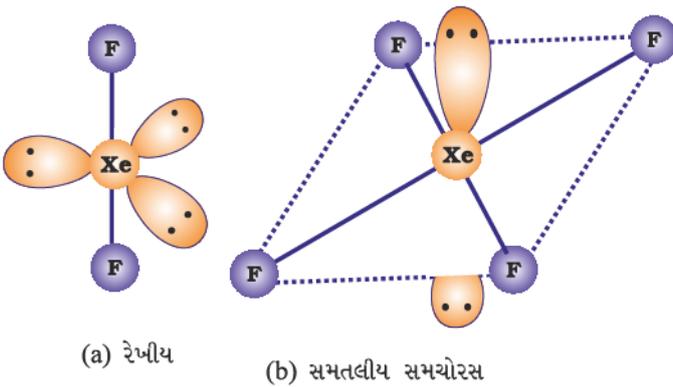
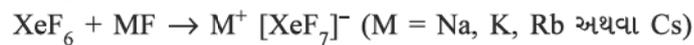


XeF<sub>2</sub>, XeF<sub>4</sub> અને XeF<sub>6</sub> રંગવિહીન સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો છે અને તેઓ 298 K તાપમાને સરળતાથી ઊર્ધ્વપાતન પામે છે. તેઓ શક્તિશાળી ફ્લોરિનેશનકર્તાઓ છે. તેઓ પાણીના ઓછા જથ્થાથી પણ જળવિભાજન પામે છે. ઉદાહરણ તરીકે XeF<sub>2</sub> જળવિભાજન પામીને Xe, HF અને O<sub>2</sub> આપે છે.



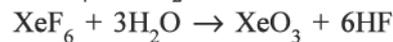
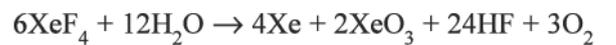
ઝેનોન ફ્લોરાઇડના ત્રણ સંયોજનોના બંધારણોને VSEPR સિદ્ધાંતના આધારે નક્કી કરી શકાય છે. આ બંધારણોને આકૃતિ 7.9માં દર્શાવેલા છે. XeF<sub>2</sub> અને XeF<sub>4</sub> અનુક્રમે રેખીય અને સમતલીય સમચોરસ બંધારણો ધરાવે છે. XeF<sub>6</sub> સાત ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મો (6 બંધકારકયુગ્મો અને એક અબંધકારકયુગ્મ) ધરાવે છે, આથી તે વાયુ અવસ્થામાં પ્રાયોગિક રીતે જોવા મળેલ વિકૃત અષ્ટફલકીય બંધારણ ધરાવે છે.

ઝેનોન ફ્લોરાઇડ સંયોજનો ફ્લોરાઇડ આયનગ્રાહી સાથે પ્રક્રિયા કરીને કેટાયનીય સ્પિસીઝ બનાવે છે તથા ફ્લોરાઇડ આયન દાતા સાથે પ્રક્રિયા કરીને ફ્લોરો એનાયન બનાવે છે.

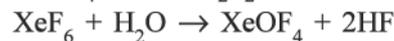


(b) ઝેનોન-ઓક્સિજન સંયોજનો

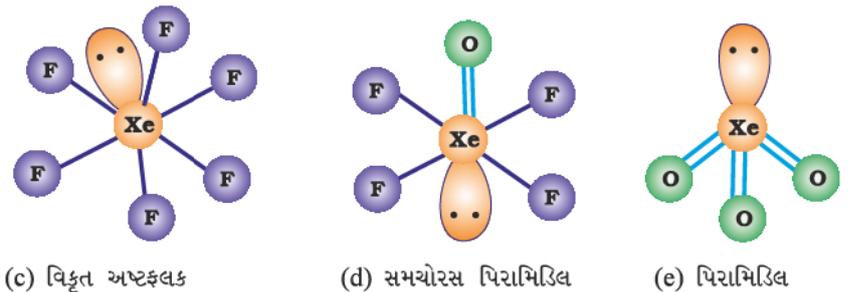
XeF<sub>4</sub> અને XeF<sub>6</sub> પાણી સાથે જળવિભાજન પામીને XeO<sub>3</sub> આપે છે.



XeF<sub>6</sub>નું આંશિક જળવિભાજન ઓક્સિફ્લોરાઇડ સંયોજનો XeOF<sub>4</sub> અને XeO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> આપે છે.



આકૃતિ 7.9 : (a) XeF<sub>2</sub> (b) XeF<sub>4</sub> (c) XeF<sub>6</sub> (d) XeOF<sub>4</sub> અને (e) XeO<sub>3</sub>ની બંધારણો.



$\text{XeO}_3$  રંગવિહીન વિસ્ફોટ ધન પદાર્થ છે અને તે પિરામિડલ આણ્વીય બંધારણ (આકૃતિ 7.9) ધરાવે છે.  $\text{XeOF}_4$  રંગવિહીન બાષ્પશીલ પ્રવાહી છે અને તે સમચોરસ પિરામિડલ આણ્વીય બંધારણ (આકૃતિ 7.9) ધરાવે છે.

**કોયડો 7.22** શું  $\text{XeF}_6$ નું જળવિભાજન એક રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે ?

**ઉકેલ :** ના, જળવિભાજનની નીપજો  $\text{XeOF}_4$  અને  $\text{XeO}_2\text{F}_2$  છે જેમાં બંધાં તત્વોની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ પ્રક્રિયા પહેલાની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓને સમાન છે.

**ઉપયોગો :** હિલિયમ અજવલનશીલ અને હલકો વાયુ છે. આથી તેનો ઉપયોગ હવામાનના અવલોકનો માટે કુગ્ગામાં ભરવામાં થાય છે. તેનો ઉપયોગ વાયુશીતિત (gas-cooled) ન્યુક્લિયર ભટ્ટીમાં પણ થાય છે. પ્રવાહી હિલિયમનો (ઉ.બિં. 4.2 K) નીચા તાપમાને કરવામાં આવતા જુદા જુદા પ્રયોગો માટે નિમ્નતાપકર્તા તરીકે ઉપયોગ થાય છે. પ્રવાહી હિલિયમનો ઉપયોગ શક્તિશાળી અતિવાહક ચુંબકના ઉત્પાદનમાં અને તેને ટકાવી રાખવામાં થાય છે, જે આધુનિક NMR સ્પેક્ટ્રોમીટર અને ચિકિત્સીય નિદાન માટે ચુંબકીય સસ્યંદન પ્રતિબિંબ (Magnetic Resonance Imaging) (MRI) તંત્રના આવશ્યક ભાગ બનાવે છે. તેની રુધિરમાં ઓછી દ્રાવ્યતાના કારણે તે આધુનિક નિમજ્જન સાધનમાં (diving apparatus) ઓક્સિજન મંદક તરીકે ઉપયોગી થાય છે.

નિયોનનો ઉપયોગ વીજવિભાર નળીઓમાં અને જાહેરાતના પ્રદર્શન હેતુઓ માટે પ્રસ્ફુરક બલ્બોમાં થાય છે. નિયોન બલ્બોનો ઉપયોગ વાનસ્પતિય બગીચાઓમાં તથા ગ્રીનહાઉસમાં થાય છે.

આર્ગોનનો મુખ્ય ઉપયોગ ઊંચા તાપમાને ધાતુકર્મ પ્રક્રમોમાં (ધાતુઓ અને મિશ્રધાતુઓના ચાપ જોડાણ) નિષ્ક્રિય વાતાવરણ પૂરું પાડવામાં અને વિદ્યુત બલ્બોમાં ભરવા માટે થાય છે. તેનો ઉપયોગ પ્રયોગશાળામાં હવા સંવેદનશીલ પદાર્થોના વ્યવસ્થાપનમાં થાય છે. ઝેનોન અને ક્રિપ્ટોનનો કોઈ અર્થસૂચક ઉપયોગ નથી. તેમનો ઉપયોગ વિશિષ્ટ હેતુઓ માટે બનાવાતા હલકા બલ્બોમાં થાય છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

7.32 શા માટે નિમજ્જન સાધનોમાં હિલિયમનો ઉપયોગ થાય છે ?

7.33 નીચે દર્શાવેલા સમીકરણને સમતોલિત કરો :  $\text{XeF}_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{XeO}_2\text{F}_2 + \text{HF}$

7.34 રેડોનના રસાયણવિજ્ઞાનનો અભ્યાસ શા માટે મુશ્કેલ છે ?

## સારાંશ

આવર્તકોષ્ટકના સમૂહ 13થી 18  $p$ -વિભાગના તત્ત્વો ધરાવે છે. તેમના સંયોજકતા કોશની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^{1-6}$  છે. સમૂહો 13 અને 14 નો અભ્યાસ ધોરણ XIમાં કરવામાં આવ્યો છે. આ એકમમાં  $p$ -વિભાગના બાકીના સમૂહોની ચર્ચા કરવામાં આવી છે.

સમૂહ 15 પાંચ તત્ત્વો N, P, As, Sb અને Bi ધરાવે છે જેની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^3$  હોય છે. નાઇટ્રોજન તેના નાના કદ, સ્વયં તથા ઊંચી વિદ્યુતઋણતાવાળા પરમાણુઓ જેવા કે O અથવા Cની સાથે  $p\pi-p\pi$  બહુબંધોના નિર્માણ તથા  $d$ -કક્ષકોની અપ્રાપ્યતાથી તેની સંયોજકતા કોશનો વિસ્તાર થવો વગેરે કારણોથી આ સમૂહના અન્ય તત્ત્વોથી અલગ પડે છે. સમૂહ 15ના તત્ત્વો ગુણધર્મોમાં ક્રમાનુસાર ગોઠવણી દર્શાવે છે. તેઓ ઓક્સિજન, હાઇડ્રોજન અને હેલોજન તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. તેઓ અગત્યની બે ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ +3 અને +5 દર્શાવે છે, પરંતુ ભારે તત્ત્વો 'નિષ્ક્રિય યુગ્મ અસર'ના કારણે +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાની તરફેણ કરે છે.

ડાયનાઇટ્રોજનને પ્રયોગશાળામાં તેમજ ઔદ્યોગિક સ્તરે પણ બનાવી શકાય છે. તે જુદી જુદી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_4$  અને  $N_2O_5$  જેવા ઓક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. આ ઓક્સાઇડ સંયોજનો સસ્પંદનીય બંધારણો અને બહુબંધો ધરાવે છે. એમોનિયાને મોટા પાયે હેબર પ્રક્રમ દ્વારા બનાવી શકાય છે.  $HNO_3$  એક અગત્યનું ઔદ્યોગિક રસાયણ છે. તે પ્રબળ મોનોબેઝિક એસિડ અને શક્તિશાળી ઓક્સિડેશનકર્તા છે. ધાતુઓ અને અધાતુઓ જુદી જુદી પરિસ્થિતિઓમાં  $HNO_3$  સાથે પ્રક્રિયા કરી  $NO$  અથવા  $NO_2$  બનાવે છે.

ફોસ્ફરસ પરમાણ્વીય સ્વરૂપમાં  $P_4$  તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. તે ઘણા અપરરૂપો સ્વરૂપે હોય છે. તે હાઇડ્રાઇડ  $PH_3$  બનાવે છે જે વધુ ઝેરી વાયુ છે. તે બે પ્રકારના હેલાઇડ સંયોજનો  $PX_3$  અને  $PX_5$  બનાવે છે.  $PCl_3$  સફેદ ફોસ્ફરસની શુષ્ક ક્લોરિન સાથેની પ્રક્રિયાથી બને છે, જ્યારે  $PCl_5$  ફોસ્ફરસની  $SO_2Cl_2$  સાથેની પ્રક્રિયાથી બને છે. ફોસ્ફરસ અનેક ઓક્સોએસિડ સંયોજનો બનાવે છે. તેમની બેઝિકતા P-OH સમૂહોની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે. P-H બંધો ધરાવતા ઓક્સોએસિડ સંયોજનો સારા રિડક્શનકર્તાઓ છે.

સમૂહ 16ના તત્ત્વો સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^4$  ધરાવે છે. તેઓ મહત્તમ ઓક્સિડેશન અવસ્થા +6 દર્શાવે છે. સમૂહ 16ના તત્ત્વોમાં ભૌતિક અને રસાયણિક ગુણધર્મોમાં ક્રમિક ગોઠવણી જોવા મળે છે. પ્રયોગશાળામાં  $MnO_2$ ની હાજરીમાં  $KClO_3$ ને ગરમ કરીને ડાયઑક્સિજન બનાવી શકાય છે. તે ધાતુના અનેક ઓક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે.  $O_3$  ઓક્સિજનનું અપરરૂપ છે જે વધુ ઓક્સિડેશનકર્તા છે. સલ્ફર અનેક અપરરૂપો બનાવે છે. આ પૈકીના સલ્ફરના  $\alpha$ - અને  $\beta$ -સ્વરૂપો અત્યંત અગત્યના છે. સલ્ફર, ઓક્સિજન સાથે સંયોજાઈને  $SO_2$  અને  $SO_3$  જેવા ઓક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે.  $SO_2$  એ સલ્ફર અને ઓક્સિજનના સીધા જોડાણથી બને છે.  $H_2SO_4$ ના ઉત્પાદનમાં  $SO_2$ નો ઉપયોગ થાય છે.  $H_2SO_4$ ને સંપર્ક પ્રક્રમ દ્વારા બનાવાય છે. તે નિર્જળીકરણકર્તા અને ઓક્સિડેશનકર્તા છે. તે ઘણા સંયોજનોના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી થાય છે.

આવર્તકોષ્ટકનો સમૂહ 17 F, Cl, Br, I અને At તત્ત્વો ધરાવે છે. આ તત્ત્વો અત્યંત પ્રતિક્રિયાત્મક છે અને તેથી તેઓ માત્ર સંયોજિત અવસ્થામાં જ મળી આવે છે. આ તત્ત્વોની સામાન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થા -1 છે. જોકે સૌથી ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થા +7 હોઈ શકે છે. તેઓ ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં ક્રમાનુસાર ગોઠવણી દર્શાવે છે. તેઓ ઓક્સાઇડ સંયોજનો, હાઇડ્રોજન હેલાઇડ સંયોજનો, આંતરહેલોજન સંયોજનો અને ઓક્સોએસિડ સંયોજનો બનાવે છે. ક્લોરિનને HClની  $KMnO_4$  સાથેની પ્રક્રિયાથી અનુકૂળતાપૂર્વક મેળવી શકાય છે. સાંદ્ર  $H_2SO_4$ ની સાથે NaClને ગરમ કરીને HCl બનાવાય છે. હેલોજન તત્ત્વો અન્ય હેલોજન તત્ત્વો સાથે જોડાઈને  $XX'_n$  ( $n = 1, 3, 5, 7$ ) પ્રકારના આંતરહેલોજન સંયોજનો બનાવે છે, જ્યાં  $X'$  એ X કરતાં હલકા છે. હેલોજન તત્ત્વોના અનેક ઓક્સોએસિડ સંયોજનો જાણીતા છે. આ ઓક્સોએસિડ સંયોજનોના બંધારણોમાં દરેક કિસ્સામાં મધ્યસ્થ હેલોજન પરમાણુ એક OH સાથે X-OH બંધ તરીકે જોડાયેલો હોય છે. કેટલાક કિસ્સાઓમાં X=O બંધ પણ જોવા મળ્યા છે.

આવર્તકોષ્ટકનો સમૂહ 18 ઉમદા વાયુઓ ધરાવે છે. હિલિયમ સિવાય બધા ઉમદા વાયુઓની સંયોજકતા કોષની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $ns^2np^6$  છે, હિલિયમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $1s^2$  છે. Rn સિવાયના બધા ઉમદા વાયુઓ વાતાવરણમાં મળી આવે છે. Rnને  $^{226}Ra$ ની ક્ષયિત નીપજ તરીકે મેળવવામાં આવે છે.

તેમના બાહ્યતમ કોશમાં અષ્ટકપૂર્ણ હોવાથી તેઓ સંયોજન બનાવવાનું ઓછું વલણ ધરાવે છે. માત્ર ચોક્કસ પરિસ્થિતિઓમાં ઝેનોનના ફ્લોરિન અને ઓક્સિજન સાથેના સંયોજનોનું લક્ષણ ચિત્રિત થયેલું છે. આ વાયુઓના ઘણા ઉપયોગો છે. આર્ગોન નિષ્ક્રિય વાતાવરણ પૂરું પાડવામાં ઉપયોગી છે, હિલિયમનો ઉપયોગ હવામાનના અવલોકનો માટે ફુગામાં ભરવામાં થાય છે. નિયોનનો ઉપયોગ વીજવિભાર નળીઓ અને પ્રસ્ફુરક બલ્બમાં થાય છે.

## સ્વાધ્યાય

- 7.1 સમૂહ 15ના તત્ત્વોની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓને તેમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના, ઓક્સિડેશન અવસ્થા, પરમાણ્વીયકદ, આયનીકરણ એન્થાલ્પી અને વિદ્યુતઋણતાના સંદર્ભમાં ચર્ચો.
- 7.2 નાઇટ્રોજનની પ્રતિક્રિયાત્મકતા શા માટે ફોસ્ફરસથી જુદી પડે છે ?
- 7.3 સમૂહ 15ના તત્ત્વોની રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતાના વલણની ચર્ચા કરો.
- 7.4  $\text{NH}_3$  હાઇડ્રોજન બંધ બનાવે છે પરંતુ  $\text{PH}_3$  હાઇડ્રોજન બંધ બનાવતો નથી. ચર્ચા કરો.
- 7.5 પ્રયોગશાળામાં નાઇટ્રોજન કેવી રીતે બનાવાય છે ? તેમાં સમાયેલી પ્રક્રિયાઓના રાસાયણિક સમીકરણો લખો.
- 7.6 ઔદ્યોગિક રીતે એમોનિયાનું ઉત્પાદન કેવી રીતે થાય છે ?
- 7.7 ઉદાહરણ આપીને સમજાવો કે કોપર ધાતુ  $\text{HNO}_3$  સાથે પ્રક્રિયા કરીને વિવિધ નીપજ કેવી રીતે આપે છે ?
- 7.8  $\text{NO}_2$  અને  $\text{N}_2\text{O}_5$ ના સસ્પંદન બંધારણો લખો.
- 7.9  $\text{HNH}$  ખૂણાનું મૂલ્ય  $\text{HPH}$ ,  $\text{HAsH}$  અને  $\text{HSbH}$  ખૂણાઓના મૂલ્ય કરતાં વધુ હોય છે. શા માટે ?  
[સંકેત :  $\text{NH}_3$  માં  $\text{sp}^3$  સંકરણના આધારે અને હાઇડ્રોજન તથા સમૂહના તત્ત્વો વચ્ચે માત્ર s-p બંધનના આધારે સમજાવી શકાય છે.]
- 7.10  $\text{R}_3\text{P} = \text{O}$  અસ્તિત્વ ધરાવે છે, પરંતુ  $\text{R}_3\text{N} = \text{O}$  શા માટે અસ્તિત્વ ધરાવતું નથી ? (R = આલ્કાઇલ સમૂહ)
- 7.11 સમજાવો કે  $\text{NH}_3$  બેઝિક છે, જ્યારે  $\text{BiH}_3$  માત્ર નિર્બળ બેઇઝ છે.
- 7.12 નાઇટ્રોજન દ્વિ-પરમાણ્વીય અણુ તરીકે અને ફોસ્ફરસ  $\text{P}_4$  તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. શા માટે ?
- 7.13 સફેદ ફોસ્ફરસ અને લાલ ફોસ્ફરસના ગુણધર્મો વચ્ચેના મુખ્ય તફાવતો લખો.
- 7.14 ફોસ્ફરસ કરતાં નાઇટ્રોજન શા માટે ઓછો કેટેનેશન ગુણધર્મો દર્શાવે છે ?
- 7.15  $\text{H}_3\text{PO}_3$ ની વિષમીકરણ પ્રક્રિયા લખો.
- 7.16 શું  $\text{PCl}_5$  ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે અને રિડક્શનકર્તા તરીકે પણ વર્તી શકે છે ? વાજબીપણુ જણાવો.
- 7.17 O, S, Se, Te અને Poને તેમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના, ઓક્સિડેશન અવસ્થા અને હાઇડ્રાઇડ નિર્માણના સંદર્ભમાં આવર્તકોષ્ટકમાં એક જ સમૂહમાં સ્થાન આપવાનું વાજબીપણુ ચર્ચો.
- 7.18 ડાયઓક્સિજન વાયુ છે પરંતુ સલ્ફર ઘન છે. શા માટે ?
- 7.19  $\text{O} \rightarrow \text{O}^-$  અને  $\text{O} \rightarrow \text{O}^{2-}$  માટે ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીના મૂલ્યો અનુક્રમે -141 અને 702  $\text{kJmol}^{-1}$  જાણ્યા બાદ તમે કેવી રીતે સમજાવશો કે  $\text{O}^{2-}$  સ્પિસીઝ ધરાવતા ઓક્સાઇડ સંયોજનો વધુ બને છે, નહીં કે  $\text{O}^-$  સ્પિસીઝવાળા. (સંકેત : સંયોજનોના નિર્માણમાં લેટિસ ઊર્જા અવયવને ધ્યાનમાં રાખવો.)
- 7.20 કયા વાયુવિલયો ઓઝોનનું ક્ષયન કરે છે ?
- 7.21 સંપર્ક પ્રક્રમ દ્વારા  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ના ઉત્પાદનનું વર્ણન કરો.
- 7.22  $\text{SO}_2$  કેવી રીતે હવા પ્રદૂષક છે ?
- 7.23 હેલોજન સંયોજનો શા માટે પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તાઓ છે ?
- 7.24 ફ્લોરિન શા માટે માત્ર એક જ ઓક્સોએસિડ  $\text{HOF}$  બનાવે છે ?
- 7.25 સમજાવો કે શા માટે લગભગ સમાન વિદ્યુતઋણતા હોવા છતાં નાઇટ્રોજન, હાઇડ્રોજન બંધ બનાવે છે જ્યારે ક્લોરિન બનાવતો નથી ?
- 7.26  $\text{ClO}_2$ ના બે ઉપયોગો લખો.
- 7.27 હેલોજન તત્ત્વો શા માટે રંગીન હોય છે ?
- 7.28  $\text{F}_2$  અને  $\text{Cl}_2$ ની પાણી સાથેની પ્રક્રિયાઓ લખો.
- 7.29 તમે  $\text{HCl}$ માંથી  $\text{Cl}_2$  અને  $\text{Cl}_2$  માંથી  $\text{HCl}$  કેવી રીતે બનાવશો ? માત્ર પ્રક્રિયાઓ લખો.
- 7.30 એન. બાર્ટલેટ Xe તથા  $\text{PtF}_6$  વચ્ચે પ્રક્રિયા કરાવવા શા માટે પ્રેરિત થયા ?
- 7.31 નીચે દર્શાવેલા સંયોજનોમાં ફોસ્ફરસની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ શું હશે ?  
(i)  $\text{H}_3\text{PO}_3$  (ii)  $\text{PCl}_3$  (iii)  $\text{Ca}_3\text{P}_2$  (iv)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (v)  $\text{POF}_3$

- 7.32 નીચેની પ્રક્રિયાઓ માટે સમતોલિત સમીકરણો લખો :
- (i)  $\text{MnO}_2$ ની હાજરીમાં  $\text{NaCl}$ ને સલ્ફ્યુરિક એસિડ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે.  
(ii)  $\text{NaI}$ ના પાણીમાં બનાવેલા દ્રાવણમાં ક્લોરિન વાયુ પસાર કરવામાં આવે છે.
- 7.33 ઝેનોન ફ્લોરાઇડ સંયોજનો  $\text{XeF}_2$ ,  $\text{XeF}_4$  અને  $\text{XeF}_6$  કેવી રીતે મેળવાય છે ?
- 7.34 કયા તટસ્થ અણુ સાથે  $\text{ClO}^-$  સમઠલેક્ટ્રોનીય છે ? શું તે અણુ લુઈસ બેઈઝ છે ?
- 7.35  $\text{XeO}_3$  અને  $\text{XeOF}_4$  કેવી રીતે બનાવાય છે ?
- 7.36 નીચે દર્શાવેલા દરેક જૂથ (set)ને સૂચવેલ ગુણધર્મ મુજબ ક્રમમાં ગોઠવો :
- (i)  $\text{F}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$  - બંધવિયોજન એન્ટાલ્પીના ચઢતા ક્રમમાં  
(ii)  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  - એસિડ પ્રબળતાના ચઢતા ક્રમમાં  
(iii)  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{SbH}_3$ ,  $\text{BiH}_3$  - બેઝિક પ્રબળતાના ચઢતા ક્રમમાં
- 7.37 નીચેના પૈકી કયું સંયોજન અસ્તિત્વ ધરાવતું નથી ?
- (i)  $\text{XeOF}_4$  (ii)  $\text{NeF}_2$  (iii)  $\text{XeF}_2$  (iv)  $\text{XeF}_6$
- 7.38 એવા ઉમદા વાયુ સ્પિસીઝના સૂત્ર આપો અને બંધારણને વર્ણવો કે જે નીચેની સ્પિસીઝ સાથે સમબંધારણીય હોય,
- (i)  $\text{ICl}_4^-$  (ii)  $\text{IBr}_2^-$  (iii)  $\text{BrO}_3^-$
- 7.39 ઉમદા વાયુઓ શા માટે પ્રમાણમાં મોટા આણ્વીયકદ ધરાવે છે ?
- 7.40 નિયોન અને આર્ગોન વાયુના ઉપયોગોની યાદી બનાવો.

### લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

- 7.1 મધ્યસ્થ પરમાણુની જેટલી ઊંચી ધનાત્મક ઓક્સિડેશન અવસ્થા હોય છે, તેટલી જ વધારે તેની ધ્રુવણ ક્ષમતા હોય છે, જેના કારણે મધ્યસ્થ પરમાણુ અને અન્ય પરમાણુ વચ્ચે બનેલા બંધમાં સહસંયોજક લક્ષણ વધતું જાય છે.
- 7.2 કારણ કે સમૂહ 15ના હાઈડ્રાઈડ સંયોજનો પૈકી  $\text{BiH}_3$  સૌથી ઓછું સ્થાયી હોય છે.
- 7.3 કારણ કે પ્રબળ  $p\pi-p\pi$  સંમિશ્રણના કારણે ત્રિબંધ  $\text{N} \equiv \text{N}$  બને છે.
- 7.6  $\text{N}_2\text{O}_5$ ના બંધારણથી પુરવાર થાય છે કે નાઈટ્રોજનની સહસંયોજકતા 4 છે.
- 7.7 (a) બંને  $sp^3$  સંકૃત છે.  $\text{PH}_4^+$  માં ચારેય કક્ષકો બંધકારક છે, જ્યારે  $\text{PH}_3$  માં P પર એક અબંધકારકયુગ્મ હોય છે, જે અબંધકારક-અબંધકારકયુગ્મ અપાકર્ષણ માટે જવાબદાર હોય છે, જેનાથી  $\text{PH}_3$  માં બંધકોણ  $109^\circ 28'$  થી ઓછો હોય છે.
- 7.10  $\text{PCl}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{POCl}_3 + 2\text{HCl}$
- 7.11  $\text{H}_3\text{PO}_4$  અણુમાં ત્રણ P-OH સમૂહો હોય છે, તેથી તેની બેઝિકતા ત્રણ છે.
- 7.15 ઓક્સિજનના નાના કદ અને ઊંચી વિદ્યુતઋણતાના કારણે પાણીના અણુઓ હાઈડ્રોજન બંધ દ્વારા વધુ સારી રીતે જોડાયેલા હોય છે, તેથી તે પ્રવાહી અવસ્થામાં હોય છે.
- 7.21 સસ્પંદન બંધારણોના કારણે બંને S-O બંધો સહસંયોજક છે અને સમાન પ્રબળતા ધરાવે છે.
- 7.25 મુખ્યત્વે તેના  $\text{H}_3\text{O}^+$  અને  $\text{HSO}_4^-$  માં પ્રથમ આયનીકરણના કારણે  $\text{H}_2\text{SO}_4$  પાણીમાં અત્યંત પ્રબળ એસિડ છે.  $\text{HSO}_4^-$  નું  $\text{H}_3\text{O}^+$  અને  $\text{SO}_4^{2-}$  માં આયનીકરણ અત્યંત ઓછું છે, તેથી  $K_{a2} \ll K_{a1}$ .
- 7.31 સામાન્ય રીતે X-X બંધ કરતાં X-X' નિર્બળ હોવાના કારણે હેલોજન તત્ત્વો કરતા આંતરહેલોજન સંયોજનો વધારે પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે. તેથી  $\text{ICl}$ ,  $\text{I}_2$  કરતા વધારે પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે.
- 7.34 રેડોન બહુ જ ઓછું અર્ધઆયુષ્ય ધરાવતું રેડિયોસક્રિય છે, જે રેડોનના રસાયણવિજ્ઞાનના અભ્યાસને મુશ્કેલ બનાવે છે.

## $d$ અને $f$ -વિભાગનાં તત્ત્વો (The $d$ and $f$ -Block Elements)

### હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- આવર્તકોષ્ટકમાં  $d$ - અને  $f$ -વિભાગના તત્ત્વોના સ્થાન વિષે શીખી શકશો.
- સંક્રાંતિ ( $d$ -વિભાગ) અને આંતરસંક્રાંતિ ( $f$ -વિભાગ) તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાને જાણી શકશો.
- વિવિધ ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની સાપેક્ષ સ્થાયીતાને વિદ્યુતઘ્રુવ પોટેન્શિયલના મૂલ્યો સ્વરૂપે બિરદાવશો.
- $K_2Cr_2O_7$  અને  $KMnO_4$  જેવા કેટલાક અગત્યના સંયોજનોની બનાવટ, ગુણધર્મો, બંધારણો અને ઉપયોગોને વર્ણવી શકશો.
- $d$ -અને  $f$ -વિભાગનાં તત્ત્વોનાં સામાન્ય લક્ષણો તથા તેમાં સામાન્ય સમક્ષિતિજ અને સમૂહ વલણોને સમજી શકશો.
- $f$ -વિભાગનાં તત્ત્વોના ગુણધર્મો વર્ણવી શકશો તથા લેન્થેનોઈડ્સ અને એક્ટિનોઈડ્સનો તેમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના, ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ અને રાસાયણિક વર્તણૂક સંદર્ભે તુલનાત્મક અભ્યાસ કરી શકશો.

**“સંક્રાંતિ તત્ત્વો પૈકીના આયર્ન, કોપર, સિલ્વર અને ગોલ્ડ તત્ત્વોએ માનવ સંસ્કૃતિના વિકાસમાં અગત્યનો ભાગ ભજવ્યો છે. Th, Pa અને U જેવા આંતરસંક્રાંતિ તત્ત્વો આધુનિક સમયમાં ન્યુક્લિયર ઊર્જાના શ્રેષ્ઠ સ્ત્રોતો તરીકે પુરવાર થઈ રહ્યા છે.”**

આવર્તકોષ્ટકમાં  $d$ -વિભાગ સમૂહ 3-12નાં તત્ત્વો ધરાવે છે જેમાં ચાર દીર્ઘ આવર્તોમાંના દરેક આવર્તમાં  $d$  કક્ષકો ક્રમશઃ ભરાય છે.  $f$ -વિભાગ બનાવતા તત્ત્વો જેમાં બે દીર્ઘ આવર્તોમાં  $4f$  અને  $5f$  કક્ષકો ક્રમશઃ ભરાય છે. તેમને આવર્તકોષ્ટકના તળીયે અલગ સ્થાન આપવામાં આવ્યું છે.  $d$ -અને  $f$ -વિભાગોનાં તત્ત્વોને અનુક્રમે સંક્રાંતિ ધાતુઓ અને આંતરસંક્રાંતિ ધાતુઓ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

સંક્રાંતિ ધાતુઓની મુખ્યત્વે ચાર શ્રેણીઓ છે.  $3d$  શ્રેણી (Sc થી Zn),  $4d$  શ્રેણી (Y થી Cd);  $5d$  શ્રેણી (La તથા Hf થી Hg ) અને  $6d$  શ્રેણી જેમાં Ac તથા Rf થી Cn સુધીના તત્ત્વો છે. આંતરસંક્રાંતિ ધાતુઓની બે શ્રેણીઓ  $4f$  (Ce થી Lu) અને  $5f$  (Th થી Lr) અનુક્રમે લેન્થેનોઈડ્સ અને એક્ટિનોઈડ્સ તરીકે ઓળખાય છે.

વાસ્તવમાં સંક્રાંતિ ધાતુઓ નામ તે હકીકત પરથી તારવવામાં આવ્યું હતું કે તે ધાતુઓના રાયાણિક ગુણધર્મો  $s$  અને  $p$  વિભાગના તત્ત્વોના ગુણધર્મો વચ્ચે સંક્રાંતિ પામતા હતા. હાલમાં IUPAC મુજબ, જે ધાતુઓના તટસ્થ પરમાણુ અથવા આયનોમાં  $t$ -પેટાકક્ષકો અપૂર્ણ ભરાયેલી હોય તેમને સંક્રાંતિ ધાતુઓ તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવી છે. સમૂહ 12ના ઝિંક, કેડમિયમ અને મરક્યુરિ તેમની ધરાઅવસ્થામાં અને તેમની સામાન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં સંપૂર્ણ  $t^{10}$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવતા હોવાથી તેમને સંક્રાંતિ ધાતુઓ તરીકે ગણવામાં આવતી નથી. જોકે તેઓ ત્રણેય સંક્રાંતિ શ્રેણીઓ  $3d$ ,  $4d$  અને  $5d$ ના અંતિમ સભ્યો હોવાથી તેમના રસાયણવિજ્ઞાનનો અભ્યાસ સંક્રાંતિ ધાતુઓના રસાયણવિજ્ઞાન સાથે કરવામાં આવે છે.

તેમના પરમાણુઓમાં આંશિક ભરાયેલી  $d$ - અથવા  $f$ -કક્ષકોની હાજરીના કારણે સંક્રાંતિ તત્ત્વો અને તેના સંયોજનોનો અભ્યાસ તેમને

મુખ્ય સમૂહોનાં તત્ત્વોથી જુદા પાડી દે છે. તેમ છતાં સંયોજકતાનો સામાન્ય સિદ્ધાંત જે મુખ્ય સમૂહોના તત્ત્વોને લાગુ પડે છે, તે સંક્રાંતિ તત્ત્વો પર પણ સફળતાપૂર્વક લાગુ પાડી શકાય છે.

વિવિધ ક્રિમતી ધાતુઓ જેવી કે સિલ્વર, ગોલ્ડ અને પ્લેટિનમ તથા ઔદ્યોગિક મહત્ત્વ ધરાવતી ધાતુઓ જેવી કે આયર્ન, કોપર અને ટાઇટેનિયમ સંક્રાંતિ ધાતુ શ્રેણીમાં સમાવિષ્ટ છે.

આ એકમમાં સંક્રાંતિ તત્ત્વોના પરિચય ઉપરાંત આપણે પ્રથમ તેમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના, પ્રાપ્તિસ્થાન અને સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓનો વિચાર કરીશું, જેમાં પ્રથમ હરોળની (3d) સંક્રાંતિ ધાતુઓના ગુણધર્મોમાં વલણ તથા કેટલાક અગત્યના સંયોજનોની બનાવટ અને ગુણધર્મો પર વિશેષ ધ્યાન આપીશું. ત્યારબાદ આંતરસંક્રાંતિ ધાતુઓના કેટલાક સામાન્ય ખ્યાલો જેવા કે ઇલેક્ટ્રોનીય રચના, ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ અને રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતાનો વિચાર કરીશું.

### સંક્રાંતિ તત્ત્વો (d-વિભાગ)

#### 8.1 આવર્તકોષ્ટકમાં સ્થાન (Position in the Periodic Table)

d-વિભાગ આવર્તકોષ્ટકમાં મોટો મધ્ય ભાગ રોકે છે, જેની બંને બાજુએ s-અને p-વિભાગો રહેલા હોય છે. d-વિભાગનાં તત્ત્વો s- અને p- વિભાગના તત્ત્વોની મધ્યમાં રહેલા હોવાથી તેમનું નામ ‘સંક્રાંતિ’ આપવામાં આવ્યું છે. તેમના પરમાણુઓમાં ઉપાંતિમ (penultimate) ઊર્જાસ્તરોની d-કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોન ભરાય છે અને આ રીતે સંક્રાંતિ ધાતુઓની ચાર હરોળ એટલે કે 3d, 4d, 5d અને 6d બને છે. ચોથી હરોળ (6d) હાલમાં અપૂર્ણ છે. સંક્રાંતિ તત્ત્વોની આ શ્રેણીઓને કોષ્ટક 8.1માં દર્શાવેલી છે.

#### 8.2 d-વિભાગનાં તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configuration of the d-block Elements)

આ તત્ત્વોની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $(n-1)d^{1-10} ns^{1-2}$  છે. (n-1) આંતર d-કક્ષકો દર્શાવે છે જે એકથી દસ ઇલેક્ટ્રોન ધરાવી શકે છે અને બાહ્યતમ ns કક્ષક એક અથવા બે ઇલેક્ટ્રોન ધરાવી શકે છે. જોકે આ સામાન્યીકરણ ઘણા અપવાદો ધરાવે છે કારણ કે (n-1)d અને ns કક્ષકો વચ્ચે બહુ જ ઓછો ઊર્જા તફાવત છે. વિશેષમાં અર્ધભરાયેલી અને પૂર્ણભરાયેલી કક્ષકોનું જૂથ સાપેક્ષમાં વધુ સ્થાયી હોય છે. આ પરિબળનું પરિણામ 3d શ્રેણીમાં Cr અને Cuની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનામાં પ્રતિબિંબિત થાય છે. Crના કિસ્સાને ઉદાહરણ તરીકે લઈએ તો તેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3d^4 4s^2$  ને બદલે  $3d^5 4s^1$  છે. કક્ષકોના (3d અને 4s) બે જૂથો વચ્ચે ઊર્જાનો તફાવત એટલો ઓછો છે કે તે ઇલેક્ટ્રોનનો 3d કક્ષકમાં પ્રવેશ રોકી શકતો નથી. આજ પ્રમાણે Cuના કિસ્સામાં ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3d^{10} 4s^1$  છે નહિ કે  $3d^9 4s^2$ . સંક્રાંતિ તત્ત્વોની બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાને કોષ્ટક 8.1માં દર્શાવેલી છે.

કોષ્ટક 8.1 : સંક્રાંતિ તત્ત્વોની બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાઓ (ધરાવવસ્થા)

પ્રથમ શ્રેણી										
	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Z	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
4s	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2
3d	1	2	3	5	5	6	7	8	10	10

### દ્વિતીય શ્રેણી

	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
Z	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
5s	2	2	1	1	1	1	1	0	1	2
4d	1	2	4	5	6	7	8	10	10	10

### તૃતીય શ્રેણી

	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
Z	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80
6s	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
5d	1	2	3	4	5	6	7	9	10	10

### ચતુર્થ શ્રેણી

	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn
Z	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112
7s	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
6d	1	2	3	4	5	6	7	8	10	10

Zn, Cd, Hg અને Cnની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાને સામાન્ય સૂત્ર  $(n-1)d^{10}ns^2$  વડે દર્શાવાય છે. આ તત્ત્વોમાં ધરાઅવસ્થા અને તેમની સામાન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં કક્ષકો સંપૂર્ણ ભરાયેલી હોય છે, તેથી તેઓને સંક્રાંતિ તત્ત્વો તરીકે ગણવામાં આવતા નથી.

સંક્રાંતિ તત્ત્વોની  $d$ -કક્ષકો, અન્ય કક્ષકો (એટલે કે  $s$  અને  $p$ ) કરતાં પરમાણુના પરિઘ પર વધારે પ્રક્ષેપિત થાય છે, તેથી તેઓ તેની ચોક્કેરથી અસર પામે છે તેમજ તેમની ચોક્કેર રહેલા પરમાણુઓ અને અણુઓને અસર કરે છે. કેટલીક બાબતોમાં  $d^n$  ( $n = 1-9$ ) ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાવાળા આયનોમાં સમાન ચુંબકીય અને ઇલેક્ટ્રોનીય ગુણધર્મો જોવા મળે છે. આંશિક રીતે ભરાયેલી  $d$ -કક્ષકોના કારણે આ તત્ત્વો કેટલાક લાક્ષણિક ગુણધર્મો દર્શાવે છે જેવા કે વિવિધ ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવવી, રંગીન આયનોનું નિર્માણ કરવું, વિવિધ લિગેન્ડ સાથે સંકીર્ણ બનાવવામાં ભાગ લેવો.

સંક્રાંતિ તત્ત્વો અને તેમના સંયોજનો ઉદ્દીપકીય ગુણધર્મ અને અનુચુંબકીય વર્તણૂક પણ દર્શાવે છે. આ બધી લાક્ષણિકતાઓની આ એકમમાં આગળ ઉપર ઊંડાણમાં ચર્ચા કરેલી છે.

મુખ્ય સમૂહનાં તત્ત્વોથી વિપરિત સંક્રાંતિ તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં સમક્ષિતિજ સામ્યતા વધુ જોવા મળે છે. જોકે કેટલીક સમૂહ સામ્યતા પણ જોવા મળે છે. આપણે પ્રથમ સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ અને સમક્ષિતિજ હરોળો (ખાસ કરીને  $3d$  હરોળ)માં તેમના વલણોનો અભ્યાસ કરીશું તથા ત્યારબાદ કેટલીક સમૂહ સામ્યતાનો વિચાર કરીશું.

**કોયડો 8.1** તમે કયા આધારે કહી શકો છો કે સ્કેન્ડિયમ ( $Z=21$ ) સંક્રાંતિ તત્ત્વ છે પણ ઝિંક ( $Z = 30$ ) નહીં ?

**ઉકેલ :** સ્કેન્ડિયમ પરમાણુની ધરાઅવસ્થામાં  $3d$  કક્ષકો અપૂર્ણ ભરાયેલી ( $3d^1$ ) છે, તેથી તેને સંક્રાંતિ તત્ત્વ ગણવામાં આવે છે. જ્યારે બીજી તરફ ઝિંક પરમાણુની ધરાઅવસ્થામાં તેમજ તેની ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં  $d$ -કક્ષકો સંપૂર્ણ ભરાયેલી ( $3d^{10}$ ) હોય છે, તેથી તેને સંક્રાંતિ તત્ત્વ ગણવામાં આવતું નથી.

## લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

8.1 સિલ્વર પરમાણુની ધરાઅવસ્થામાં  $d$  કક્ષકો સંપૂર્ણ ભરાયેલી ( $4d^{10}$ ) છે, તો તમે કઈ રીતે કહી શકો કે તે સંક્રાંતિ તત્ત્વ છે ?

### 8.3 સંક્રાંતિ તત્ત્વો

( $d$ -વિભાગ) ના સામાન્ય ગુણધર્મો (General Properties of the Transition Elements)

નીચેના વિભાગમાં આપણે ફક્ત પ્રથમ સંક્રાંતિ શ્રેણીના તત્ત્વોના ગુણધર્મોની ચર્ચા કરીશું.

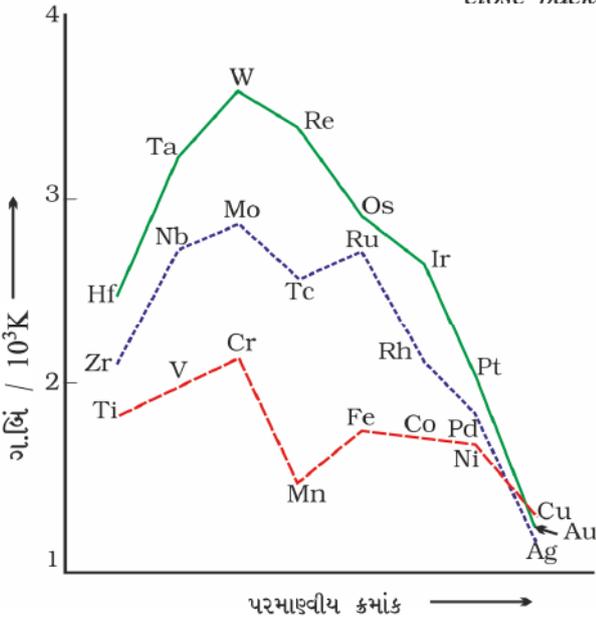
#### 8.3.1 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

લગભગ બધા સંક્રાંતિ તત્ત્વો વિશિષ્ટ ધાત્વીય ગુણધર્મો જેવા કે ઉચ્ચ તનન પ્રબળતા, તણાવપણુ, ટિપાઉપણુ, ઉચ્ચ-ઉષ્મીય અને વિદ્યુતવાહકતા તથા ધાત્વીય ચમક દર્શાવે છે. Zn, Cd, Hg અને Mn જેવા અપવાદો સિવાય સામાન્ય તાપમાને તેઓ એક અથવા વધારે વિશિષ્ટ ધાત્વીય બંધારણો ધરાવે છે.

સંક્રાંતિ ધાતુઓના લેટિસ બંધારણો

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
hcp (bcc)	hcp (bcc)	bcc	bcc (bcc,ccp)	X (bcc,ccp)	bcc (hcp)	ccp (hcp)	ccp	ccp	X (hcp)
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
hcp (bcc)	hcp (bcc)	bcc	bcc	hcp	hcp	ccp	ccp	ccp	X (hcp)
La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
hcp (ccp,bcc)	hcp (bcc)	bcc	bcc	hcp	hcp	ccp	ccp	ccp	X

[bcc = અંત:કેન્દ્રિત સમઘનીય (body centred cubic); hcp = ષટ્કોણીય સંવૃત સંક્રુલિત (hexagonal close packed); ccp = સમઘનીય સંવૃત સંક્રુલિત (cubic close packed); X = એક વિશિષ્ટ ધાતુ બંધારણ]

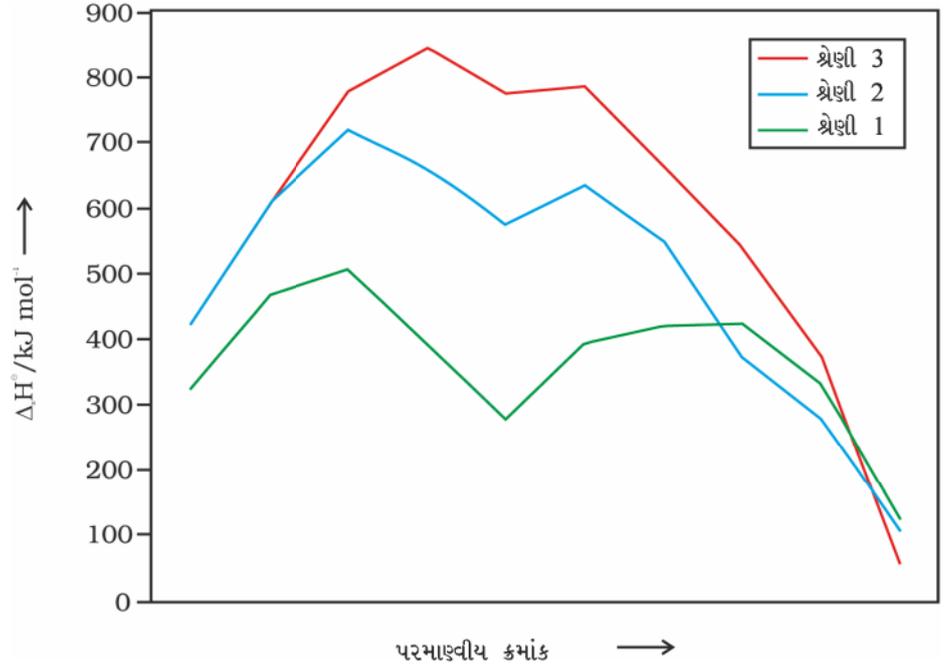


આકૃતિ 8.1 : સંક્રાંતિ તત્ત્વોના ગલનબિંદુઓમાં વલણો

સંક્રાંતિ ધાતુઓ (Zn, Cd અને Hg અપવાદ સહિત) અત્યંત કઠણ હોય છે અને નીચી બાષ્પશીલતા ધરાવે છે. તેમના ગલન અને ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે. આકૃતિ 8.1 3d, 4d અને 5d સંક્રાંતિ ધાતુઓના ગલનબિંદુ દર્શાવે છે. ઊંચા ગલનબિંદુનું કારણ આંતરપરમાણ્વીય ધાત્વીય બંધનમાં ns ઇલેક્ટ્રોન ઉપરાંત (n-1)d કક્ષકોના વધુ ઇલેક્ટ્રોનની સહભાગીતા છે. Mn અને Tcના અનિયમિત મૂલ્યો સિવાય કોઈ પણ હરોળમાં આ ધાતુઓના ગલનબિંદુ  $d^5$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પર મહત્તમ હોય છે અને પરમાણ્વીયક્રમાંક વધવાની સાથે ગલનબિંદુ નિયમિત રીતે ઘટે છે. તેઓ પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પી (enthalpies of atomisation)ના ઊંચા મૂલ્યો ધરાવે છે, જેને આકૃતિ 8.2માં દર્શાવેલ છે. દરેક શ્રેણીમાં લગભગ મધ્યમાં મહત્તમ મૂલ્ય સૂચવે છે કે પ્રબળ આંતરપરમાણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા માટે પ્રતિ  $d$  કક્ષક એક અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન હોવો વિશેષરીતે અનુકૂળ હોય છે.

સામાન્ય રીતે સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા જેટલી વધારે હશે તેટલું પરિણામી બંધન પ્રબળ હશે. જોકે ધાતુના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલના માપનમાં પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પી અગત્યનું પરિબળ છે, તેથી ઘણી ઊંચી પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પી (એટલે કે ઘણું ઊંચું ઉત્કલનબિંદુ) વાળી ધાતુઓનું વલણ તેમની પ્રક્રિયાઓમાં ઉમદા રહેવાનું હોય છે (વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ માટે આગળ ઉપર જુઓ).

આકૃતિ 8.2 પરથી અન્ય એક સામાન્યીકરણ નીકળી શકે છે કે દ્વિતીય અને તૃતીય શ્રેણીની ધાતુઓની પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પીના મૂલ્યો પ્રથમ શ્રેણીના અનુવર્તી તત્ત્વો કરતાં વધુ હોય છે; આ પરિબળ ભારે સંક્રાંતિ ધાતુઓના સંયોજનોમાં વધુ પ્રમાણમાં ધાતુ-ધાતુ બંધન બનવામાં મહત્ત્વનું છે.



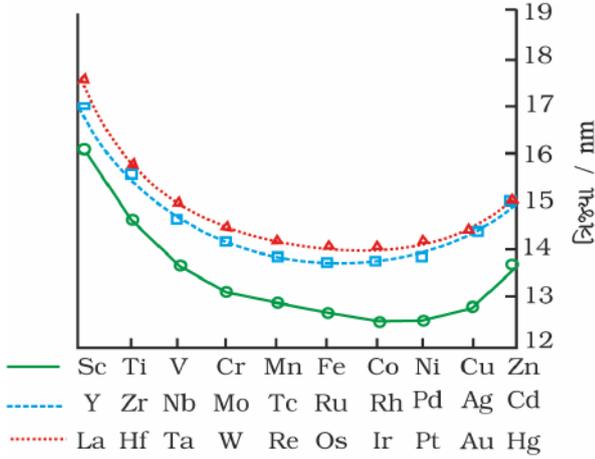
આકૃતિ 8.2 :

સંક્રાંતિ તત્ત્વોની પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પીઓમાં વલણો

### 8.3.2 સંક્રાંતિ ધાતુઓના પરમાણ્વીય અને આયનીય કદમાં ફેરફાર (Variation in Atomic and Ionic Sizes of Transition Metals)

સામાન્ય રીતે શ્રેણીમાં વધતા જતા પરમાણ્વીય ક્રમાંકની સાથે સમાન વીજભાર ધરાવતા આયનોની ત્રિજ્યામાં ક્રમાનુસાર ઘટાડો થતો જાય છે. આનું કારણ એ છે કે જ્યારે કેન્દ્રિય વીજભારમાં વધારો થાય છે ત્યારે નવો ઇલેક્ટ્રોન દર વખતે  $d$ -કક્ષકમાં દાખલ થાય છે. ફરીથી યાદ કરી એ કે  $d$  ઇલેક્ટ્રોનની શીલ્ડિંગ અસર ઓછી અસરકારક હોય છે, તેથી કેન્દ્રિય વીજભાર અને બાહ્યતમ ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેના ચોખ્ખા (net) સ્થિરવિદ્યુત આકર્ષણમાં વધારો થાય છે. જેથી આયનીય ત્રિજ્યા ઘટે છે. આવું જ વલણ કોઈ પણ શ્રેણીમાં પરમાણ્વીય ત્રિજ્યામાં જોવા મળે છે. જોકે એકશ્રેણીમાં ત્રિજ્યાઓમાં જોવા મળતો આ તફાવત બહુ જ થોડો હોય છે. જ્યારે કોઈ એક શ્રેણીના પરમાણ્વીય કદની સરખામણી બીજી અન્ય શ્રેણીના અનુવર્તી તત્ત્વોના પરમાણ્વીય કદ સાથે કરવામાં આવે છે ત્યારે એક રસપ્રદ મુદ્દો બહાર આવે છે. આકૃતિ 8.3માં રહેલા વક્રો દર્શાવે છે કે પ્રથમ સંક્રાંતિ શ્રેણી ( $3d$ )ના તત્ત્વોની સરખામણીમાં દ્વિતીય સંક્રાંતિ શ્રેણી ( $4d$ )ના તત્ત્વોના પરમાણ્વીયકદ મોટા હોય છે, પરંતુ તૃતીય સંક્રાંતિ શ્રેણી ( $5d$ )ના તત્ત્વોના પરમાણ્વીયકદ લગભગ દ્વિતીય સંક્રાંતિ શ્રેણીના અનુવર્તી સભ્યોના પરમાણ્વીયકદ જેટલા જ હોય છે. આ પરિઘટના  $4f$  કક્ષકો માટે નડતરરૂપ બનવાનું કારણ હોય છે, આ  $4f$  કક્ષકો  $5d$  શ્રેણીના તત્ત્વોની શરૂઆત પહેલા ભરાવી જ જોઈએ.  $5d$  કક્ષક પહેલા  $4f$  કક્ષક ભરાવાના કારણે પરમાણ્વીય ત્રિજ્યાઓમાં નિયમિત ઘટાડો જોવા મળે છે, જેને લેન્થેનોઈડ સંકોચન

(Lanthanoid Contraction) કહે છે, જે પરમાણ્વીય ક્રમાંક વધવાની સાથે પરમાણ્વીય કદમાં થતા અપેક્ષિત વધારા માટે આવશ્યક રીતે ક્ષતિપૂર્તિ કરે છે. લેન્થેનોઇડ સંકોચનનું ચોખ્ખું પરિણામ એ છે કે દ્વિતીય અને તૃતીય શ્રેણીના તત્ત્વો સમાન ત્રિજ્યા (દા.ત., Zr 160 pm; HF 159 pm) દર્શાવે છે અને તેઓ ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં વધુ સામ્યતા ધરાવે છે, જે સામાન્ય પરિવાર સંબંધો (Family relationship)ના આધારે જોવા મળતી અપેક્ષિત સામ્યતા કરતા ઘણી વધારે હોય છે.



આકૃતિ 8.3 : સંક્રાંતિ તત્ત્વોની પરમાણ્વીય ત્રિજ્યાઓમાં વલણ

લેન્થેનોઇડ સંકોચન માટે જવાબદાર પરિબળ લગભગ તે છે જે એક સામાન્ય સંક્રાંતિ શ્રેણીમાં જોવા મળે છે તથા તે સમાન કારણ માટે જવાબદાર છે, એટલે કે કક્ષકોના સમાન જૂથમાં એક ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા બીજા અન્ય ઇલેક્ટ્રોન પર અપૂર્ણ શીલ્ડિંગ અસર. જોકે અન્ય ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા એક  $4f$  ઇલેક્ટ્રોનનું શીલ્ડિંગ, અન્ય ઇલેક્ટ્રોન દ્વારા એક  $d$  ઇલેક્ટ્રોનના શીલ્ડિંગ કરતાં ઓછું હોય છે તથા જેમ જેમ એક શ્રેણીમાં કેન્દ્રિય વીજભાર વધતો જાય છે તેમ તેમ બધી જ  $4f^n$  કક્ષકોના કદમાં ઘટાડો થતો જાય છે.

ધાત્વીય ત્રિજ્યામાં ઘટાડાના સાથે પરમાણ્વીય દળમાં થતા વધારાના પરિણામે આ તત્ત્વોની ઘનતામાં સામાન્ય વધારો થાય છે. આમ ઘનતામાં અર્થસૂચક વધારો ટાઈટેનિયમ ( $Z = 22$ )થી કોપર ( $Z = 29$ ) સુધી જોવા મળશે (કોષ્ટક 8.2).

કોષ્ટક 8.2 : સંક્રાંતિ તત્ત્વોની પ્રથમ શ્રેણીના તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાઓ અને કેટલાક અન્ય ગુણધર્મો

તત્ત્વ	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
પરમાણ્વીય ક્રમાંક	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ઇલેક્ટ્રોનીય રચના										
M	$3d^1 4s^2$	$3d^2 4s^2$	$3d^3 4s^2$	$3d^5 4s^1$	$3d^5 4s^2$	$3d^6 4s^2$	$3d^7 4s^2$	$3d^8 4s^2$	$3d^{10} 4s^1$	$3d^{10} 4s^2$
$M^+$	$3d^1 4s^1$	$3d^2 4s^1$	$3d^3 4s^1$	$3d^5$	$3d^5 4s^1$	$3d^6 4s^1$	$3d^7 4s^1$	$3d^8 4s^1$	$3d^{10}$	$3d^{10} 4s^1$
$M^{2+}$	$3d^1$	$3d^2$	$3d^3$	$3d^4$	$3d^5$	$3d^6$	$3d^7$	$3d^8$	$3d^9$	$3d^{10}$
$M^{3+}$	[Ar]	$3d^1$	$3d^2$	$3d^3$	$3d^4$	$3d^5$	$3d^6$	$3d^7$		
પરમાણ્વીય એન્થાલ્પી, $\Delta_f H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	326	473	515	397	281	416	425	430	339	126
આયનીકરણ એન્થાલ્પી, $\Delta_i H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$										
$\Delta_i H^\circ$ I	631	656	650	653	717	762	758	736	745	906
$\Delta_i H^\circ$ II	1235	1309	1414	1592	1509	1561	1644	1752	1958	1734
$\Delta_i H^\circ$ III	2393	2657	2833	2990	3260	2962	3243	3402	3556	3837
ધાત્વીય/આયનીય M	164	147	135	129	137	126	125	125	128	137
ત્રિજ્યા/pm										
$M^{2+}$	-	-	79	82	82	77	74	70	73	75
$M^{3+}$	73	67	64	62	65	65	61	60	-	-
પ્રમાણિત										
વિદ્યુતઘ્રુવ $M^{2+}/M$	-	-1.63	-1.18	-0.90	-1.18	-0.44	-0.28	-0.25	+0.34	-0.76
પોટેન્શિયલ $E^\circ/V$ $M^{3+}/M^{2+}$	-	-0.37	-0.26	-0.41	+1.57	+0.77	+1.97	-	-	-
ઘનતા/ $\text{g cm}^{-3}$	3.43	4.1	6.07	7.19	7.21	7.8	8.7	8.9	8.9	7.1

**કોયડો 8.2** સંક્રાંતિ તત્ત્વો શા માટે ઊંચી પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પી દર્શાવે છે ?

**ઉકેલ :** તેમના પરમાણુઓમાં વધુ સંખ્યામાં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન હોવાના કારણે તેઓ પ્રબળ આંતરપરમાણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે અને તેથી પરમાણુઓ વચ્ચેના પ્રબળ બંધનના પરિણામે પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઊંચું હોય છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

8.2 Sc ( $Z = 21$ ) થી Zn ( $Z = 30$ ) શ્રેણીમાં ઝિંકની પરમાણ્વીયકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય સૌથી નીચું એટલે કે  $126 \text{ kJmol}^{-1}$  હોય છે. શા માટે ?

### 8.3.3 આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Ionization Enthalpies)

આંતરિક  $d$  કક્ષકો ભરાવાની સાથે કેન્દ્રિય વીજભારમાં વધારો થવાના કારણે દરેક શ્રેણીમાં ડાબીબાજુથી જમણીબાજુ તરફ જતાં સંક્રાંતિ તત્ત્વોની આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં વધારો થાય છે. કોષ્ટક 8.2 પ્રથમ શ્રેણીના તત્ત્વોની પ્રથમ ત્રણ આયનીકરણ એન્થાલ્પીના મૂલ્યો દર્શાવે છે. આ મૂલ્યો દર્શાવે છે કે આ તત્ત્વોની ક્રમિક આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં થતો વધારો એટલો તીવ્ર નથી હોતો જેટલો બિનસંક્રાંતિ તત્ત્વોમાં હોય છે. જોકે સામાન્ય રીતે પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પીના મૂલ્યમાં વધારો થાય છે, પરંતુ ક્રમિક તત્ત્વોની દ્વિતીય અને તૃતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પીના મૂલ્યોમાં થતા વધારાની માત્રા ઘણી વધારે હોય છે.

જોકે  $3d$  ધાતુઓની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં અનિયમિત વલણની રાસાયણિક અર્થસૂચકતા ઘણી ઓછી હોય છે, પરંતુ એક બાબત એ ધ્યાને લઈ શકીએ કે એક ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવાથી  $4s$  તથા  $3d$  કક્ષકોની સાપેક્ષ ઊર્જાઓમાં ફેરફાર થાય છે. તમે એ શીખ્યા છો કે જ્યારે  $d$ -વિભાગના તત્ત્વો આયનો બનાવે છે ત્યારે  $(n-1)d$  ઇલેક્ટ્રોન પહેલાં  $ns$  ઇલેક્ટ્રોન દૂર થાય છે.  $3d$  શ્રેણીનાં આવર્તમાં ડાબીથી જમણીબાજુ તરફ જતા આપણે જોઈશું કે સ્કેન્ડિયમથી ઝિંક સુધીમાં કેન્દ્રિય વીજભાર વધે છે પરંતુ આંતરિક પેટાકોશમાં ઇલેક્ટ્રોન ઉમેરાય છે, દા.ત.  $3d$  કક્ષકો. બાહ્યકક્ષાના ઇલેક્ટ્રોન એકબીજાને પરિરક્ષિત કરી શકે તેની સરખામણીમાં આ  $3d$  ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રિય વીજભારના વધારા સાથે  $4s$  ઇલેક્ટ્રોનને વધુ અસરકારક રીતે પરિરક્ષિત કરે છે. તેથી પરમાણ્વીય ત્રિજ્યા ધીમેથી ઘટે છે. આમ  $3d$  શ્રેણીમાં આયનીકરણ ઊર્જા નજીવી માત્રામાં વધે છે. બે કે તેથી વધુ વીજભાર ધરાવતા આયનો  $4s$  ઇલેક્ટ્રોન સિવાયની  $d^n$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવે છે. દ્વિતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પીના મૂલ્યો વધવાનું સામાન્ય વલણ અપેક્ષિત છે કારણ કે  $d$ -કક્ષકોની જુદી-જુદી દિશાને કારણે કેન્દ્રિય વીજભારની અસરમાં એક  $d$ -ઇલેક્ટ્રોન બીજા ઇલેક્ટ્રોનનું પરિરક્ષણ કરી શકતો નથી. તેમ છતાં દ્વિતીય અને તૃતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં સ્થિર વધારાનું વલણ અનુક્રમે  $\text{Mn}^{2+}$  અને  $\text{Fe}^{3+}$  ના નિર્માણને અટકાવે છે. આ બંને કિસ્સામાં આયનો  $d^5$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવે છે. આ પ્રકારનો અટકાવ તે પછીની સંક્રાંતિ શ્રેણીના અનુવર્તી તત્ત્વોમાં જોવા મળે છે.

$d^n$  ઇલેક્ટ્રોનીય ગોઠવણી માટે આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં થતા વિચલનનું અર્થઘટન નીચે મુજબ છે :

કેન્દ્ર તરફ પ્રત્યેક ઇલેક્ટ્રોનનું આકર્ષણ, બે ઇલેક્ટ્રોન વચ્ચેનું અપાકર્ષણ અને

વિનિમય ઊર્જા આ ત્રણ પર્યાયો આયનીકરણ એન્થાલ્પીના મૂલ્યો માટે જવાબદાર છે. ઊર્જા સ્તરના સ્થાયીકરણ માટે વિનિમય ઊર્જા જવાબદાર હોય છે. વિનિમય ઊર્જા આશરે સમશક્તિય કક્ષકોમાં સમાંતર સ્પિનના શક્ય યુગ્મોની કુલ સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. જ્યારે કેટલાંક ઇલેક્ટ્રોન સમશક્તિય કક્ષકોના સેટમાં ભરાય છે ત્યારે સમાંતર સ્પિન અને કક્ષકની મહત્તમ એકલ ભરણી ન્યૂનતમ ઊર્જા દર્શાવે છે (હુંડનો નિયમ). વિનિમય ઊર્જામાં થતો ઘટાડો સ્થાયીતા વધારે છે. જેમ સ્થાયીતા વધે તેમ આયનીકરણ વધુ મુશ્કેલ બને છે.  $d^6$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચનામાં વિનિમય ઊર્જામાં ઘટાડો થતો નથી.  $Mn^{+}$ ની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3d^5 4s^1$  છે અને  $Cr^{+}$   $d^5$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવે છે. તેથી  $Mn^{+}$ ની આયનીકરણ એન્થાલ્પી  $Cr^{+}$  કરતા નીચી છે. આવી રીતે  $Fe^{2+}$  ની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3d^6$  છે અને  $Mn^{2+}$ ની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $3d^5$  છે. તેથી  $Fe^{2+}$ ની આયનીકરણ એન્થાલ્પી  $Mn^{2+}$  કરતા નીચી છે. બીજા શબ્દોમાં આપણે કહી શકીએ કે  $Fe$ ની તૃતીય આયનીકરણ ઊર્જા  $Mn$  કરતા નીચી હોય છે.

આ ધાતુઓની સૌથી નીચી સામાન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થા +2 છે. વાયુમય પરમાણુઓમાંથી  $M^{2+}$  આયનો બનાવવા માટે કુલ પ્રથમ અને દ્વિતીય આયનીકરણ ઊર્જા ઉપરાંત દરેક તત્ત્વ માટેની પરમાણ્વીયકરણ ઊર્જાની જરૂર પડે છે. દ્વિતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પી પ્રભાવી શબ્દ છે, જે  $Cr$  અને  $Cu$  માટે અસામાન્ય ઉચ્ચ મૂલ્યો દર્શાવે છે, જેમાં  $M^{+}$  આયનોની અનુક્રમે  $d^5$  અને  $d^{10}$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના છે.  $Zn$  માટે અનુવર્તી મૂલ્ય નીચાં હોય છે કારણ કે આયનીકરણથી એક ઇલેક્ટ્રોન દૂર થતો હોવાથી સ્થાયી  $d^{10}$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પ્રાપ્ત થાય છે.  $4s$  કક્ષક પરિભળ દ્વારા તૃતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં વલણ જટિલ બનતું નથી અને  $d^5$  ( $Mn^{2+}$ ) અને  $d^{10}$  ( $Zn^{2+}$ ) આયનોમાંથી એક ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવામાં વધુ મુશ્કેલી જોવા મળે છે. સામાન્ય રીતે તૃતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પી પ્રમાણમાં ઘણી ઊંચી હોય છે વળી, કોપર, નિકલ અને ઝિંકના ઊંચા મૂલ્યો સૂચવે છે કે આ તત્ત્વોની +2 કરતાં ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થા શા માટે મુશ્કેલ છે.

જોકે આયનીકરણ એન્થાલ્પી, ઓક્સિડેશન અવસ્થાની સાપેક્ષ સ્થાયીતાને સંબંધિત કેટલુંક માર્ગદર્શન આપે છે. આ સમસ્યા અત્યંત જટિલ છે તથા તેનું હાથવગું સામાન્યીકરણ (ready generalisation) સ્વીકારવાલાયક નથી હોતું.

### 8.3.4 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ (Oxidation States)

સંક્રાંતિ તત્ત્વોની વિશેષતાઓ પૈકીની એક નોંધપાત્ર વિશેષતા તેમના સંયોજનોમાં વધુ જુદી જુદી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવવાની છે. કોષ્ટક 8.3 પ્રથમ હરોળના સંક્રાંતિ તત્ત્વોની સામાન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની યાદી દર્શાવે છે.

કોષ્ટક 8.3 : પ્રથમ હરોળની સંક્રાંતિ ધાતુઓની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ (સૌથી વધુ સામાન્ય અવસ્થાઓને ઘાટા અક્ષરોમાં દર્શાવેલી છે.)

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
	+2	+2	+2	<b>+2</b>	<b>+2</b>	<b>+2</b>	<b>+2</b>	+1	<b>+2</b>
+3	+3	+3	<b>+3</b>	+3	<b>+3</b>	<b>+3</b>	+3	<b>+2</b>	
	<b>+4</b>	+4	+4	+4	+4	+4	+4		
		<b>+5</b>	+5	+5					
			<b>+6</b>	+6	+6				
				<b>+7</b>					

સૌથી વધુ સંખ્યામાં ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવનારા તત્ત્વો શ્રેણીની મધ્યમાં અથવા તેની નજીકમાં હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે મેંગેનીઝ + 2 થી + 7 સુધી બધી જ ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે. શ્રેણીના બંને છેડા પર ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની ઓછી સંખ્યા જોવા મળે છે. તેનું કારણ તત્ત્વોમાં ગુમાવવા માટે અથવા ભાગીદારી માટે ઘણા ઓછા ઇલેક્ટ્રોનની પ્રાપ્યતા (Sc, Ti) અથવા ઊંચી સંયોજકતા માટે ઘણા બધા  $d$  ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા (પરિણામે ઓછી કક્ષકો પ્રાપ્ય હોય છે કે જેમાં અન્ય સાથે ઇલેક્ટ્રોનની ભાગીદારી થાય છે) (Cu, Zn) છે. આમ, શ્રેણીના પ્રારંભમાં સ્કેન્ડિયમ (II) વાસ્તવિક રીતે અજ્ઞાત છે તથા Ti (II) અથવા Ti (III)ની સરખામણીમાં Ti (IV) વધુ સ્થાયી છે. શ્રેણીના બીજા છેડે ઝિંકની ઓક્સિડેશન અવસ્થા માત્ર +2 છે ( $d$  ઇલેક્ટ્રોન સંકળાયેલા નથી). સામાન્ય સ્થાયીતાવાળી મહત્તમ ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની સંખ્યા મેંગેનીઝ સુધી  $s$  અને  $d$  કક્ષકોમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રોનના સરવાળા બરાબર હોય છે ( $Ti^{IV}O_2$ ,  $V^{VO_2^+}$ ,  $Cr^{VI}O_4^{2-}$ ,  $Mn^{VII}O_4^-$ ). ત્યારબાદ તત્ત્વોની ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની સ્થાયીતામાં આકસ્મિક ઘટાડો થાય છે. તેથી તેને અનુસરવાવાળી વિશિષ્ટ સ્પિસીઝ  $Fe^{II,III}$ ,  $Co^{II,III}$ ,  $Ni^{II}$ ,  $Cu^{I,II}$ ,  $Zn^{II}$  છે.

ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની પરિવર્તનશીલતા સંક્રાંતિ તત્ત્વોની એક લાક્ષણિકતા છે, તેનું કારણ એ છે કે અપૂર્ણ ભરાતી  $d$  કક્ષકો એવી રીતે ભરાય છે કે તેમની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં ફેરફાર એકબીજાથી એક એકમ જેટલો હોય, દા.ત.,  $V^{II}$ ,  $V^{III}$ ,  $V^{IV}$ ,  $V^{V}$ . આ બાબત બિનસંક્રાંતિ તત્ત્વો (nontransition elements)ની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની પરિવર્તનશીલતાથી વિપરિત હોય છે, જ્યાં સામાન્ય રીતે ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં ફેરફાર બે એકમ જેટલો હોય છે.

$d$ -વિભાગના તત્ત્વોના સમૂહમાં (સમૂહ 4 થી 10) ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની પરિવર્તનશીલતામાં એક રસપ્રદ લક્ષણ જોવા મળે છે. જોકે  $p$ -વિભાગમાં ભારે તત્ત્વો (નિષ્ક્રિય યુગ્મ અસરના કારણે) નીચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં સાનુકૂળતા દર્શાવે છે,  $d$ -વિભાગના સમૂહોમાં તેનાથી વિપરિત બાબત સાચી બને છે. ઉદાહરણ તરીકે સમૂહ 6માં Mo(VI) અને W(VI)ની સ્થાયીતા Cr(VI) કરતાં વધુ જોવા મળે છે. આમ, એસિડિક માધ્યમમાં Cr(VI) ડાયક્રોમોટ સ્વરૂપમાં પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે, જ્યારે  $MoO_3$  અને  $WO_3$  પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા નથી.

નીચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ ત્યારે જોવા મળે છે જ્યારે સંકીર્ણ સંયોજનોમાં લિગેન્ડ  $\sigma$ -બંધન ઉપરાંત  $\pi$ -ગ્રાહી લક્ષણની ક્ષમતા ધરાવતા હોય. ઉદાહરણ તરીકે  $Ni(CO)_4$  અને  $Fe(CO)_5$  માં નિકલ અને આયર્નની ઓક્સિડેશન અવસ્થા શૂન્ય છે.

**કોયડો 8.3** એવા સંક્રાંતિ તત્ત્વનું નામ જણાવો કે જે પરિવર્તનીય ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ ન દર્શાવતા હોય.

**ઉકેલ :** સ્કેન્ડિયમ ( $Z = 21$ ) પરિવર્તનીય ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવતું નથી.

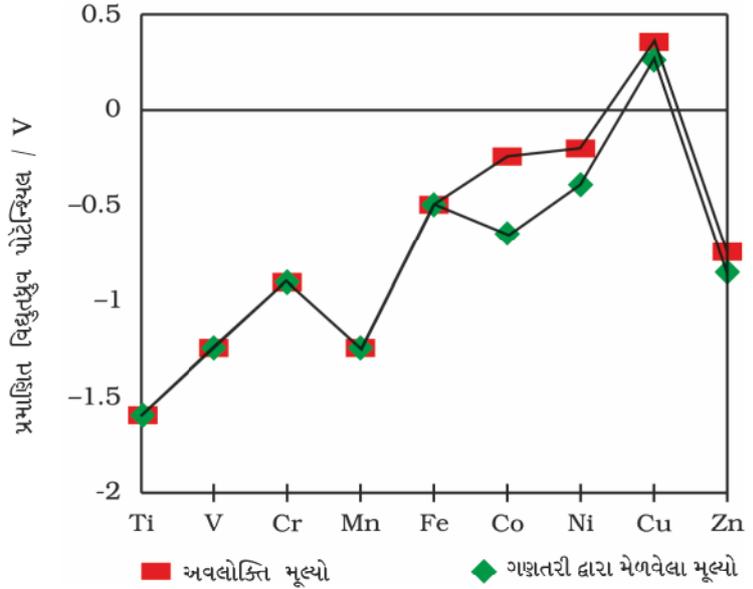
### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

8.3  $3d$  શ્રેણીની કઈ સંક્રાંતિ ધાતુ સૌથી વધુ સંખ્યામાં ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે. શા માટે ?

**8.3.5  $M^{2+}/M$  પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલમાં વલણો (Trends in the  $M^{2+}/M$  Standard Electrode Potential)**

કોષ્ટક 8.4 દ્રાવણમાં ઘન ધાતુ પરમાણુઓનું  $M^{2+}$  આયનોમાં રૂપાંતરણ સંબંધિત ઉષ્માસાયણિક પ્રાયલો, તેમના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ મૂલ્યો દર્શાવે છે. કોષ્ટક 8.4ના મૂલ્યોનો ઉપયોગ કરીને ગણતરી કરેલા મૂલ્યો અને  $E^{\ominus}$ ના અવલોકિત મૂલ્યોની સરખામણી આકૃતિ 8.4માં કરવામાં આવી છે.

Cuના  $E^{\ominus}$ નું ધન મૂલ્ય તેની અદ્વિતીય વર્તણૂક - તેની એસિડ સંયોજનમાંથી  $H_2$  મુક્ત કરવાની અક્ષમતાનું સ્પષ્ટીકરણ આપે છે. માત્ર ઓક્સિડેશનકર્તા એસિડ સંયોજનો (નાઈટ્રિક એસિડ અને ગરમ સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ) Cu સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને એસિડ સંયોજનો રિડક્શન પામે છે. Cu(s)માંથી  $Cu^{2+}(aq)$ ના રૂપાંતરણ



આકૃતિ 8.4 :  $Ti$  થી  $Zn$  તત્વોના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ ( $M^{2+} \rightarrow M^0$ ) માટે અવલોકિત અને ગણતરી દ્વારા મેળવેલા મૂલ્યો

માટેની જરૂરી ઊંચી ઊર્જા, તેમની જલીયકરણ ઊર્જા દ્વારા સમતોલિત થતી નથી. શ્રેણીમાં  $E^{\ominus}$ ના ઓછા ઋણ મૂલ્યોનું સામાન્ય વલણ ધાતુઓની પ્રથમ અને દ્વિતીય આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના સરવાળામાં સામાન્ય વધારા સાથે સંબંધિત છે. તે નોંધવું રસપ્રદ છે કે Mn, Ni અને Znના મૂલ્યો સામાન્ય વલણ દ્વારા અપેક્ષિત મૂલ્યો કરતાં વધુ ઋણ હોય છે.

**કોયડો 8.4** શા માટે  $Cr^{2+}$  રિડક્શન કરે છે અને  $Mn^{3+}$  ઓક્સિડેશન કરે છે ? જોકે બંને  $d^4$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવે છે.

**ઉકેલ :**  $Cr^{2+}$  તેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  $d^4$  માંથી  $d^3$ માં રૂપાંતર કરી રિડક્શન પામે છે, જેથી તેની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલ  $t_{2g}$  સ્તરની બને છે (જુઓ એકમ 9). બીજી તરફ  $Mn^{3+}$ માંથી  $Mn^{2+}$ માં રૂપાંતરણથી અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલ ( $d^5$ ) ઇલેક્ટ્રોનીય રચના પ્રાપ્ત થાય છે જે વિશેષ સ્થાયીતા ધરાવે છે.

**લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન**

8.4 કોપરનું  $E^{\ominus} (M^{2+} / M)$  મૂલ્ય ધન (+ 0.34V) છે. આ માટેનું શક્ય કારણ શું છે ?  
(સંકેત : તેનું ઊંચું  $\Delta_{\text{aq}}H^{\ominus}$  અને નીચું  $\Delta_{\text{hyd}}H^{\ominus}$  મૂલ્ય ધ્યાને લો)

કોષ્ટક 8.4 : પ્રથમ શ્રેણીના સંક્રાંતિ તત્ત્વો માટે ઉષ્માસાયણિક મૂલ્યો ( $\text{kJmol}^{-1}$ ) અને  $M^{II}$ થી  $M$ માં રિડક્શન માટેના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ

તત્ત્વ (M)	$\Delta_a H^0(M)$	$\Delta_1 H_1^0$	$\Delta_1 H_2^0$	$\Delta_{\text{hyd}} H^0(M^{2+})$	$E^0/V$
Ti	469	656	1309	-1866	-1.63
V	515	650	1414	-1895	-1.18
Cr	398	653	1592	-1925	-0.90
Mn	279	717	1509	-1862	-1.18
Fe	418	762	1561	-1998	-0.44
Co	427	757	1644	-2079	-0.28
Ni	431	736	1752	-2121	-0.25
Cu	339	745	1958	-2121	0.34
Zn	130	906	1734	-2059	-0.76

$Mn^{2+}$  અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી  $d$  પેટાકોશ અને  $Zn^{2+}$ માં સંપૂર્ણ ભરાયેલી  $d^{10}$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાની સ્થાયીતા તેમના  $E^0$  મૂલ્યો સાથે સંબંધિત છે, જ્યારે  $Ni^{II}$   $E^0$  મૂલ્ય સૌથી ઊંચાં ઋણ  $\Delta_{\text{hyd}} H^0$  મૂલ્ય સાથે સંબંધિત છે.

### 8.3.6 પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ $M^{3+}/M^{2+}$ માં વલણો (Trends in the $M^{3+}/M^{2+}$ Standard Electrode Potentials)

$E^0 (M^{3+}/M^{2+})$  મૂલ્યોનું (કોષ્ટક 8.2) અવલોકન પરિવર્તનશીલ વલણો દર્શાવે છે.  $Sc$ નું નીચું મૂલ્ય  $Sc^{3+}$ ની સ્થાયીતા દર્શાવે છે, જે ઉમદાવાયુ જેવી ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવે છે.  $Zn^{2+}$ ની સ્થાયી  $d^{10}$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચનામાંથી એક ઇલેક્ટ્રોન દૂર થવાના કારણે  $Zn$  માટે તેનું મૂલ્ય સૌથી ઊંચું હોય છે.  $Mn$  માટેનું સાપેક્ષીય ઊંચું મૂલ્ય દર્શાવે છે કે  $Mn^{2+}(d^5)$  વિશેષ રીતે સ્થાયી છે, જ્યારે  $Fe$  માટેનું સાપેક્ષીય નીચું મૂલ્ય  $Fe^{3+}(d^5)$ ની સવિશેષ સ્થાયીતા દર્શાવે છે.  $V$  માટેનું સાપેક્ષીય નીચું મૂલ્ય  $V^{2+}$ ની સ્થાયીતા (અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલું  $t_{2g}$  સ્તર, એકમ 9) સાથે સંબંધિત છે.

### 8.3.7 ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની સ્થાયીતાના વલણો (Trends in Stability of Higher Oxidation States)

કોષ્ટક 8.5 સંક્રાંતિ ધાતુઓની  $3d$  શ્રેણીના સ્થાયી હેલાઈડ સંયોજનો દર્શાવે છે.  $TiX_4$  (ટ્રિટ્રાહેલાઈડ સંયોજનો),  $VF_5$  અને  $CrF_6$ માં સૌથી ઊંચા ઓક્સિડેશન આંક પ્રાપ્ત થાય છે. સાદા હેલાઈડ સંયોજનોમાં  $Mn$  ઓક્સિડેશન અવસ્થા +7 દર્શાવતું નથી પરંતુ  $MnO_3F$  જાણીતું છે અને  $Mn$  પછી ધાતુઓ ટ્રાયહેલાઈડ સંયોજનો ધરાવતા નથી સિવાય કે  $FeX_3$  અને  $CoF_3$ . સૌથી ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાના સ્થાયીત્વ માટે ફ્લોરિનની ક્ષમતાનું કારણ  $CoF_6$ ના કિસ્સાની જેમ ઊંચી લેટિસ ઊર્જા અથવા ઉચ્ચતર સહસંયોજક સંયોજનો દા.ત.,  $VF_5$  અને  $CrF_6$  માટેની ઉચ્ચતર બંધન એન્ટાલ્પી છે.

જોકે  $V^{+5}$ ને માત્ર  $VF_5$  દ્વારા દર્શાવાય છે, જ્યારે અન્ય હેલાઈડ સંયોજનો જળવિભાજન પામીને ઓક્સોહેલાઈડ સંયોજનો  $VOX_3$  આપે છે. ફ્લોરાઈડ સંયોજનોનું

કોષ્ટક 8.5 :  $3d$  ધાતુઓના હેલાઈડ સંયોજનોના સૂત્રો

ઓક્સિડેશન આંક									
+ 6									
+ 5			$CrF_6$						
+ 4	$TiX_4$	$VF_5$	$CrF_5$	$MnF_4$					
+ 3	$TiX_3$	$VX_4^I$	$CrX_4$	$MnF_3$	$FeX_3^I$	$CoF_3$			
+ 2	$TiX_2^{III}$	$VX_3$	$CrX_3$	$MnX_2$	$FeX_2$	$CoX_2$	$NiX_2$	$CuX_2^{II}$	$ZnX_2$
+1								$CuX^{III}$	

કૂંચી (key) :  $X = F \rightarrow I$ ;  $X^I = F \rightarrow Br$ ;  $X^{II} = F, Cl$ ;  $X^{III} = Cl \rightarrow I$

બીજું લક્ષણ નીચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં તેઓની અસ્થાયીતા છે દા.ત.,  $VX_2$  ( $X = Cl, Br$  અથવા  $I$ ) અને  $CuX$  માટે આ જ લાગુ પડે છે. આયોડાઈડ સિવાય બધા  $Cu^{II}$  હેલાઈડ સંયોજનો જાણીતા છે. આ કિસ્સામાં  $Cu^{2+}$  એ  $I^-$  નું  $I_2$  માં ઓક્સિડેશન કરે છે.



તેમ છતાં જલીય દ્રાવણમાં ઘણા કોપર (I) સંયોજનો અસ્થાયી હોય છે અને વિષમીકરણ અનુભવે છે.



$Cu^{2+}(aq)$  ની  $Cu^+(aq)$  કરતાં વધુ સ્થાયીતાનું કારણ  $Cu^+$  કરતાં  $Cu^{2+}$  નું  $\Delta_{hyd}H^\circ$  નું મૂલ્ય બહુ વધુ ઋણ છે, જે  $Cu$  ની દ્વિતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પીની ક્ષતિપૂર્તિ કરતા વધુ હોય છે.

ઓક્સિજનની સૌથી ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાને સ્થાયીત્વ આપવા માટેની ક્ષમતા ઓક્સાઈડ સંયોજનોમાં જોવા મળે છે. ઓક્સાઈડ સંયોજનોમાં સૌથી ઊંચો ઓક્સિડેશન આંક (કોષ્ટક 8.6) અને તેમનો સમૂહ ક્રમાંક એકસમાન હોય છે અને તે  $Sc_2O_3$  થી  $Mn_2O_7$  સુધી જોવા મળે છે. સમૂહ 7 પછી  $Fe_2O_3$  ઉપરના  $Fe$  ના ઓક્સાઈડ સંયોજનો જાણીતા નથી. જોકે આલ્કલાઈન માધ્યમમાં ફેરેટ (VI) ( $FeO_4$ )<sup>2-</sup> બને છે પરંતુ તેઓ  $Fe_2O_3$  અને  $O_2$  માં વિઘટન પામે છે. ઓક્સાઈડ સંયોજનો ઉપરાંત ઓક્સોકેટાયનો  $V^V$  ને  $VO_2^+$  તરીકે,  $V^{IV}$  ને  $VO^{2+}$  તરીકે અને  $Ti^{IV}$  ને  $TiO^{2+}$  તરીકે સ્થાયીતા આપે છે. ઓક્સિજનની આ ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓને સ્થાયીતા આપવાની ક્ષમતા ફ્લોરિન કરતાં વધુ હોય છે. તેથી  $Mn$  નું ઉચ્ચતમ ફ્લોરાઈડ સંયોજન  $MnF_4$  જ્યારે ઉચ્ચતમ ઓક્સાઈડ સંયોજન  $Mn_2O_7$  છે. ઓક્સિજનની ધાતુઓ સાથે બહુબંધો બનાવવાની ક્ષમતા તેની શ્રેષ્ઠતાને સમજાવે છે. સહસંયોજક ઓક્સાઈડ  $Mn_2O_7$  માં દરેક  $Mn$  પરમાણુ એક  $Mn-O-Mn$  સેતુ સહિત  $O$  પરમાણુઓ દ્વારા સમચતુષ્ફલકીય રીતે ઘેરાયેલો હોય છે.  $V^V$ ,  $Cr^{VI}$ ,  $Mn^V$ ,  $Mn^{VI}$  અને  $Mn^{VII}$  માટે સમચતુષ્ફલકીય  $[MO_4]^n$  આયનો જાણીતા છે.

કોષ્ટક 8.6 : 3d ધાતુઓના ઓક્સાઈડ સંયોજનો

ઓક્સિડેશન આંક	3	4	5	6	સમૂહ 7	8	9	10	11	12
+ 7					$Mn_2O_7$					
+ 6				$CrO_3$						
+ 5			$V_2O_5$							
+ 4		$TiO_2$	$V_2O_4$	$CrO_2$	$MnO_2$					
+ 3	$Sc_2O_3$	$Ti_2O_3$	$V_2O_3$	$Cr_2O_3$	$Mn_2O_3$	$Fe_2O_3$				
+ 2					$Mn_3O_4^*$	$Fe_3O_4^*$	$Co_3O_4^*$			
+ 1		$TiO$	$VO$	$(CrO)$	$MnO$	$FeO$	$CoO$	$NiO$	$CuO$	$ZnO$
									$Cu_2O$	

\* મિશ્રિત ઓક્સાઈડ સંયોજનો

**કોયડો 8.5** તમે શ્રેણી  $VO_2^+ < Cr_2O_7^{2-} < MnO_4^-$  માં ઓક્સિડેશન ક્ષમતામાં વધારાને કેવી રીતે સ્પષ્ટ કરશો ?

**ઉકેલ :** આનું કારણ તેઓ જેમાં રિડક્શન પામે છે તે નિમ્ન સ્પિસીઝની સ્થાયીતામાં થતો વધારો છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

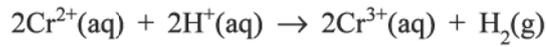
**8.5** સંક્રાંતિ તત્ત્વોની પ્રથમ શ્રેણીમાં આયનીકરણ એન્થાલ્પી (પ્રથમ અને દ્વિતીય)માં અનિયમિત ફેરફારને તમે કેવી રીતે સમજાવશો ?

### 8.3.8 રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા અને $E^\ominus$ મૂલ્યો (Chemical Reactivity and $E^\ominus$ Values)

સંક્રાંતિ ધાતુઓ તેમની રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતામાં વ્યાપક રીતે પરિવર્તનશીલ હોય છે. તે પૈકીની અનેક ધાતુઓ પૂરતી વિદ્યુતધન હોય છે કે જેથી તેઓ ખનીજ એસિડ સંયોજનોમાં ઓગળે છે, જોકે થોડીક ધાતુઓ 'ઉમદા' હોય છે એટલે કે તેઓ સાદા એસિડ સંયોજનો દ્વારા અસર પામતી નથી.

કોપર ધાતુ સિવાય પ્રથમ શ્રેણીની ધાતુઓ સાપેક્ષીય વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે અને  $1M H^+$  દ્વારા ઓક્સિડેશન પામે છે, જોકે આ ધાતુઓની હાઇડ્રોજન આયન ( $H^+$ ) જેવા ઓક્સિડેશનકર્તાઓ સાથે પ્રક્રિયા કરવાના વાસ્તવિક વેગમાં ક્યારેક ઘટાડો થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, વ્યવહારમાં ઓરડાના તાપમાને ટાઇટેનિયમ અને વેનેડિયમ મંદ ઓક્સિડેશનકર્તા એસિડ સંયોજનો પ્રત્યે નિષ્ક્રિય હોય છે.  $M^{2+}/M$  માટે  $E^\ominus$ ના મૂલ્યો (કોષ્ટક 8.2) શ્રેણી દ્વિસંયોજક કેટાયનો બનવાના વલણમાં ઘટાડો સૂચવે છે.  $E^\ominus$ ના ઓછા ઋણ મૂલ્યો તરફનું સામાન્ય વલણ પ્રથમ અને દ્વિતીય આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના સરવાળામાં વધારા સાથે સંકળાયેલું છે. તે નોંધવું રસપ્રદ છે કે Mn, Ni અને Znના  $E^\ominus$  મૂલ્યો સામાન્ય વલણની અપેક્ષા કરતાં વધુ ઋણ હોય છે. જ્યારે  $Mn^{2+}$ માં અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી  $d$  પેટાકોશ ( $d^5$ ) અને ઝિંકમાં પૂર્ણ ભરાયેલી  $d$  પેટાકોશની ( $d^0$ ) સ્થાયીતા તેમના  $E^\ominus$  મૂલ્યો સાથે સંબંધિત છે. નિકલ માટે  $E^\ominus$ નું મૂલ્ય તેની સૌથી વધુ ઋણ જલીયકરણ એન્ટાલ્પી સાથે સંબંધિત છે.

$M^{3+} / M^{2+}$  રેડોક્ષ યુગ્મના  $E^\ominus$  મૂલ્યો (કોષ્ટક 8.2)ના અવલોકનો દર્શાવે છે કે જલીય દ્રાવણોમાં  $Mn^{3+}$  અને  $Co^{3+}$  આયનો પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તાઓ છે.  $Ti^{2+}$ ,  $V^{2+}$  અને  $Cr^{2+}$  પ્રબળ રિડક્શનકર્તાઓ છે અને તેઓ મંદ એસિડમાંથી હાઇડ્રોજન મુક્ત કરે છે. દા.ત.,



**કોષ્ટક 8.6** સંક્રાંતિ ધાતુઓની પ્રથમ હરોળ માટે  $E^\ominus$  મૂલ્યો :

$E^\ominus$	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
( $M^{2+}/M$ )	-1.18	-0.91	-1.18	-0.44	-0.28	-0.25	+0.34

ઉપરના મૂલ્યોમાં અનિયમિતતાને સમજાવો.

**ઉકેલ :**

$E^\ominus$  ( $M^{2+}/M$ ) મૂલ્યો નિયમિત નથી, જેને આયનીકરણ એન્ટાલ્પી ( $\Delta_f H_1 + \Delta_f H_2$ )માં અનિયમિત પરિવર્તન અને ઊર્ધ્વપાતન એન્ટાલ્પી કે જે મેંગેનીઝ અને વેનેડિયમ માટે સાપેક્ષીય રીતે ઘણી ઓછી હોય છે તેના દ્વારા સમજાવી શકાય છે.

**કોષ્ટક 8.7**

$Mn^{3+}/Mn^{2+}$  યુગ્મ માટે  $E^\ominus$ નું મૂલ્ય  $Cr^{3+}/Cr^{2+}$  અથવા  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  ના  $E^\ominus$  મૂલ્ય કરતાં ઘણું વધારે ધન શા માટે હોય છે ? સમજાવો.

**ઉકેલ :**

આ માટે Mnની તૃતીય આયનીકરણ ઊર્જાનું વધુ મૂલ્ય (જ્યાં જરૂરી ફેરફાર  $d^5$  થી  $d^4$  નો છે) મુખ્યત્વે જવાબદાર છે. આ તે પણ સમજાવે છે કે Mnની +3 અવસ્થાનું મહત્વ શા માટે ઓછું છે.

#### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- કોઈ ધાતુ તેની સૌથી ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થા શા માટે માત્ર તેના ઓક્સાઇડ અને ફ્લોરાઇડ સંયોજનમાં દર્શાવે છે ?
- $Cr^{2+}$  અથવા  $Fe^{2+}$  પૈકી કોણ પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે ? શા માટે ?

### 8.3.9 ચુંબકીય ગુણધર્મો (Magnetic Properties)

પદાર્થ પર જ્યારે ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે મુખ્યત્વે બે પ્રકારોની ચુંબકીય વર્તણૂક જોવા મળે છે. પ્રતિચુંબકત્વ (*diamagnetism*) અને અનુચુંબકત્વ (*paramagnetism*) (એકમ 1). પ્રતિચુંબકીય પદાર્થો લાગુ પાડેલા ક્ષેત્ર દ્વારા અપાકર્ષાય છે જ્યારે અનુચુંબકીય પદાર્થો આકર્ષાય છે. જે પદાર્થો લાગુ પાડેલા ક્ષેત્ર દ્વારા અતિ

પ્રબળ રીતે આકર્ષાય છે તેમને લોહચુંબકીય પદાર્થો (Ferromagnetic) કહે છે. વાસ્તવમાં લોહચુંબકત્વ (Ferromagnetism) અનુચુંબકત્વનું ચરમ સ્વરૂપ છે. મોટા ભાગના સંક્રાંતિ ધાતુ આયનો અનુચુંબકીય છે.

અનુચુંબકત્વ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની હાજરીના કારણે ઉત્પન્ન થાય છે, દરેક આવા ઇલેક્ટ્રોન ચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે, જે તેના ભ્રમણ કોણીય વેગમાન (spin angular momentum) અને કક્ષકીય કોણીય વેગમાન (orbital angular momentum) સાથે સંકળાયેલ હોય છે. સંક્રાંતિ ધાતુઓની પ્રથમ શ્રેણીના સંયોજનો માટે કક્ષકીય કોણીય સંવેગનો ફાળો અસરકારક રીતે શમિત (quenched) થાય છે અને તેથી તેની કોઈ અર્થસૂચકતા રહેતી નથી. આ માટે ચુંબકીય ચાકમાત્રાને અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા દ્વારા નક્કી કરવામાં આવે છે અને તેની ગણતરી 'ભ્રમણ-માત્ર' સૂત્ર દ્વારા કરવામાં આવે છે એટલે કે

$$\mu = \sqrt{n(n+2)}$$

જ્યાં n અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા છે અને  $\mu$  ચુંબકીય ચાકમાત્રા છે, જેનો એકમ બોહ્ર મેગ્નેટોન (BM) છે. એક અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની ચુંબકીય ચાકમાત્રા 1.73 બોહ્ર મેગ્નેટોન (BM) હોય છે.

અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા વધવાની સાથે ચુંબકીય ચાકમાત્રા વધે છે આમ, અવલોકિત ચુંબકીય ચાકમાત્રા પરમાણુ, અણુ અથવા આયનમાં રહેલા અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અંગેનું ઉપયોગી સૂચન કરે છે. પ્રથમ શ્રેણીના સંક્રાંતિ તત્ત્વોના કેટલાક આયનો માટે 'ભ્રમણ-માત્ર' સૂત્રથી ગણતરી કરેલા (સૈદ્ધાંતિક) અને પ્રાયોગિક રીતે મેળવેલા ચુંબકીય ચાકમાત્રાના મૂલ્યોને કોષ્ટક 8.7માં દર્શાવેલા છે. પ્રાયોગિક મૂલ્યો મુખ્યત્વે દ્રાવણમાં જળયુક્ત આયનો અથવા ઘન અવસ્થા માટે છે.

કોષ્ટક 8.7 : ગણતરી કરેલી અને અવલોકિત ચુંબકીય ચાકમાત્રા (BM)

આયન	ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન	ચુંબકીય ચાકમાત્રા	
			ગણતરી કરેલી	અવલોકિત
Sc <sup>3+</sup>	3d <sup>0</sup>	0	0	0
Ti <sup>3+</sup>	3d <sup>1</sup>	1	1.73	1.75
Ti <sup>2+</sup>	3d <sup>2</sup>	2	2.84	2.76
V <sup>2+</sup>	3d <sup>3</sup>	3	3.87	3.86
Cr <sup>2+</sup>	3d <sup>4</sup>	4	4.90	4.80
Mn <sup>2+</sup>	3d <sup>5</sup>	5	5.92	5.96
Fe <sup>2+</sup>	3d <sup>6</sup>	4	4.90	5.3 - 5.5
Co <sup>2+</sup>	3d <sup>7</sup>	3	3.87	4.4 - 5.2
Ni <sup>2+</sup>	3d <sup>8</sup>	2	2.84	2.9 - 3.4
Cu <sup>2+</sup>	3d <sup>9</sup>	1	1.73	1.8 - 2.2
Zn <sup>2+</sup>	3d <sup>10</sup>	0	0	

### કોયડો 8.8

જો કોઈ પરમાણુનો પરમાણ્વીય ક્રમાંક 25 હોય તો, તેના જલીય દ્રાવણમાં દ્વિસંયોજક આયનની ચુંબકીય ચાકમાત્રા ગણો.

### ઉકેલ :

જલીયદ્રાવણમાં પરમાણ્વીયક્રમાંક 25 વાળો દ્વિસંયોજક આયન d<sup>5</sup> ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (પાંચ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન) ધરાવે છે. તેથી ચુંબકીય ચાકમાત્રા  $\mu = \sqrt{5(5+2)} = 5.92$  BM થાય.

8.8  $M^{2+}$  (aq) આયન ( $Z = 27$ )ની 'ભ્રમણ-માત્ર' ચુંબકીય ચાકમાત્રા ગણો.

8.3.10 રંગીન આયનોનું નિર્માણ  
(Formation of Coloured Ions)

જ્યારે નીચી ઊર્જાવાળી  $d$  કક્ષકમાંથી ઇલેક્ટ્રોન ઊંચી ઊર્જાવાળી  $d$  કક્ષકમાં ઉત્તેજિત થાય છે ત્યારે ઉત્તેજિત ઊર્જા અવશોષિત પ્રકાશની આવૃત્તિને અનુરૂપ હોય છે (એકમ 9). સામાન્ય રીતે આ આવૃત્તિ દૃશ્ય ક્ષેત્રમાં હોય છે. અવલોકિત રંગ અવશોષિત પ્રકાશના પૂરક રંગને અનુરૂપ હોય છે. અવશોષિત પ્રકાશની આવૃત્તિ લિગેન્ડના સ્વભાવ દ્વારા નક્કી કરવામાં આવે છે. જલીય દ્રાવણોમાં જ્યાં પાણીના અણુઓ લિગેન્ડ તરીકે

હોય છે ત્યારે આયનોના જોવા મળતા રંગોની યાદીને કોષ્ટક 8.8માં દર્શાવેલી છે.  $d$ -વિભાગના કેટલાંક તત્ત્વોના રંગીન દ્રાવણોને આકૃતિ 8.5માં ઉદાહરણ તરીકે દર્શાવ્યા છે.



આકૃતિ 8.5 : પ્રથમ શ્રેણીના કેટલાક ધાતુ આયનોના જલીય દ્રાવણોના રંગ, ડાબીથી જમણી બાજુ તરફ :  $V^{4+}$ ,  $V^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  અને  $Cu^{2+}$

કોષ્ટક 8.8 : પ્રથમ સંક્રાંતિ શ્રેણીના કેટલાક ધાતુ આયનોના (જળયુક્ત) રંગ

ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	ઉદાહરણ	રંગ
$3d^0$	$Sc^{3+}$	રંગવિહીન
$3d^0$	$Ti^{4+}$	રંગવિહીન
$3d^1$	$Ti^{3+}$	જાંબુડીયો
$3d^1$	$V^{4+}$	વાદળી
$3d^2$	$V^{3+}$	લીલો
$3d^3$	$V^{2+}$	જાંબલી
$3d^3$	$Cr^{3+}$	જાંબલી
$3d^4$	$Mn^{3+}$	જાંબલી
$3d^4$	$Cr^{2+}$	વાદળી
$3d^5$	$Mn^{2+}$	ગુલાબી
$3d^5$	$Fe^{3+}$	પીળો
$3d^6$	$Fe^{2+}$	લીલો
$3d^63d^7$	$Co^{3+}Co^{2+}$	વાદળી ગુલાબી
$3d^8$	$Ni^{2+}$	લીલો
$3d^9$	$Cu^{2+}$	વાદળી
$3d^{10}$	$Zn^{2+}$	રંગવિહીન

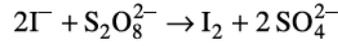
8.3.11 સંકીર્ણ સંયોજનોનું નિર્માણ  
(Formation of Complex Compounds)

સંકીર્ણ સંયોજનો એવા સંયોજનો છે કે જેમાં ધાતુ આયનો નિશ્ચિત સંખ્યામાં ઋણાયન અથવા તટસ્થ અણુઓ સાથે બંધ બનાવીને લાક્ષણિક ગુણધર્મોવાળી સંકીર્ણ સ્પિસીઝ બનાવે છે. આના કેટલાક ઉદાહરણો :  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ ,  $[Fe(CN)_6]^{4-}$ ,  $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$  અને  $[PtCl_4]^{2-}$  (એકમ 9માં સંકીર્ણ સંયોજનોના રસાયણવિજ્ઞાનની

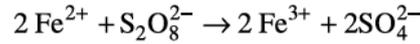
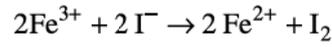
ઊંડાણમાં ચર્ચા કરવામાં આવી છે). સંક્રાંતિ ધાતુઓ મોટી સંખ્યામાં સંક્રીર્ણ સંયોજનો બનાવે છે. આમ થવાનું કારણ ધાતુઆયનોનું સાપેક્ષીય નાનું કદ, તેઓના ઊંચા આયનીય વીજભાર અને બંધ બનાવવા માટે  $d$  કક્ષકોની પ્રાપ્યતા છે.

### 8.3.12 ઉદ્દીપકીય ગુણધર્મો (Catalytic Properties)

સંક્રાંતિ ધાતુઓ અને તેમના સંયોજનો તેમની ઉદ્દીપકીય સક્રિયતા માટે જાણીતા છે. આ સક્રિયતા તેમની બહુ ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓને અનુસરવાની અને સંક્રીર્ણ બનાવવાની ક્ષમતાને કારણે હોય છે. આના કેટલાક ઉદાહરણો વેનેડિયમ (V) ઓક્સાઇડ (સંપર્ક પ્રક્રમમાં), સૂક્ષ્મવિભાજિત આયર્ન (હેબર પ્રક્રમમાં) અને નિકલ (ઉદ્દીપકીય હાઇડ્રોજનીકરણમાં) છે. ઉદ્દીપકના ઘન પૃષ્ઠ પર પ્રક્રિયકોના અણુઓ અને ઉદ્દીપકની પૃષ્ઠના પરમાણુઓ વચ્ચે બંધ બનેલા હોય છે (પ્રથમ શ્રેણીની સંક્રાંતિ ધાતુઓ  $3d$  અને  $4s$  ઇલેક્ટ્રોનોને બંધન માટે ઉપયોગમાં લે છે). આના પરિણામે ઉદ્દીપકના પૃષ્ઠ પર પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતામાં વધારો થાય છે અને પ્રક્રિયકોના અણુઓમાં રહેલા બંધો પણ નિર્ભંગ બને છે (સક્રિયકરણ ઊર્જા ઘટે છે). ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં ફેરફાર થવાના કારણે પણ સંક્રાંતિ ધાતુઓ ઉદ્દીપક તરીકે વધુ અસરકારક બને છે. ઉદાહરણ તરીકે આયર્ન(III), આયોડાઇડ અને પરસલ્ફેટ આયનો વચ્ચેની પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપિત કરે છે.



આ ઉદ્દીપકીય ક્રિયાનું સ્પષ્ટીકરણ નીચે મુજબ આપી શકાય છે :



### 8.3.13 આંતરાલીય સંયોજનોનું નિર્માણ (Formation of Interstitial Compounds)

જ્યારે સંક્રાંતિ ધાતુઓના સ્ફટિક લેટિસમાં અંદરના ભાગમાં નાના પરમાણુઓ જેવા કે H, C અથવા N ગોઠવાય છે ત્યારે આંતરાલીય સંયોજનો બને છે. સામાન્ય રીતે તેઓ બિનતત્ત્વયોગમિતિય હોય છે અને તેઓ નથી આયનીય હોતા કે નથી સહસંયોજક હોતા, ઉદાહરણ તરીકે,  $TiC$ ,  $Mn_4N$ ,  $Fe_3H$ ,  $VH_{0.56}$  અને  $TiH_{1.7}$  વગેરે દર્શાવેલા સૂત્રો ધાતુની સામાન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવતા નથી. તેમના સંઘટનના સ્વભાવના કારણે આ સંયોજનોને આંતરાલીય સંયોજનો તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ સંયોજનોની મુખ્ય ભૌતિક અને રાસાયણિક લાક્ષણિકતાઓ નીચે મુજબની છે :

- તેઓ ઊંચા ગલનબિંદુ ધરાવે છે, જે તેમની શુદ્ધ ધાતુઓના ગલનબિંદુ કરતાં પણ ઊંચા હોય છે.
- તેઓ વધુ સખત હોય છે, કેટલાક બોરાઇડ સંયોજનો કઠિનતામાં હીરા જેવા છે.
- તેઓ ધાત્વીય વાહકતા જાળવી રાખે છે.
- તેઓ રાસાયણિક રીતે નિષ્ક્રિય હોય છે.

### 8.3.14 મિશ્રધાતુ નિર્માણ (Alloy Formation)

મિશ્રધાતુ ધાતુઓનું મિશ્રણ છે, જે તેના ઘટક તત્ત્વોને મિશ્ર કરીને બનાવાય છે. મિશ્રધાતુ સમાંગી ઘન દ્રાવણો હોઈ શકે છે જેમાં એક ધાતુના પરમાણુઓ, બીજી ધાતુના પરમાણુઓમાં યાદચ્છિક (અનિયમિત) રીતે વિતરિત થયેલા હોય છે. આવી મિશ્રધાતુઓની બનાવટ એવા પરમાણુઓ દ્વારા થાય છે કે જેમની ધાત્વીય ત્રિજ્યાઓમાં 15 %થી ઓછો તફાવત હોય. સંક્રાંતિ ધાતુઓની ત્રિજ્યાઓ અને અન્ય લાક્ષણિકતાઓમાં સામ્યતાના કારણે તેઓ સરળતાથી મિશ્રધાતુઓ બનાવે છે. આ રીતે મળતી મિશ્રધાતુ સખત હોય છે અને તેઓ ઊંચા ગલનબિંદુ ધરાવે છે. ફેરસ મિશ્રધાતુઓ સૌથી વધુ પ્રચલિત છે. વિવિધ પ્રકારના સ્ટીલ અને સ્ટેનલેસ સ્ટીલના ઉત્પાદન માટે ક્રોમિયમ, વેનેડિયમ, ટંગસ્ટન, મોલિબ્ડેનમ અને મેંગેનીઝનો ઉપયોગ થાય છે. સંક્રાંતિ ધાતુઓ અને અસંક્રાંતિ ધાતુઓ સાથેની મિશ્રધાતુઓ જેવી કે પિત્તળ (કોપર-ઝિંક) અને કાંસુ (કોપર-ટિન) પણ ઘણું ઔદ્યોગિક મહત્ત્વ ધરાવે છે.

**કોયડો 8.9** ઓક્સિડેશન અવસ્થાના 'વિષમીકરણ'નો અર્થ શું થાય છે ? એક ઉદાહરણ આપો.

**ઉકેલ :** જ્યારે એક ચોક્કસ ઓક્સિડેશન અવસ્થા તેનાથી નીચી અને ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની સરખામણીમાં ઓછી સ્થાયી હોય તો તેનું વિષમીકરણ થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, મેંગેનીઝ (VI) એસિડિક દ્રાવણમાં મેંગેનીઝ (VII) અને મેંગેનીઝ (IV) ની સરખામણીમાં ઓછું સ્થાયી છે.



### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

8.9 સમજાવો કે  $\text{Cu}^+$  આયન જલીય દ્રાવણોમાં શા માટે સ્થાયી હોતો નથી ?

8.4 સંક્રાંતિ તત્ત્વોના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો (Some Important Compounds of Transition Elements)

8.4.1 ધાતુઓના ઓક્સાઇડ અને ઓક્સોએનાયન સંયોજનો (Oxides and Oxoanions of Metals)

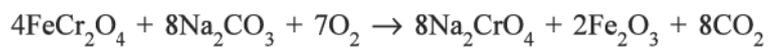
સામાન્ય રીતે ઊંચા તાપમાને સંક્રાંતિ ધાતુઓની ઓક્સિજન સાથેની પ્રક્રિયા દ્વારા આ ઓક્સાઇડ સંયોજનો બનાવવામાં આવે છે. સ્કેન્ડિયમ સિવાયની બધી ધાતુઓ MO ઓક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે, જે આયનીય હોય છે. આ ઓક્સાઇડ સંયોજનોમાંથી સૌથી ઊંચો ઓક્સિડેશન આંક તેમના સમૂહ ક્રમાંકને સમાન હોય છે, જેવું  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  થી  $\text{Mn}_2\text{O}_7$  સુધી જોવા મળે છે. સમૂહ 7 પછી  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ઉપરના Feના ઓક્સાઇડ સંયોજનો જાણીતા નથી. ઓક્સાઇડ સંયોજનો ઉપરાંત ઓક્સોકેટાયનો  $\text{V}^{\text{V}}$ ને  $\text{VO}_2^+$  તરીકે  $\text{V}^{\text{IV}}$ ને  $\text{VO}^{2+}$  તરીકે અને  $\text{Ti}^{\text{IV}}$ ને  $\text{TiO}^{2+}$  તરીકે સ્થાયીતા આપે છે.

જેમ ધાતુઓનો ઓક્સિડેશન આંક વધે છે તેમ ઓક્સાઇડ સંયોજનોનું આયનીય લક્ષણ ઘટે છે. Mnના કિસ્સામાં  $\text{Mn}_2\text{O}_7$  સહસંયોજક લીલો તૈલી પદાર્થ છે. જ્યારે  $\text{CrO}_3$  અને  $\text{V}_2\text{O}_5$  નીચા ગલનબિંદુઓ ધરાવે છે. આ ઊંચા ઓક્સાઇડ સંયોજનોમાં એસિડિક લક્ષણ મુખ્ય હોય છે.

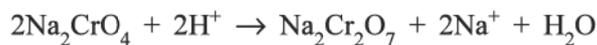
આમ,  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ ,  $\text{HMnO}_4$  આપે છે તથા  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  અને  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  આપે છે.  $\text{V}_2\text{O}_5$  ઊભયધર્મી હોવા છતાં મુખ્યત્વે એસિડિક છે અને તે  $\text{VO}_4^{3-}$  તેમજ  $\text{VO}_2^+$  ક્ષાર આપે છે. વેનેડિયમના કિસ્સામાં બેઝિક  $\text{V}_2\text{O}_3$ થી ઓછું બેઝિક  $\text{V}_2\text{O}_4$  અને ઊભયધર્મી  $\text{V}_2\text{O}_5$  સુધી ક્રમિક ફેરફાર થાય છે.  $\text{V}_2\text{O}_4$  એસિડ સંયોજનોમાં દ્રાવ્ય થઈને  $\text{VO}^{2+}$  ક્ષાર બનાવે છે. આવી જ રીતે  $\text{V}_2\text{O}_5$  બેઈઝ તેમજ એસિડ સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરી અનુક્રમે  $\text{VO}_4^{3-}$  અને  $\text{VO}_4^+$  બનાવે છે. પૂર્ણપણે અભિલક્ષણિત CrO બેઈઝ છે પરંતુ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ઊભયધર્મી છે.

#### પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

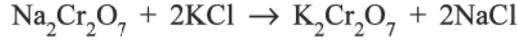
પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટ ચર્મ ઉદ્યોગમાં વધુ અગત્યના રસાયણ તરીકે અને ઘણા એજો સંયોજનોની બનાવટ માટે ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વપરાય છે. સામાન્ય રીતે ડાયક્રોમેટ સંયોજનોને ક્રોમેટમાંથી બનાવાય છે, ક્રોમાઈટ અયસ્કની ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) વધુ પડતી હવાની હાજરીમાં સોડિયમ અથવા પોટેશિયમ કાર્બોનેટ સાથેની સંગલન પ્રક્રિયા દ્વારા ક્રોમેટ મેળવવામાં આવે છે. સોડિયમ કાર્બોનેટ સાથેની આ પ્રક્રિયા નીચે મુજબ થાય છે:



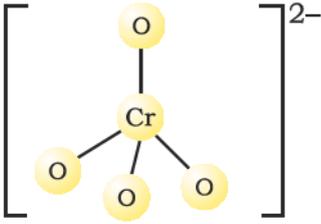
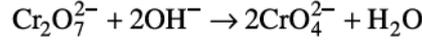
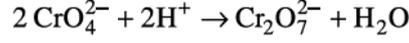
સોડિયમ ક્રોમેટના પીળા દ્રાવણને ગાળ્યા બાદ તેને સલ્ફ્યુરિક એસિડ વડે એસિડિક બનાવતા મળતા દ્રાવણમાંથી નારંગી રંગના સોડિયમ ડાયક્રોમેટનું  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  સ્ફટિકીકરણ કરી શકાય છે.



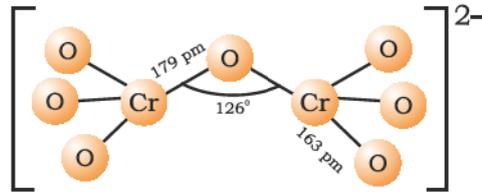
સોડિયમ ડાયક્રોમેટ, પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટ કરતાં વધુ દ્રાવ્ય હોય છે. તેથી સોડિયમ ડાયક્રોમેટના દ્રાવણની પોટેશિયમ ક્લોરાઇડ સાથેની પ્રક્રિયાથી પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટને બનાવવામાં આવે છે.



પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટના નારંગી રંગના સ્ફટિકોનું સ્ફટિકીકરણ થાય છે. જલીય દ્રાવણમાં ક્રોમેટ આયનો અને ડાયક્રોમેટ આયનો આંતરપરિવર્તનશીલ હોય છે, જેનો આધાર દ્રાવણની pH પર રહેલો છે. ક્રોમેટ અને ડાયક્રોમેટમાં ક્રોમિયમની ઓક્સિડેશન અવસ્થા સમાન હોય છે.



ક્રોમેટ આયન



ડાયક્રોમેટ આયન

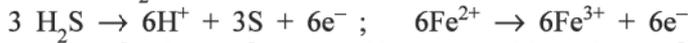
ક્રોમેટ આયન,  $\text{CrO}_4^{2-}$  અને ડાયક્રોમેટ આયન,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  ના બંધારણો નીચે દર્શાવ્યા છે. ક્રોમેટ આયન સમચતુષ્ફલકીય હોય છે, જ્યારે ડાયક્રોમેટ આયનમાં બે સમચતુષ્ફલકોના શીર્ષ એકબીજા સાથે ભાગીદારીમાં હોય

છે, જેમાં Cr-O-Cr બંધકોણનું મૂલ્ય  $126^\circ$  હોય છે.

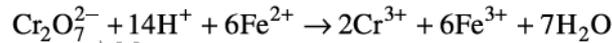
સોડિયમ અને પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટ સંયોજનો પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તાઓ છે. સોડિયમ ક્ષાર પાણીમાં વધુ દ્રાવ્યતા ધરાવતા હોય છે અને તે કાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાનમાં ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વધુ ઉપયોગમાં લેવાય છે. કદમાપક પૃથક્કરણમાં પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટને પ્રાથમિક પ્રમાણિત પદાર્થ તરીકે ઉપયોગમાં લેવાય છે. એસિડિક દ્રાવણમાં તેની ઓક્સિડેશન કરવાની ક્રિયાને નીચે મુજબ નિરૂપિત કરી શકાય છે :



આમ, એસિડમય પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટ આયોડાઇડનું આયોડિનમાં, સલ્ફાઇડનું સલ્ફરમાં, ટિન(II)નું ટિન(IV)માં અને આયર્ન(II) ક્ષારોનું આયર્ન(III)માં ઓક્સિડેશન કરશે. આ અર્ધપ્રક્રિયાઓને નીચે નોંધવામાં આવી છે.

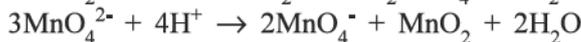
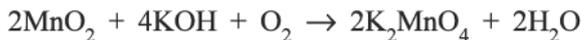


રિડક્શનકર્તા માટેની અર્ધપ્રક્રિયામાં પોટેશિયમ ડાયક્રોમેટ માટેની અર્ધપ્રક્રિયાને ઉમેરીને સંપૂર્ણ આયનીય સમીકરણ મેળવી શકાય છે. દા.ત.,

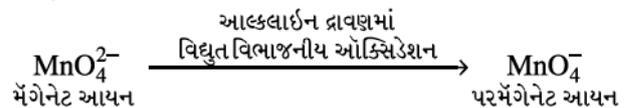
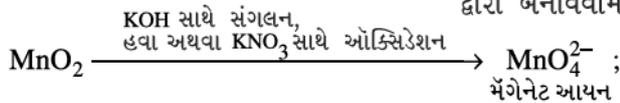


**પોટેશિયમ પરમંગેનેટ,  $\text{KMnO}_4$**

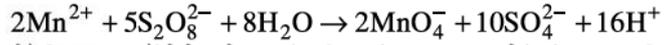
$\text{MnO}_2$ ને આલ્કલી ધાતુ હાઇડ્રોક્સાઇડ અને  $\text{KNO}_3$  જેવા ઓક્સિડેશનકર્તાની સાથે સંગલિત કરીને પોટેશિયમ પરમંગેનેટ બનાવવામાં આવે છે. આ ઘેરા લીલા રંગનો  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  બનાવે છે, જે તટસ્થ અથવા એસિડિક દ્રાવણમાં વિષમીકરણ પામીને પરમંગેનેટ આપે છે.



વ્યાપારિક સ્તરે તેને  $\text{MnO}_2$ નું આલ્કલાઇન માધ્યમમાં ઓક્સિડેશન કરનારી સંગલન (fusion) પ્રક્રિયા કર્યા બાદ મંગેનેટ(VI)ના વિદ્યુત વિભાજનીય ઓક્સિડેશન દ્વારા બનાવવામાં આવે છે.



પ્રયોગશાળામાં મેંગેનીઝ (II) આયનના ક્ષાર પરઓક્સોડાયસલ્ફેટ દ્વારા પરમેંગેનેટમાં ઓક્સિડેશન પામે છે.



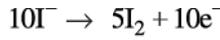
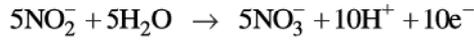
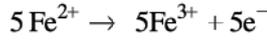
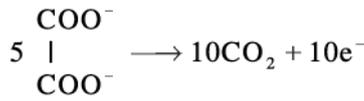
પોટેશિયમ પરમેંગેનેટ ઘેરા જાંબુડીયા (લગભગ કાળો) રંગના સ્ફટિકો બનાવે છે, જે  $\text{KClO}_4$  સાથે સમબંધારણીય હોય છે. આ ક્ષાર પાણીમાં વધુ દ્રાવ્ય નથી (293 K તાપમાને 6.4 g / 100 g પાણીમાં) પરંતુ જ્યારે તેને 513 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે વિઘટન પામે છે.



તેના બે ભૌતિક ગુણધર્મો વધુ રસપ્રદ છે : તેનો અત્યંત ઘેરો રંગ અને પ્રતિચુંબકત્વ હોવાની સાથે તાપમાન પર આધારિત નિર્ભળ અનુચુંબકત્વ છે. આ બાબતને અણુકક્ષક વાદના ઉપયોગ દ્વારા સમજાવી શકાય છે, જે આ પુસ્તકના અભ્યાસ બહારનું છે.

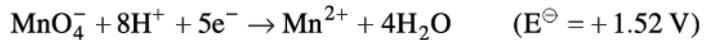
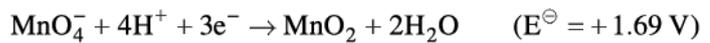
મેંગેનેટ અને પરમેંગેનેટ આયનો સમયતુષ્ફલકીય છે. ઓક્સિજનની  $p$  કક્ષકો અને મેંગેનીઝની  $d$  કક્ષકોના સંમિશ્રણથી  $\pi$  બંધ બને છે. લીલો મેંગેનેટ આયન એક અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનના કારણે અનુચુંબકીય હોય છે પરંતુ પરમેંગેનેટ આયન પ્રતિચુંબકીય હોય છે.

એસિડમય પરમેંગેનેટ દ્રાવણ ઓક્સિલેટનું કાર્બન ડાયોક્સાઇડમાં, આયર્ન (II)નું આયર્ન(III)માં, નાઇટ્રાઇટનું નાઇટ્રેટમાં અને આયોડાઇડનું મુક્ત આયોડિનમાં ઓક્સિડેશન કરે છે. રિડક્શનકર્તાઓની અર્ધપ્રક્રિયાઓ :



રિડક્શનકર્તાની અર્ધપ્રક્રિયામાં  $\text{KMnO}_4$  માટેની અર્ધપ્રક્રિયાને ઉમેરીને સંપૂર્ણ પ્રક્રિયા લખી શકાય છે, જો જરૂર જણાય તો તેને સમતોલિત કરવામાં આવે છે.

આપણે પરમેંગેનેટનું મેંગેનેટ, મેંગેનીઝ ડાયોક્સાઇડ અને મેંગેનીઝ (II) ક્ષારમાં રિડક્શનને અર્ધપ્રક્રિયા દ્વારા નીચે મુજબ નિરૂપિત કરી શકીએ.

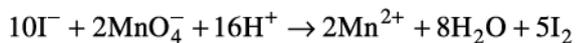


આપણે સારી રીતે જોઈ શકીએ છીએ કે દ્રાવણમાં હાઇડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા પ્રક્રિયાને અસર કરવામાં મહત્વનો ભાગ ભજવે છે. જોકે ઘણી પ્રક્રિયાઓને રેડોક્ષ પોટેન્શિયલની મદદથી સમજાવી શકાય છે, પ્રક્રિયાની ગતિકી પણ એક અગત્યનું પરિબળ છે. પરમેંગેનેટે  $[\text{H}^+] = 1$  પર પાણીનું ઓક્સિડેશન કરવું જોઈએ પરંતુ પ્રાયોગિક રીતે આ પ્રક્રિયા અત્યંત ધીમી હોય છે જ્યાં સુધી મેંગેનીઝ(II) આયનો હાજર ન હોય અથવા તાપમાન વધારવામાં ન આવે.

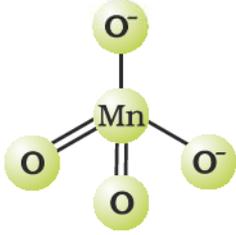
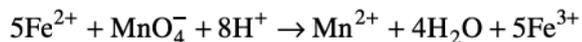
$\text{KMnO}_4$ ની કેટલીક અગત્યની ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાઓ નીચે આપેલી છે.

I. એસિડ દ્રાવણોમાં :

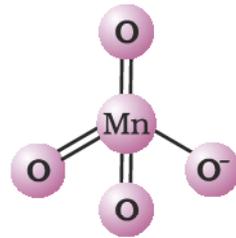
(a) પોટેશિયમ આયોડાઇડમાંથી આયોડિન મુક્ત થાય છે.



(b)  $\text{Fe}^{2+}$  આયન(લીલા)નું  $\text{Fe}^{3+}$  (પીળા)માં રૂપાંતર થાય છે.

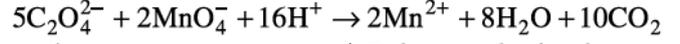


સમયતુષ્ફલકીય મેંગેનેટ (લીલો) આયન

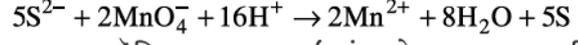
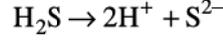


સમયતુષ્ફલકીય પરમેંગેનેટ (જાંબુડીયો) આયન

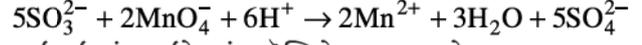
(c) 333 K તાપમાને ઓક્સિડેટ આયન અથવા ઓક્સિડિક એસિડનું ઓક્સિડેશન થાય છે.



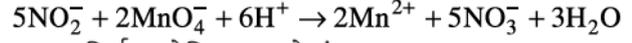
(d) હાઇડ્રોજન સલ્ફાઇડ સલ્ફરમાં ઓક્સિડેશન પામે છે, જેમાં સલ્ફર અવક્ષેપિત થાય છે.



(e) સલ્ફ્યુરસ એસિડ અથવા સલ્ફાઇટનું સલ્ફેટ અથવા સલ્ફ્યુરિક એસિડમાં ઓક્સિડેશન થાય છે.

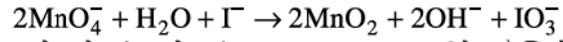


(f) નાઇટ્રાઇટનું નાઇટ્રેટમાં ઓક્સિડેશન થાય છે.

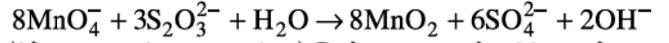


2. તટસ્થ અથવા નિર્બળ બેઝિક દ્રાવણોમાં :

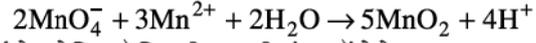
(a) આયોડાઇડનું આયોડેટમાં ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયા નોંધનીય પ્રક્રિયા છે.



(b) થાયોસલ્ફેટનું સલ્ફેટમાં લગભગ જથ્થાત્મક રીતે ઓક્સિડેશન થાય છે.



(c) મેંગેનસ ક્ષારનું  $\text{MnO}_2$ માં ઓક્સિડેશન થાય છે. ઝિંક સલ્ફેટ અથવા ઝિંક ઓક્સાઇડની હાજરી આ ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપિત કરે છે.



નોંધ : હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડની હાજરીમાં પરમેંગેનેટ અનુમાપન અસંતોષકારક હોય છે, કારણ કે હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડ ક્લોરિનમાં ઓક્સિડેશન પામે છે.

**ઉપયોગો :** પોટેશિયમ પરમેંગેનેટનો વૈશ્વેષિક રસાયણવિજ્ઞાનમાં ઉપયોગ ઉપરાંત સાંશ્લેષિત કાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાનમાં તેનો ઉપયોગ પસંદગીયુક્ત ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે થાય છે. તેનો ઉપયોગ ઊન, રૂ, રેશમ અને અન્ય કાપડના રેસાઓના વિરંજનમાં થાય છે. તે તૈલીપદાર્થોને રંગવિહીન બનાવવામાં પણ ઉપયોગી થાય છે, જેનો આધાર તેની ઓક્સિડેશન કરવાની ક્ષમતાની પ્રબળતા પર રહેલો છે.

### આંતરસંક્રાંતિ તત્ત્વો (f-વિભાગ)

f-વિભાગ બે શ્રેણીઓ ધરાવે છે, લેન્થેનોઇડ્સ (લેન્થેનમ પછીના ચૌદ તત્ત્વો) અને એક્ટિનોઇડ્સ (એક્ટિનિયમ પછીનાં ચૌદ તત્ત્વો). લેન્થેનમ, લેન્થેનોઇડ્સને બહુ જ મળતો આવે છે, તેથી લેન્થેનોઇડ્સની દરેક ચર્યામાં લેન્થેનમને સમાવવામાં આવે છે. આ તત્ત્વો માટે સામાન્ય સંજ્ઞા Ln ઉપયોગમાં લેવાય છે. આવી જ રીતે એક્ટિનોઇડ્સની ચર્યામાં આ શ્રેણીનાં ચૌદ તત્ત્વો ઉપરાંત એક્ટિનિયમને પણ સમાવવામાં આવે છે. કોઈ પણ શ્રેણીના સંક્રાંતિ તત્ત્વોની સરખામણીમાં લેન્થેનોઇડ્સ એકબીજા સાથે વધુ નજીકની સમાનતા દર્શાવે છે. આ તત્ત્વો માત્ર એક જ ઓક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવે છે અને તેમનું રસાયણવિજ્ઞાન આ સમાન ગુણધર્મોવાળાં તત્ત્વોના કદ અને કેન્દ્રિય વીજભારમાં થતા અલ્પ ફેરફારથી શ્રેણીમાં થતી અસરની સમીક્ષા કરવાની ઉત્તમ તક પૂરી પાડે છે. બીજી તરફ એક્ટિનોઇડ્સનું રસાયણવિજ્ઞાન ઘણું વધારે જટિલ છે. જટિલતાનું એક કારણ આ તત્ત્વોની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓનો વિસ્તૃત વિસ્તાર અને બીજું કારણ આ તત્ત્વોની રેડિયોસક્રિયતા છે, જે આ તત્ત્વોના અભ્યાસમાં વિશેષ મુશ્કેલીઓ ઊભી કરે છે. અહીંયા આ બે શ્રેણીઓનો અભ્યાસ અલગ રીતે કરીશું.

### 8.5 લેન્થેનોઇડ્સ (The Lanthanoids)

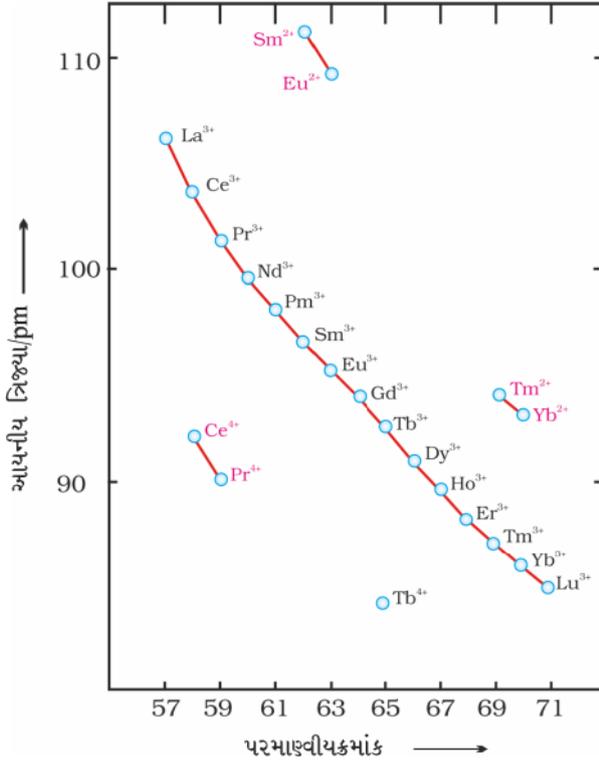
લેન્થેનમ અને લેન્થેનોઇડ્સના નામ (જેમના માટે સામાન્ય સંજ્ઞા Lnનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે), સંજ્ઞા, પરમાણ્વીય અને કેટલીક આયનીય અવસ્થાઓની ઈલેક્ટ્રોનીય રચનાઓ તથા પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યાઓના મૂલ્યોને કોષ્ટક 8.9માં દર્શાવેલા છે.

### 8.5.1 ઈલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configuration)

અહીં એવું જોવા મળે છે કે આ તત્ત્વોના પરમાણુઓની ઈલેક્ટ્રોનીય રચનામાં  $6s^2$  એકસમાન છે, પરંતુ  $4f$  સ્તર જુદી જુદી રીતે ભરાય છે (કોષ્ટક 8.9). જોકે બધા ત્રિધનાયનો (બધા લેન્થેનોઈડ્સની સૌથી વધુ સ્થાયી ઓક્સિડેશન અવસ્થા)ની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $4f^n$  (વધતા જતા પરમાણ્વીય ક્રમાંકની સાથે  $n = 1$  થી  $14$ ) સ્વરૂપે હોય છે.

### 8.5.2 પરમાણ્વીય અને આયનીય કદ (Atomic and Ionic Sizes)

લેન્થેનમથી લ્યુટેશિયમ સુધી પરમાણ્વીય અને આયનીય ત્રિજ્યાઓમાં થતો એકંદર ઘટાડો (લેન્થેનોઈડ સંકોચન) લેન્થેનોઈડ્સના રસાયણવિજ્ઞાનમાં એક અદ્વિતીય લક્ષણ છે. આની તૃતીય સંક્રાંતિ શ્રેણીનાં તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાન પર દૂરગામી અસર થાય છે.



આકૃતિ 8.6 : લેન્થેનોઈડ્સની આયનીય ત્રિજ્યાઓમાં વલણો

### 8.5.3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ (Oxidation States)

લેન્થેનોઈડ્સમાં La(II) અને Ln(III) સંયોજનો મુખ્ય સ્પિસીઝ છે. તેમ છતાં દ્રાવણમાં અથવા ઘન સંયોજનોમાં ક્યારેક +2 અને +4 આયનો પણ પ્રાપ્ત થાય છે. આ અનિયમિતતા (જેમ કે આયનીકરણ એન્ટાલ્પીમાં) ખાલી, અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી અથવા પૂર્ણ ભરાયેલી  $f$  પેટાકોશની સવિશેષ સ્થાયીતાના કારણે જોવા મળે છે. આમ,  $Ce^{IV}$  બનવામાં તેની ઉમદાવાયુ ઈલેક્ટ્રોનીય રચના મદદરૂપ થાય છે પરંતુ તે પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે, જે સામાન્ય +3 અવસ્થામાં પાછા ફરી શકે છે.  $Ce^{4+} / Ce^{3+}$  માટે  $E^0$ નું મૂલ્ય +1.74 V છે જે સૂચવે છે કે તે પાણીનું ઓક્સિડેશન કરી શકે છે. જોકે આ પ્રક્રિયાનો વેગ ઘણો ધીમો હોય છે અને તેથી  $Ce(IV)$  એક સારો વૈશ્લેષિક પ્રક્રિયક છે. Pr, Nd, Tb અને Dy પણ +4 અવસ્થા દર્શાવે છે પરંતુ માત્ર  $MO_2$  ઓક્સાઈડ સંયોજનોમાં જ.  $Eu^{2+}$  બે  $s$  ઈલેક્ટ્રોન ગુમાવાના કારણે બને છે અને તેની  $f^7$  ઈલેક્ટ્રોનીય રચના આ આયન બનવાના કારણે હોય છે. જો કે  $Eu^{2+}$  એક પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે, જે સામાન્ય +3 અવસ્થામાં ફેરવાય છે. તેવી જ રીતે  $Yb^{2+}$  જે  $f^{14}$  ઈલેક્ટ્રોનીય રચના ધરાવતો રિડક્શનકર્તા છે.  $Tb^{IV}$  અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી  $f$ -કક્ષકો ધરાવે છે અને તે ઓક્સિડેશનકર્તા છે. સમેરિયમની વર્તણૂક યુરોપિયમ સાથે ઘણી બધી મળતી આવે છે, જે +2 અને +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે.

કોષ્ટક 8.9 : લેન્થેનમ અને લેન્થેનોઈડ્સની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને ત્રિજ્યાઓ

પરમાણ્વીય ક્રમાંક	નામ	સંજ્ઞા	ઇલેક્ટ્રોનીય રચના*			ત્રિજ્યા/pm		
			Ln	Ln <sup>2+</sup>	Ln <sup>3+</sup>	Ln <sup>4+</sup>	Ln	Ln <sup>3+</sup>
57	લેન્થેનમ	La	5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	5d <sup>1</sup>	4f <sup>0</sup>		187	106
58	સિરિયમ	Ce	4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>2</sup>	4f <sup>1</sup>	4f <sup>0</sup>	183	103
59	પ્રેસિઓડિમિયમ	Pr	4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>3</sup>	4f <sup>2</sup>	4f <sup>1</sup>	182	101
60	નિઓડિમિયમ	Nd	4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>4</sup>	4f <sup>3</sup>	4f <sup>2</sup>	181	99
61	પ્રોમિથિયમ	Pm	4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>5</sup>	4f <sup>4</sup>		181	98
62	સમેરિયમ	Sm	4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>6</sup>	4f <sup>5</sup>		180	96
63	યુરોપિયમ	Eu	4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>7</sup>	4f <sup>6</sup>		199	95
64	ગેડોલિનિયમ	Gd	4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup>	4f <sup>7</sup>		180	94
65	ટર્બિયમ	Tb	4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>9</sup>	4f <sup>8</sup>	4f <sup>7</sup>	178	92
66	ડાયસ્પ્રોસિયમ	Dy	4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>10</sup>	4f <sup>9</sup>	4f <sup>8</sup>	177	91
67	હોલમિયમ	Ho	4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>11</sup>	4f <sup>10</sup>		176	89
68	અર્બિયમ	Er	4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>12</sup>	4f <sup>11</sup>		175	88
69	થુલિયમ	Tm	4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>13</sup>	4f <sup>12</sup>		174	87
70	યટરબિયમ	Yb	4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>14</sup>	4f <sup>13</sup>		173	86
71	લ્યુટેશિયમ	Lu	4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup>	4f <sup>14</sup>	-	-	-

\* માત્ર [Xe] અંતર્ભાગથી બહારના ઇલેક્ટ્રોન દર્શાવવામાં આવ્યા છે.

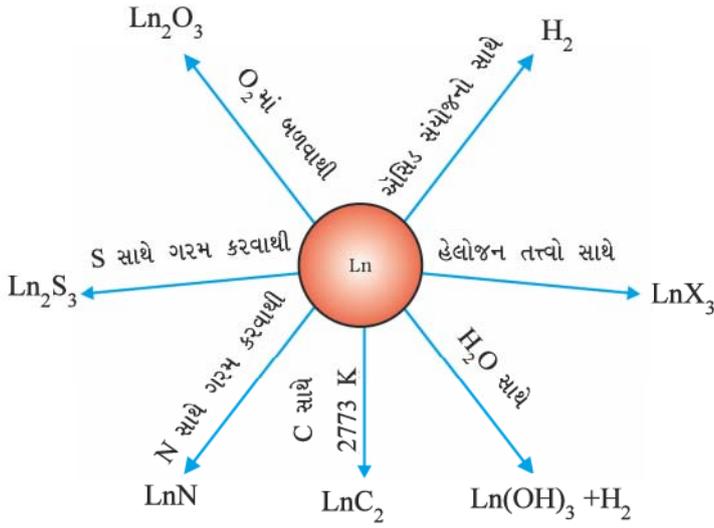
#### 8.5.4 સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ (General Characteristics)

બધા લેન્થેનોઈડ્સ ચાંદી જેવી સફેદ નરમ ધાતુઓ છે અને હવામાં ઝડપથી નિસ્તેજ બને છે. પરમાણ્વીયક્રમાંક વધવાની સાથે કઠિનતા વધે છે, સમેરિયમ સ્ટીલ જેવી કઠિન હોય છે. તેમના ગલનબિંદુઓનો વિસ્તાર 1000થી 1200 K વચ્ચેનો હોય છે પરંતુ સમેરિયમ 1623 K તાપમાને પીગળે છે. તેઓ વિશિષ્ટ ધાત્વીય બંધારણ ધરાવે છે અને તેઓ ઉષ્મા અને વિદ્યુતના સુવાહકો છે. માત્ર Eu અને Yb અને ક્યારેક-ક્યારેક Sm અને Tm સિવાયના તત્ત્વો માટે ઘનતા અને અન્ય ગુણધર્મો સરળતાથી બદલાય છે.

અનેક ત્રિસંયોજક લેન્થેનોઈડ્સ આયનો ઘન અવસ્થામાં અને જલીય દ્રાવણોમાં રંગીન હોય છે. આ આયનોના રંગ f ઇલેક્ટ્રોનોની હાજરીના કારણે હોઈ શકે છે. La<sup>3+</sup> અને Lu<sup>3+</sup> કોઈ રંગ ધરાવતા નથી પરંતુ બાકીના આયનો રંગ ધરાવે છે. તેમ છતાં સંભવિત રીતે f સ્તરની ઉત્તેજનાના કારણે અવશોષણ પટ સાંકડો હોય છે. f<sup>0</sup> પ્રકાર (La<sup>3+</sup> અને Ce<sup>4+</sup>) અને f<sup>14</sup> પ્રકાર (Yb<sup>2+</sup> અને Lu<sup>3+</sup>) આયનો સિવાયના બધા લેન્થેનોઈડ્સ આયનો અનુચુંબકીય હોય છે. નિયોડિમિયમમાં અનુચુંબકત્વ મહત્તમ હોય છે.

લેન્થેનોઈડ્સની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પી લગભગ 600 kJmol<sup>-1</sup>, દ્વિતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પી લગભગ 1200 kJmol<sup>-1</sup> હોય છે, જે કેલ્શિયમને સમતુલ્ય હોય છે. તૃતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પીમાં ફેરફારની ઊંડાણમાં ચર્ચા સૂચવે છે કે વિનિમય એન્થાલ્પીનું મહત્ત્વ (જેમ કે પ્રથમ સંક્રાંતિશ્રેણીની 3d કક્ષકોમાં) ખાલી, અર્ધ ભરાયેલી અને સંપૂર્ણ ભરાયેલી કક્ષકો f સ્તરને કેટલીક મર્યાદા સુધી સ્થાયીતા પ્રદાન કરવામાં જોવા મળે છે. આ બાબત લેન્થેનમ, ગેડોલિનિયમ અને લ્યુટેશિયમની તૃતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પીના અસામાન્ય નીચા મૂલ્યો સૂચવે છે.

સામાન્ય રીતે શ્રેણીના પ્રારંભમાં રહેલા સભ્યો તેમની રાસાયણિક વર્તણૂકમાં કેલ્શિયમની જેમ વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક હોય છે પરંતુ પરમાણ્વીય ક્રમાંક વધવાની સાથે તે એલ્યુમિનિયમની જેમ વર્તન કરે છે. અર્ધપ્રક્રિયા Ln<sup>3+</sup>(aq) + 3e<sup>-</sup> → Ln(s) માટે Eu



આકૃતિ 8.7 : લેન્થેનોઇડ્સની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ

સિવાય  $E^{\circ}$ નું મૂલ્ય  $-2.2$ થી  $-2.4V$ ના ગાળામાં હોય છે.  $Eu$  માટે  $E^{\circ}$ નું મૂલ્ય  $-2.0V$  હોય છે. સ્વાભાવિક રીતે આ નાનો ફેરફાર છે. જ્યારે ધાતુઓએ હાઇડ્રોજન વાયુ સાથે ધીમેથી ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે ધાતુઓ હાઇડ્રોજન સાથે સંયોજાય છે. જ્યારે ધાતુઓને કાર્બન સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે કાર્બાઇડ સંયોજનો  $Ln_3C$ ,  $Ln_2C_3$  અને  $LnC_2$  બને છે. તેઓ મંદ એસિડ સંયોજનોમાંથી હાઇડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરે છે અને હેલોજન સંયોજનો સાથે બળીને હેલાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. તેઓ  $M_2O_3$  ઓક્સાઇડ સંયોજનો અને  $M(OH)_3$  હાઇડ્રોક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. હાઇડ્રોક્સાઇડ સંયોજનો નિશ્ચિત સંયોજનો છે નહીં કે જળયુક્ત ઓક્સાઇડ સંયોજનો. તેઓ આલ્કલાઇન અર્થધાતુ ઓક્સાઇડ સંયોજનો અને હાઇડ્રોક્સાઇડ સંયોજનોની જેમ બેઝિક છે. તેમની સામાન્ય પ્રક્રિયાઓ આકૃતિ 8.7માં દર્શાવેલી છે.

લેન્થેનોઇડ્સનો એક ઉત્તમ ઉપયોગ પતરાં (plates) અને નળીઓ (pipes) બનાવવા માટે મિશ્રધાતુ સ્ટીલના ઉત્પાદનમાં થાય છે. એક સુપ્રસિદ્ધ મિશ્રધાતુ મિશ્રધાતુ (Mischmetal) લેન્થેનોઇડ ધાતુ ( $\sim 95\%$ ) અને આયર્ન ( $\sim 5\%$ ) અને અલ્પપ્રમાણમાં S, C, Ca અને Al ધરાવે છે. મિશ્રધાતુનો મોટો જથ્થો Mg આધારિત મિશ્રધાતુ બનાવવામાં ઉપયોગી થાય છે, જેને બંદૂકની ગોળી, કવચ અને લાઇટરમાં ચક્રમક માટેના પથ્થર બનાવવામાં ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે. લેન્થેનોઇડ્સના મિશ્ર ઓક્સાઇડ સંયોજનોનો ઉપયોગ પેટ્રોલિયમ ભંજનમાં ઉદ્દીપક તરીકે કરવામાં આવે છે. લેન્થેનોઇડ્સના કેટલાક ઓક્સાઇડ સંયોજનોનો ઉપયોગ ટેલિવિઝનના પડામાં સંદીપક (phosphors) તરીકે અને તેવી જ રીતે પ્રસ્ફુરણ પૃષ્ઠોમાં થાય છે.

એક્ટિનોઇડ્સમાં Th થી Lr સુધીનાં ચૌદ તત્ત્વો હોય છે. આ તત્ત્વોના નામ, સંજ્ઞા અને કેટલાક ગુણધર્મોને કોષ્ટક 8.10માં દર્શાવેલા છે.

## 8.6 એક્ટિનોઇડ્સ (The Actinoids)

કોષ્ટક 8.10 : એક્ટિનિયમ અને એક્ટિનોઇડ્સના કેટલાક ગુણધર્મો

પરમાણ્વીય ક્રમાંક	નામ	સંજ્ઞા	ઇલેક્ટ્રોનિય રચના			ત્રિજ્યા/pm	
			M	$M^{3+}$	$M^{4+}$	$M^{3+}$	$M^{4+}$
89	એક્ટિનિયમ	Ac	$6d^17s^2$	$5f^0$		111	
90	થોરિયમ	Th	$6d^27s^2$	$5f^1$	$5f^0$		99
91	પ્રોટેક્ટિનિયમ	Pa	$5f^26d^17s^2$	$5f^2$	$5f^1$		96
92	યુરેનિયમ	U	$5f^36d^17s^2$	$5f^3$	$5f^2$	103	93
93	નેપ્ચ્યુનિયમ	Np	$5f^46d^17s^2$	$5f^4$	$5f^3$	101	92
94	પ્લુટોનિયમ	Pu	$5f^67s^2$	$5f^5$	$5f^4$	100	90
95	અમેરિશિયમ	Am	$5f^77s^2$	$5f^6$	$5f^5$	99	89
96	ક્યુરિયમ	Cm	$5f^76d^17s^2$	$5f^7$	$5f^6$	99	88
97	બર્કેલિયમ	Bk	$5f^97s^2$	$5f^8$	$5f^7$	98	87
98	કેલિફોર્મિયમ	Cf	$5f^{10}7s^2$	$5f^9$	$5f^8$	98	86
99	આઇન્સ્ટાઇનિયમ	Es	$5f^{11}7s^2$	$5f^{10}$	$5f^9$	-	-
100	ફર્મિયમ	Fm	$5f^{12}7s^2$	$5f^{11}$	$5f^{10}$	-	-
101	મેન્ડેલિનિયમ	Md	$5f^{13}7s^2$	$5f^{12}$	$5f^{11}$	-	-
102	નોબેલિયમ	No	$5f^{14}7s^2$	$5f^{13}$	$5f^{12}$	-	-
103	લોરેન્સિયમ	Lr	$5f^{14}6d^17s^2$	$5f^{14}$	$5f^{13}$	-	-

એક્ટિનોઇડ્સ રેડિયોસક્રિય તત્ત્વો છે અને તેની શરૂઆતનાં તત્ત્વો સાપેક્ષીય લાંબો અર્ધઆયુષ્ય સમય ધરાવે છે, ત્યારપછીના તત્ત્વોના અર્ધઆયુષ્ય સમય એક દિવસથી 3 મિનિટના ગાળામાં હોય છે. લોરેન્શિયમ ( $Z = 103$ )નો અર્ધઆયુષ્ય સમય 3 મિનિટનો છે. પછીનાં તત્ત્વો માત્ર નેનોગ્રામમાં જ બનાવી શકાય છે. આ હકીકતોના કારણે તેમનો અભ્યાસ વધુ મુશ્કેલ બને છે.

### 8.6.1 ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (Electronic Configurations)

એવું માનવામાં આવે છે કે બધા એક્ટિનોઇડ્સમાં  $7s^2$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના હોય છે અને  $5f$  તથા  $6d$  પેટાકોશો જુદી જુદી રીતે ભરાય છે. ચૌદ ઇલેક્ટ્રોન  $5f$  કક્ષકોમાં ભરાઈ શકે છે, થોરિયમ ( $Z = 90$ ) સુધી નહીં પરંતુ Pa અને તે પછીનાં તત્ત્વોમાં ઇલેક્ટ્રોન ભરાતા જઈ તત્ત્વ 103 આગળ  $5f$  કક્ષકો સંપૂર્ણ ભરાઈ જાય છે. લેન્થેનોઇડ્સની જેમ એક્ટિનોઇડ્સની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાઓમાં અનિયમિતતા  $5f$  પેટાકોશમાં રહેલી  $f^0, f^7$  અને  $f^{14}$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાઓની સ્થાયીતા સાથે સંબંધિત છે. Am, Cm અને Cnની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અનુક્રમે  $[Rn]5f^7 7s^2$  અને  $[Rn]5f^7 6d^1 7s^2$  છે. જોકે  $5f$  કક્ષકો,  $4f$  કક્ષકો સાથે તેમના તરંગવિધેયના કોણીય ભાગના સંદર્ભમાં સમાનતા દર્શાવે છે.  $5f$  કક્ષકો,  $4f$  કક્ષકો જેટલી અંદરના ભાગમાં દબાયેલી હોતી નથી તેથી  $5f$  કક્ષકો બંધ બનાવવામાં વધુ પ્રમાણમાં ભાગ લઈ શકે છે.

### 8.6.2 આયનીય કદ (Ionic Sizes)

એક્ટિનોઇડ્સમાં લેન્થેનોઇડ્સમાં જોવા મળતા સામાન્ય વલણ જેવું જ વલણ જોવા મળે છે. શ્રેણીમાં પરમાણુઓના અથવા  $M^{3+}$  આયનોના કદ ક્રમશઃ ઘટે છે. આને એક્ટિનોઇડ સંકોચન (લેન્થેનોઇડ સંકોચન જેવું) તરીકે ગણવામાં આવે છે. આ સંકોચન  $5f$  ઇલેક્ટ્રોનની નબળી શિલ્ડિંગ અસરના કારણે એક તત્ત્વથી બીજા તત્ત્વમાં ક્રમશઃ વધતું જાય છે.

### 8.6.3 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ (Oxidation States)

એક્ટિનોઇડ્સમાં ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓનો મોટો ગાળો હોય છે, આંશિક રીતે તેનું કારણ  $5f, 6d$  અને  $7s$  સ્તરોની સમતુલ્ય ઊર્જા છે. એક્ટિનોઇડ્સની જાણીતી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓની યાદી કોષ્ટક 8.11માં દર્શાવેલી છે.

એક્ટિનોઇડ્સ સામાન્ય રીતે +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. શ્રેણીના પ્રથમ અડધા ભાગના તત્ત્વો સામાન્ય રીતે ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે, મહત્તમ ઓક્સિડેશન અવસ્થા Thમાં +4 છે, Pa, U અને Npમાં અનુક્રમે +5, +6 અને +7 સુધી વધે છે, પરંતુ પછીનાં તત્ત્વોમાં તે ઘટે છે (કોષ્ટક 8.11). એક્ટિનોઇડ્સ, લેન્થેનોઇડ્સની જેમ +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થા કરતાં +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં વધુ સંયોજનો ધરાવે છે. જોકે +3 અને +4 આયનો જળવિભાજન પામવાનું વલણ ધરાવે છે. શરૂઆતના અને પછીના એક્ટિનોઇડ્સની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓના વિતરણમાં એટલી બધી અનિયમિતતા અને ભિન્નતા જોવા મળે છે કે ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓના સંદર્ભમાં આ તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાનની સમીક્ષા કરવી સંતોષકારક નથી.

કોષ્ટક 8.11: એક્ટિનિયમ અને એક્ટિનોઇડ્સની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	Mo	Lr
3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4						
		5	5	5	5	5								
			6	6	6	6								
				7	7									

### 8.6.4 સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ અને લેન્થેનોઇડ્સ સાથે સરખામણી (General Characteristics and Comparison with Lanthanoids)

બધી એક્ટિનોઇડ ધાતુઓ દેખાવમાં ચાંદી જેવી લાગે છે પરંતુ તેઓ વિભિન્ન પ્રકારના બંધારણો દર્શાવે છે. બંધારણીય ભિન્નતાનું કારણ ધાત્વીય ત્રિજ્યાઓમાં અનિયમિતતા છે, જે લેન્થેનોઇડ્સ કરતા ઘણી વધારે છે.

એક્ટિનોઇડ્સ અત્યંત પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુઓ છે, ખાસ કરીને જ્યારે તેઓ સૂક્ષ્મ વિભાજિત હોય ત્યારે. ઉદાહરણ તરીકે, ઉકળતા પાણીની તેમની સાથેની પ્રક્રિયા ઓક્સાઇડ અને હાઇડ્રાઇડનું મિશ્રણ આપે છે અને મધ્યમ તાપમાને તેઓ મોટા ભાગની અધાતુઓ સાથે સંયોજાય છે. હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડ બધી ધાતુઓ પર હુમલો કરે છે પરંતુ મોટા ભાગની ધાતુઓ નાઇટ્રિક એસિડથી ઓછી અસર પામે છે, કારણ કે આ ધાતુઓ પર ઓક્સાઇડનું સંરક્ષી સ્તર બને છે; આલ્કલીની આ ધાતુઓ પર કોઈ અસર થતી નથી.

એક્ટિનોઇડ્સના ચુંબકીય ગુણધર્મો લેન્થેનોઇડ્સની સરખામણીમાં વધુ જટિલ હોય છે. જોકે  $5f$  માં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા સાથે એક્ટિનોઇડની ચુંબકીય ગ્રાહ્યતામાં ફેરફાર લગભગ એવો હોય છે જેવો લેન્થેનોઇડ્સના અનુવર્તી પરિણામોમાં હોય છે. જોકે આ મૂલ્યો લેન્થેનોઇડ્સમાં થોડાક વધારે હોય છે.

એક્ટિનોઇડ્સની વર્તણૂકના આધારે તે સાબિત થાય છે કે શરૂઆતના એક્ટિનોઇડ્સની આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો ચોક્કસ રીતે જાણીતા નથી પરંતુ તેઓ શરૂઆતના લેન્થેનોઇડના આયનીકરણ એન્ટાલ્પીના મૂલ્યો કરતાં ઓછા હોય છે. આ બાબત યોગ્ય છે કારણ કે જ્યારે  $5f$  કક્ષક ભરાવાનું શરૂ થાય છે ત્યારે તે અંતર્ભાગમાં (inner core) ઓછું ભેદન કરશે. તેથી  $5f$  ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રિય વીજભાર પ્રત્યે અનુવર્તી લેન્થેનોઇડ્સના  $4f$  ઇલેક્ટ્રોનની સરખામણીમાં વધુ અસરકારક રીતે શિલ્ડિંગ અસર પામેલા હોય છે, એક્ટિનોઇડ્સમાં બાહ્ય ઇલેક્ટ્રોન ઓછી દૃઢતાથી બંધાયેલા હોવાથી બંધન માટે પ્રાપ્ય હોય છે.

જુદી જુદી લાક્ષણિકતાઓના આધારે એક્ટિનોઇડ્સની સરખામણી લેન્થેનોઇડ્સ સાથે ઉપર ચર્ચા કર્યા મુજબ કરવામાં આવે છે, પરિણામે એક્ટિનોઇડ્સમાં લેન્થેનોઇડ્સ જેવી વર્તણૂક એક્ટિનોઇડ્સ શ્રેણીના બીજા અડધા ભાગ સુધી સ્પષ્ટ હોતી નથી. જોકે એક્ટિનોઇડ્સના શરૂઆતના સભ્યો, એકબીજા સાથે અત્યંત સામ્યતા દર્શાવતા લેન્થેનોઇડ્સ સાથે અને ગુણધર્મોમાં ક્રમિક ફેરફારમાં કે જે ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં કારણભૂત ફેરફાર હોતા નથી તેની સાથે સામ્યતા ધરાવે છે. લેન્થેનોઇડ અને એક્ટિનોઇડ સંકોચનોની તત્વોના આકાર પર વિસ્તૃત અસર પડે છે અને તેથી અનુવર્તી આવર્તમાં તેમના પછીનાં તત્વોનાં ગુણધર્મો પર અસર પડે છે. લેન્થેનોઇડ સંકોચન વધુ મહત્વનું છે કારણ કે એક્ટિનોઇડ પછીનાં તત્વોનું રસાયણવિજ્ઞાન હાલમાં ઓછું જાણીતું છે.

### કોયડો 8.10

લેન્થેનોઇડ શ્રેણીના એક સભ્યનું નામ આપો કે જે +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવવા માટે સુપ્રસિદ્ધ છે.

### ઉકેલ :

સિરિયમ ( $Z = 58$ )

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન

8.10 એક તત્વથી બીજા તત્વની વચ્ચે લેન્થેનોઇડ સંકોચનની સરખામણીમાં એક્ટિનોઇડ સંકોચન વધારે હોય છે. શા માટે ?

### 8.7 $d$ અને $f$ -વિભાગનાં તત્વોના કેટલાક અનુપ્રયોગો (Some Applications of $d$ -and $f$ -Block Elements)

લોખંડ અને સ્ટીલ અત્યંત મહત્વની બાંધકામ સામગ્રી છે. તેમનું ઉત્પાદન આયર્ન ઓક્સાઇડ સંયોજનોના રિડક્શન, અશુદ્ધિઓનું દૂર થવું તથા કાર્બનનું ઉમેરણ તથા Cr, Mn અને Ni જેવી ધાતુઓના મિશ્રણીકરણ પર આધારિત છે. કેટલાક સંયોજનોનું ઉત્પાદન વિશિષ્ટ હેતુઓ માટે કરવામાં આવે છે જેમ કે TiO વર્ણક ઉદ્યોગ માટે અને MnO<sub>2</sub> સૂકા બેટરી કોષોમાં ઉપયોગ માટે, બેટરી ઉદ્યોગમાં Zn અને Ni/Cdની પણ જરૂર પડે છે. સમૂહ 11નાં તત્વો મૂલ્યવાન હોવાના કારણે મુદ્રાધાતુઓ કહેવાય છે. જોકે Ag અને Auની વસ્તુઓનું મહત્વ તેના સંગ્રહ સુધી જ મર્યાદિત થઈ ગયું છે તથા હાલમાં UK

‘કોપર’ સિક્કા વાસ્તવમાં કોપરનું સ્તર ચઢાવેલ સ્ટીલ છે. UK ‘સિલ્વર’ સિક્કા Cu/Ni મિશ્રધાતુ છે. ઘણી ધાતુઓ અને / અથવા તેમના સંયોજનો રાસાયણિક ઉદ્યોગો માટે આવશ્યક ઉદ્દીપકો છે.  $V_2O_5$  સલ્ફ્યુરિક એસિડના ઉત્પાદનમાં  $SO_2$  ના ઓક્સિડેશનને ઉદ્દીપિત કરે છે.  $Al(CH_3)_3$  યુક્ત  $TiCl_4$  ઝિંકર ઉદ્દીપકનો આધાર બનાવે છે. ઝિંકર ઉદ્દીપકનો ઉપયોગ પોલિઇથીલીન (પોલિથીન)ના ઉત્પાદનમાં થાય છે. આયર્ન ઉદ્દીપકનો ઉપયોગ  $N_2/H_2$  મિશ્રણમાંથી એમોનિયાના ઉત્પાદન માટેના હેબર પ્રક્રમમાં થાય છે. ચરબીના હાઇડ્રોજનીકરણ કરવામાં નિકલ ઉદ્દીપક તરીકે વર્તે છે. ઇથાઇનના ઓક્સિડેશનથી ઇથેનાલ બનાવવાની વાકર પ્રક્રમ (Wacker process)  $PdCl_2$  દ્વારા ઉદ્દીપિત થાય છે. નિકલ સંકીર્ણો આલ્કાઇન સંયોજનો અને બેન્ઝિન જેવા અન્ય કાર્બનિક સંયોજનોના પોલિમરાઇઝેશનમાં ઉપયોગી થાય છે. ફોટોગ્રાફી ઉદ્યોગ  $AgBr$ ના વિશિષ્ટ પ્રકાશ સંવેદનશીલતા ગુણધર્મો પર આધારિત છે.

## સારાંશ

3-12 સમૂહો ધરાવતો  $d$  વિભાગ આવર્તકોષ્ટકનો મોટો મધ્ય ભાગ રોકે છે. આ તત્ત્વોમાં આંતર  $d$  કક્ષકો ક્રમશઃ ભરાય છે.  $f$ -વિભાગને આવર્તકોષ્ટકની નીચે બહારની બાજુએ રાખવામાં આવ્યો છે અને આ વિભાગનાં તત્ત્વોમાં  $4f$  અને  $5f$  કક્ષકો ક્રમશઃ ભરાય છે.

$3d$ ,  $4d$  અને  $5d$  કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોન ભરાવાને અનુવર્તી સંક્રાંતિ તત્ત્વોની ત્રણ શ્રેણીઓ જાણીતી છે. બધા સંક્રાંતિ તત્ત્વો વિશિષ્ટ ધાત્વીય ગુણધર્મો જેવા કે ઉચ્ચ તનન પ્રબળતા, તણાવપણુ, ટિપાઉપણુ, ઉષ્મીય અને વિદ્યુતવાહકતા તથા ધાત્વીય લક્ષણ દર્શાવે છે. તેઓના ગલન અને ઉત્કલનબિંદુઓ ઊંચા હોય છે, જેનું કારણ  $(n-1) d$  ઇલેક્ટ્રોનની સહભાગીતાના કારણે નીપજતું પ્રબળ આંતરપરમાણ્વીય બંધન છે. આ બધા ગુણધર્મો માટે દરેક શ્રેણીમાં લગભગ મધ્યમાં મહત્તમ મૂલ્ય એમ સૂચવે છે કે પ્રબળ આંતરપરમાણ્વીય પારસ્પરિક ક્રિયા માટે પ્રતિ  $d$  કક્ષક એક અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન હોવો વિશેષ રીતે અનુકૂળ હોય છે.

પરમાણ્વીય ક્રમાંક વધવાની સાથે સંક્રાંતિ તત્ત્વોની ક્રમિક આયનીકરણ એન્ટાલ્પીમાં થતો વધારો એટલો તીવ્ર નથી હોતો જેટલો મુખ્ય સમૂહના તત્ત્વોમાં હોય છે. આથી  $(n-1) d$  કક્ષકોમાંથી ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યામાં ફેરફારનો ઘટાડો ઊર્જાની દૃષ્ટિએ પ્રતિકૂળ નથી હોતો. સંક્રાંતિ ધાતુઓના સ્વભાવના સંદર્ભમાં  $(n-1) d$  ઇલેક્ટ્રોનની સહભાગીતા આ તત્ત્વોને કેટલીક વિશિષ્ટ લાક્ષણિકતાઓ પ્રદાન કરે છે.

આમ, બદલાતી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ ઉપરાંત સંક્રાંતિ ધાતુઓ અનુચુંબકીય વર્તણૂક, ઉદ્દીપકીય ગુણધર્મો દર્શાવે છે તથા રંગીન આયનો, આંતરાલીય સંયોજનો અને સંકીર્ણ સંયોજનોના નિર્માણનું વલણ પણ દર્શાવે છે.

સંક્રાંતિ તત્ત્વો તેમની રાસાયણિક વર્તણૂકો વ્યાપક રીતે બદલતા રહે છે. આમાંની ઘણી ધાતુઓ ખનિજ એસિડ સંયોજનોમાં દ્રાવ્ય થવા માટે પૂરતી વિદ્યુતધન હોય છે. જોકે આમાંનાં કેટલાંક તત્ત્વો ઉમદા છે. પ્રથમ સંક્રાંતિશ્રેણીમાં કોપર સિવાય બધી ધાતુઓ સાપેક્ષીય રીતે પ્રતિક્રિયાત્મક છે.

સંક્રાંતિ ધાતુઓ ઘણી અધાતુઓ જેવી કે ઓક્સિજન, નાઇટ્રોજન, સલ્ફર અને હેલોજન તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા કરીને દ્વિઅંગી સંયોજનો બનાવે છે. સામાન્ય રીતે પ્રથમ સંક્રાંતિ શ્રેણીની ધાતુઓ ઊંચા તાપમાને ઓક્સિજન સાથે પ્રક્રિયા કરીને ધાતુ ઓક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. આ ઓક્સાઇડ સંયોજનો એસિડ અને બેઇઝ સંયોજનોમાં દ્રાવ્ય થઈને ઓક્સોધાત્વીય ક્ષારો બનાવે છે. પોટેશિયમ ડાયકોમેટ અને પોટેશિયમ પરમેંગેનેટ આના સામાન્ય ઉદાહરણો છે. પોટેશિયમ ડાયકોમેટ બનાવવા માટે ક્રોમિક અયસ્કને હવાની હાજરીમાં આલ્કલી સાથે સંગલિત કર્યા બાદ નિષ્કર્ષને એસિડમય બનાવવામાં આવે છે. પોટેશિયમ પરમેંગેનેટ બનાવવા માટે પાયરોલુસાઇટ અયસ્કનો ( $MnO_2$ ) ઉપયોગ થાય છે. ડાયકોમેટ અને પરમેંગેનેટ બંને આયનો પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તાઓ છે.

આંતરસંક્રાંતિ તત્ત્વોની બે શ્રેણીઓ લેન્થેનોઇડ્સ અને એક્ટિનોઇડ્સ આવર્તકોષ્ટકના  $f$ -વિભાગની રચના કરે છે.  $4f$  આંતર કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોન ક્રમશઃ ભરાવાની સાથે શ્રેણીની ધાતુઓના પરમાણ્વીય અને આયનીય કદમાં ક્રમશઃ ઘટાડો થાય છે (લેન્થેનોઇડ સંકોચન), જેની અસર પછીનાં તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાન પર થાય છે. લેન્થેનમ અને બધા લેન્થેનોઇડ્સ પ્રમાણમાં નરમ સફેદ ધાતુઓ છે. તેઓ પાણી સાથે સહેલાઈથી પ્રક્રિયા કરીને  $+3$  આયનોવાળા દ્રાવણો આપે છે. મુખ્ય

ઓક્સિડેશન અવસ્થા +3 છે તેમ છતાં ક્યારેક +4 અને +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ પણ દર્શાવે છે. વિવિધ ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં અસ્તિત્વ ધરાવવાની ક્ષમતાના કારણે એક્ટિનોઇડ્સનું રસાયણવિજ્ઞાન વધુ જટિલ છે. આ ઉપરાંત ઘણા એક્ટિનોઇડ તત્ત્વો રેડિયોસક્રિય છે જે આ તત્ત્વોના અભ્યાસને પ્રમાણમાં મુશ્કેલ બનાવે છે.

*d*- અને *f*-વિભાગનાં તત્ત્વો અને તેમના સંયોજનોના બહુ ઉપયોગી અનુપ્રયોગો છે અને તે પૈકીમાં વિભિન્ન પ્રકારના સ્ટીલ, ઉદીપકો, સંકીર્ણ સંયોજનો, કાર્બનિક સંશ્લેષણ વગેરે નોંધનીય છે.

## સ્વાધ્યાય

- 8.1 નીચે દર્શાવેલા આયનોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના લખો :
 

(i) $\text{Cr}^{3+}$	(iii) $\text{Cu}^{+}$	(v) $\text{Co}^{2+}$	(vii) $\text{Mn}^{2+}$
(ii) $\text{Pm}^{3+}$	(iv) $\text{Ce}^{4+}$	(vi) $\text{Lu}^{2+}$	(viii) $\text{Th}^{4+}$
- 8.2 +3 અવસ્થામાં ઓક્સિડેશન પામવા સંદર્ભે  $\text{Mn}^{2+}$  સંયોજનો  $\text{Fe}^{2+}$  કરતાં શા માટે વધારે સ્થાયી હોય છે ?
- 8.3 ટૂંકમાં સમજાવો કે પ્રથમ સંક્રાંતિ શ્રેણીના પ્રથમ અડધા તત્ત્વોમાં પરમાણ્વીય ક્રમાંક વધવાની સાથે +2 અવસ્થા કેવી રીતે વધુ ને વધુ સ્થાયી બને છે ?
- 8.4 પ્રથમ સંક્રાંતિ તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના કયા ગાળા સુધી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓને નક્કી કરે છે ? તમારા ઉત્તરને ઉદાહરણસહિત સમજાવો.
- 8.5 નીચે દર્શાવેલી સંક્રાંતિ તત્ત્વોના પરમાણુઓની ધરાઅવસ્થામાં *d* ઇલેક્ટ્રોનીય રચનામાં કઈ ઓક્સિડેશન અવસ્થા સ્થાયી હશે ?  $3d^3$ ,  $3d^5$ ,  $3d^8$  અને  $3d^4$  ?
- 8.6 સંક્રાંતિ ધાતુઓની પ્રથમ શ્રેણીના ઓક્સોધાતુ ઋણાયનોના નામ જણાવો કે જે ધાતુ તેના સમૂહક્રમાંકની સમાન ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.
- 8.7 લેન્થેનોઇડ સંકોચન એટલે શું ? લેન્થેનોઇડ સંકોચનનું પરિણામ શું હોય છે ?
- 8.8 સંક્રાંતિ તત્ત્વોની લાક્ષણિકતાઓ શું હોય છે અને તેઓ શા માટે સંક્રાંતિ તત્ત્વો કહેવાય છે ? *d*-વિભાગના કયા તત્ત્વોને સંક્રાંતિ તત્ત્વો તરીકે ગણી શકાતા નથી ?
- 8.9 સંક્રાંતિ તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના કેવી રીતે અસંક્રાંતિ તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાથી ભિન્ન છે ?
- 8.10 લેન્થેનોઇડ્સ કઈ જુદી જુદી ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ દર્શાવે છે ?
- 8.11 કારણો આપીને સમજાવો :
  - (i) સંક્રાંતિ તત્ત્વો અને તેમના ઘણા સંયોજનો અનુચુંબકીય વર્તણૂક દર્શાવે છે.
  - (ii) સંક્રાંતિ ધાતુઓની પરમાણ્વીકરણ એન્થાલ્પી ઊંચી હોય છે.
  - (iii) સામાન્ય રીતે સંક્રાંતિ ધાતુઓ રંગીન સંયોજનો બનાવે છે.
  - (iv) સંક્રાંતિ ધાતુઓ અને તેમના ઘણા સંયોજનો સારા ઉદીપક તરીકે વર્તે છે.
- 8.12 આંતરાલીય સંયોજનો એટલે શું ? સંક્રાંતિ ધાતુ માટે આવા સંયોજનો શા માટે સુપ્રસિદ્ધ હોય છે ?
- 8.13 સંક્રાંતિ ધાતુઓની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં પરિવર્તનશીલતા, અસંક્રાંતિ ધાતુઓની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓમાં પરિવર્તનશીલતા કરતાં કેવી રીતે જુદી છે ? ઉદાહરણો સહિત સમજાવો.
- 8.14 આયર્ન કોમાઈટ અયસ્કમાંથી પોટેશિયમ ડાયકોમેટની બનાવટ વર્ણવો. પોટેશિયમ ડાયકોમેટના દ્રાવણ પર pHના વધારાની શું અસર થાય છે ?
- 8.15 પોટેશિયમ ડાયકોમેટની ઓક્સિડેશન ક્રિયા વર્ણવો અને તેની નીચે દર્શાવેલા સાથેની પ્રક્રિયાના આયનીય સમીકરણો લખો :
  - (i) આયોડાઈડ
  - (ii) આયર્ન (II) દ્રાવણ અને
  - (iii)  $\text{H}_2\text{S}$

8.16 પોટેશિયમ પરમેંગેનેટની બનાવટ વર્ણવો. એસિડમય પરમેંગેનેટ દ્રાવણ કેવી રીતે (i) આયર્ન (II) આયનો (ii)  $\text{SO}_2$  અને (iii) ઓક્સિડિક એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ? આ પ્રક્રિયાઓ માટે આયનીય સમીકરણો લખો.

8.17  $\text{M}^{2+}/\text{M}$  અને  $\text{M}^{3+}/\text{M}^{2+}$  પ્રણાલીઓ માટે કેટલીક ધાતુઓના  $E^\ominus$  મૂલ્યો નીચે દર્શાવેલા છે.

$\text{Cr}^{2+}/\text{Cr}$	-0.9V	$\text{Cr}^3/\text{Cr}^{2+}$	-0.4V
$\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}$	-1.2V	$\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{2+}$	+1.5V
$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$	-0.4V	$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	+0.8V

આ મૂલ્યોનો ઉપયોગ કરી નીચે દર્શાવેલાની આલોચના કરો :

- (i) એસિડિક દ્રાવણમાં  $\text{Cr}^{3+}$  અથવા  $\text{Mn}^{3+}$ ની સરખાણીમાં  $\text{Fe}^{3+}$ ની સ્થાયીતા અને  
(ii) સમાન પ્રક્રમ માટે ક્રોમિયમ અથવા મેંગેનીઝ ધાતુઓની સરખાણીમાં આયર્નના ઓક્સિડેશનમાં સરળતા.

8.18 અનુમાન કરો કે નીચેના પૈકી કયા આયન જલીય દ્રાવણમાં રંગ આપશે ?

$\text{Ti}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Sc}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  અને  $\text{Co}^{2+}$ . દરેક માટે કારણ આપો.

8.19 પ્રથમ સંક્રાંતિ શ્રેણીનાં તત્ત્વો માટે +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતાની સરખાણી કરો.

8.20 એક્ટિનોઇડ્સના રસાયણવિજ્ઞાનની લેન્થેનોઇડ્સના રસાયણવિજ્ઞાન સાથે નીચે દર્શાવેલા વિશિષ્ટ સંદર્ભ માટે સરખાણી કરો :

- (i) ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (iii) ઓક્સિડેશન અવસ્થા  
(ii) પરમાણ્વીય અને આયનીય કદ (iv) રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા

8.21 નીચે દર્શાવેલા વિધાનોને કેવી રીતે સ્પષ્ટ કરશો ?

- (i)  $d^4$  સ્પિસીઝના  $\text{Cr}^{2+}$  પ્રબળ રિડકશનકર્તા છે જ્યારે મેંગેનીઝ(III) પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે.  
(ii) કોબાલ્ટ(II) જલીય દ્રાવણમાં સ્થાયી છે પરંતુ સંકીર્ણકર્તા પ્રક્રિયકોની હાજરીમાં તે સહેલાઈથી ઓક્સિડેશન પામે છે.  
(iii) આયનોમાં  $d^1$  ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અત્યંત અસ્થાયી છે.

8.22 'વિષમીકરણ'નો અર્થ શું થાય ? જલીય દ્રાવણમાં વિષમીકરણ પ્રક્રિયા માટેના બે ઉદાહરણો જણાવો.

8.23 સંક્રાંતિ ધાતુઓની પ્રથમ શ્રેણીની કઈ ધાતુ સૌથી વધુ વખત +1 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે ?

8.24 નીચે દર્શાવેલા વાયુમય આયનોમાં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનોની સંખ્યા ગણો :  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$  અને  $\text{Ti}^{3+}$ . આ પૈકીનું કયું ધનાયન જલીયદ્રાવણમાં સૌથી વધુ સ્થાયી છે ?

8.25 સંક્રાંતિય રસાયણવિજ્ઞાનના નીચે દર્શાવેલા લક્ષણો માટે ઉદાહરણો આપો અને કારણો જણાવો :

- (i) સંક્રાંતિ ધાતુના સૌથી નીચેનો ઓક્સાઇડ બેઝિક છે, જ્યારે સૌથી ઊંચો ઓક્સાઇડ ઊભયધર્મી / એસિડિક છે.  
(ii) સંક્રાંતિ ધાતુ ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થા ઓક્સાઇડ સંયોજનો અને ફ્લોરાઇડ સંયોજનોમાં દર્શાવે છે.  
(iii) ધાતુના ઓક્સોએનાયનો સૌથી ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.

8.26 નીચે દર્શાવેલી બનાવટમાંના તબક્કાઓ સૂચવો :

- (i) કોમાઈટ અયસ્કમાંથી  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (ii) પાયરોલ્યુસાઈટ અયસ્કમાંથી  $\text{KMnO}_4$

8.27 મિશ્રધાતુઓ એટલે શું ? અગત્યની મિશ્રધાતુ કે જે થોડી લેન્થેનોઇડ ધાતુઓ ધરાવે છે તેનું નામ આપો. તેના ઉપયોગો જણાવો.

8.28 આંતરસંક્રાંતિ તત્ત્વો એટલે શું ? નક્કી કરો કે નીચે દર્શાવેલામાંથી કયા પરમાણ્વીય ક્રમાંકો આંતરસંક્રાંતિ તત્ત્વોના છે : 29, 59, 74, 95, 102, 104

8.29 એક્ટિનોઇડ તત્ત્વોનું રસાયણવિજ્ઞાન, લેન્થેનોઇડ તત્ત્વોના રસાયણવિજ્ઞાન જેટલું સરળ હોતું નથી. આ તત્ત્વોની ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓના આધારે કેટલાક ઉદાહરણો દ્વારા આ વિધાનનું વાજબીપણું ચર્ચો.

8.30 એક્ટિનોઇડ્સ શ્રેણીમાં અંતિમ તત્ત્વ કયું છે ? આ તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના લખો. આ તત્ત્વની શક્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થા પર આલોચના કરો.

- 8.31 હુંડના નિયમનો ઉપયોગ કરી  $Ce^{3+}$  આયનની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના તારવો અને તેની ચુંબકીય ચાકમાત્રા 'બ્રમણ-માત્ર' સૂત્રના આધારે ગણો.
- 8.32 લેન્થેનોઇડ શ્રેણીના એવા સભ્યોનાં નામ આપો કે જે +4 અને જે +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. આ તત્ત્વોની આ પ્રકારની વર્તણૂકને તેમની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના સાથે સહસંબંધિત કરવાનો પ્રયત્ન કરો.
- 8.33 નીચે દર્શાવેલી બાબતોના સંદર્ભમાં એક્ટિનોઇડ્સના રસાયણવિજ્ઞાનની સરખામણી લેન્થેનોઇડ્સના રસાયણવિજ્ઞાન સાથે કરો :
- (i) ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (ii) ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ અને (iii) રાસાયણિક પ્રતિક્રિયાત્મકતા
- 8.34 પરમાણ્વીય ક્રમાંક 61, 91, 101 અને 109 વાળા તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના લખો.
- 8.35 સંક્રાંતિ તત્ત્વોની પ્રથમ શ્રેણીની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓની દ્વિતીય અને તૃતીય શ્રેણીની ધાતુઓ સાથે અનુવર્તી ઊભા સ્તંભોમાં સરખામણી કરો. નીચે દર્શાવેલા મુદ્દાને વિશેષ મહત્ત્વ આપો :
- (i) ઇલેક્ટ્રોનીય રચના (ii) ઓક્સિડેશન અવસ્થાઓ (iii) આયનીકરણ એન્ટાલ્પી અને (iv) પરમાણ્વીય કદ
- 8.36 નીચે દર્શાવેલા દરેક આયનોમાં ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા લખો :
- $Ti^{2+}$ ,  $V^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  અને  $Cu^{2+}$ . આ જળયુક્ત આયનો (અષ્ટફલકીય) માટે પાંચ 3d કક્ષકો કેવી રીતે ભરાશે તે અંગે તમારી અપેક્ષા જણાવો.
- 8.37 પ્રથમસંક્રાંતિના તત્ત્વો, ભારે સંક્રાંતિ તત્ત્વો કરતાં ઘણા જુદા ગુણધર્મો ધરાવે છે. આ વિધાનની આલોચના કરો.
- 8.38 નીચે દર્શાવેલી સંકીર્ણ સ્પિસીઝો માટેના ચુંબકીય ચાકમાત્રાના મૂલ્યો પરથી શું નિષ્કર્ષ નીકળી શકે છે ?

ઉદાહરણ ચુંબકીય ચાકમાત્રા (BM)

$K_4 [Mn(CN)_6]$  2.2

$[Fe(H_2O)_6]^{2+}$  5.3

$K_2[MnCl_4]$  5.9

લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

- 8.1 સિલ્વર ( $Z = 47$ ) +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવી શકે છે, જેમાં તે અપૂર્ણ ભરાયેલી d-કક્ષકો (4d) ધરાવશે. તેથી તે સંક્રાંતિ તત્ત્વ છે.
- 8.2 ઝિંકના કિસ્સામાં ધાત્વીય બંધના નિર્માણમાં 3d-કક્ષકોના ઇલેક્ટ્રોન સહભાગી થતા નથી, જ્યારે 3d શ્રેણીની અન્ય બધી ધાતુઓમાં ધાત્વીય બંધના નિર્માણમાં d-કક્ષકોના ઇલેક્ટ્રોન હંમેશાં સહભાગી થાય છે.
- 8.3 મેંગેનીઝ ( $Z = 25$ ) પરમાણુ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની મહત્તમ સંખ્યા ધરાવે છે.
- 8.5 આયનીકરણ એન્ટાલ્પીમાં અનિયમિત ફેરફારનું મુખ્ય કારણ જુદી જુદી 3d-ઇલેક્ટ્રોનીય રચનાની સ્થાયીતા અંશમાં ફેરફાર છે (દા.ત.,  $d^0$ ,  $d^5$ ,  $d^{10}$  વિશિષ્ટ રીતે સ્થાયી છે).
- 8.6 ઓક્સિજન અથવા ફ્લોરિનના નાના કદ અને ઊંચી વિદ્યુતઋણતાના કારણે તેઓ ધાતુનું તેની સૌથી ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં ઓક્સિડેશન કરી શકે છે.
- 8.7  $Cr^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  કરતાં પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે  
કારણ :  $Cr^{2+}$  થી  $Cr^{3+}$ ના કિસ્સામાં  $d^4 \rightarrow d^3$  થાય છે  
પરંતુ  $Fe^{2+}$ થી  $Fe^{3+}$  ના કિસ્સામાં  $d^6 \rightarrow d^5$  થાય છે.  
માધ્યમમાં (જેમ કે પાણી)  $d^5$  કરતા  $d^3$  વધુ સ્થાયી છે (જૂઓ CFSE)
- 8.9 જલીયદ્રાવણમાં  $Cu^+$ નું વિષમીકરણ થાય છે, એટલે કે  
 $2Cu^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + Cu(s)$   
આનું  $E^\theta$  મૂલ્ય અનુકૂળ છે.
- 8.10 5d ઇલેક્ટ્રોન કેન્દ્રિય વીજભારથી વધુ અસરકારક રીતે શીલ્ડિંગ પામેલા છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો શ્રેણીમાં એક તત્ત્વથી બીજા તત્ત્વ તરફ જતા 5d ઇલેક્ટ્રોનની શીલ્ડિંગ અસર નબળી થતી જાય છે.

## સવર્ગ સંયોજનો (Coordination Compounds)

### હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- વર્નરના સવર્ગ સંયોજનોના સિદ્ધાંતની અભિધારણાઓની કદર કરી શકશો.
- પર્યાયોના અર્થ સમજી શકશો - સવર્ગ સ્પિસીઝ, મધ્યસ્થ પરમાણુ / આયન, લિગેન્ડ, સવર્ગ આંક, સવર્ગ પ્રભાવક્ષેત્ર (sphere), સવર્ગ પોલિહેદ્રોન, ઓક્સિડેશન આંક, હોમોલેપ્ટિક (homoleptic) અને હિટરોલેપ્ટિક (heteroleptic)
- સવર્ગ સંયોજનોના નામકરણના નિયમો શીખી શકશો.
- એકકેન્દ્રિય સવર્ગ સંયોજનોનાં નામ અને સૂત્રો લખી શકશો.
- સવર્ગ સંયોજનોમાં ભિન્ન પ્રકારની સમઘટકતાને વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંત અને સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંતના પર્યાયમાં સવર્ગ સંયોજનોમાં બંધનના પ્રકારને સમજી શકશો.
- આપણા રોજિંદા જીવનમાં સવર્ગ સંયોજનોના અનુપ્રયોગ અને અગત્યની કદર કરી શકશો.

### 9.1 સવર્ગ સંયોજનોનો વર્નરનો સિદ્ધાંત (Werner's Theory of Coordination Compounds)

**“સવર્ગ સંયોજનો આધુનિક અકાર્બનિક અને જૈવ-અકાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાન અને રાસાયણિક ઉદ્યોગોની કરોડરજજી છે.”**

આગળના એકમમાં આપણે શીખ્યા કે સંક્રાંતિ ધાતુઓ ઘણા બધા સંકીર્ણ સંયોજનો બનાવે છે જેમાં ધાતુ પરમાણુ, અનેક ઋણાયન અથવા તટસ્થ અણુઓ સાથે ઇલેક્ટ્રોનની ભાગીદારી દ્વારા જોડાયેલા હોય છે. આધુનિક પરિભાષામાં આવા સંયોજનોને સવર્ગ સંયોજનો કહે છે. સવર્ગ સંયોજનોનું રસાયણવિજ્ઞાન આધુનિક અકાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાનનું અગત્યનું અને પડકારરૂપ ક્ષેત્ર છે. જૈવિક પ્રણાલીઓના આવશ્યક ઘટકોની ક્રિયાશીલતામાં રાસાયણિક બંધન અને આણ્વીય રચનાઓની નવી સંકલ્પનાઓએ ઊંડી સમજ પૂરી પાડી છે. ક્લોરોફિલ, હીમોગ્લોબીન અને વિટામિન B<sub>12</sub> અનુક્રમે મેંગ્નેશિયમ, આયર્ન અને કોબાલ્ટના સવર્ગ સંયોજનો છે. ઘણા બધા ધાતુકર્મવિધિના પ્રક્રમો, ઔદ્યોગિક ઉદ્દીપન અને વૈશ્લેષિક પ્રક્રિયકો સવર્ગ સંયોજનોનો સમાવેશ કરે છે. સવર્ગ સંયોજનો વિદ્યુત ઢોળ યદાવવામાં, વસ્ત્ર (કાપડ) રંગકામમાં અને ઔષધીય રસાયણવિજ્ઞાનમાં ઘણા અનુપ્રયોગો ધરાવે છે.

સ્વીસ રસાયણશાસ્ત્રી આલ્ફ્રેડ વર્નર (Alfred Werner) (1866-1919) સૌ પ્રથમ હતા, જેમણે સવર્ગ સંયોજનોના બંધારણ વિશે તેમના વિચારોને સૂત્રિત કર્યા હતા. તેમણે ઘણા બધા સવર્ગ સંયોજનો બનાવ્યા અને તેમણે તેમની ભૌતિક અને રાસાયણિક વર્તણૂકનો સરળ પ્રાયોગિક પદ્ધતિથી (તકનીકી) અભ્યાસ કરેલો. વર્નરે ધાતુ આયનની પ્રાથમિક સંયોજકતા અને દ્વિતીયક સંયોજકતા વિશેની સંકલ્પના રજૂ કરી. દ્વિઅંગી સંયોજનો જેવાં કે CrCl<sub>3</sub>, CoCl<sub>2</sub> અથવા PdCl<sub>2</sub> ની પ્રાથમિક સંયોજકતા અનુક્રમે 3, 2 અને 2 છે. કોબાલ્ટ (III) ક્લોરાઇડના એમોનિયા સાથેના કમબદ્ધ સંયોજનોમાં એમ જણાયું કે કેટલાક ક્લોરાઇડ આયન સિલ્વર નાઇટ્રેટના ઠંડા દ્રાવણને વધુ પ્રમાણમાં ઉમેરતાં AgCl તરીકે અવક્ષેપિત થઈ શક્યા, પરંતુ કેટલાક દ્રાવણમાં રહી ગયા.

1 mol $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$ (પીળો)	આપ્યા; 3 mol $\text{AgCl}$
1 mol $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$ (જાંબુડિયો)	આપ્યા; 2 mol $\text{AgCl}$
1 mol $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ (લીલો)	આપ્યા; 1 mol $\text{AgCl}$
1 mol $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ (જાંબલી)	આપ્યા; 1 mol $\text{AgCl}$

આ અવલોકનો અને તેમના દ્રાવણમાં વાહકતામાપનના અભ્યાસ પરથી સમજાવી શકાય કે (i) પ્રક્રિયા દરમિયાન ક્લોરાઈડ આયન અથવા એમોનિયા અણુ અથવા બંને કોબાલ્ટ આયન સાથે છની સંખ્યામાં જોડાયેલા છે અને (ii) સંયોજનોને કોષ્ટક 9.1માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સૂત્રિત કરી શકાય જેમાં પરમાણુઓ જે ચોરસ કૌંસમાં દર્શાવેલા છે તે એક જ સ્પિસીઝ રચે છે જે પ્રક્રિયાની પરિસ્થિતિમાં વિયોજિત થતાં નથી. વર્નરે ધાતુ આયન સાથે સીધા જ જોડાયેલા સમૂહની સંખ્યાને માટે દ્વિતીયક સંયોજકતા પર્યાય સૂચવ્યો અને આ બધા ઉદાહરણોમાં દ્વિતીયક સંયોજકતા છે.

કોષ્ટક 9.1 : કોબાલ્ટ(III) ક્લોરાઈડ - એમોનિયા સંકીર્ણોનું સૂત્રીકરણ

રંગ	સૂત્ર	દ્રાવણની વાહકતા અનુરૂપ
પીળો	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} 3\text{Cl}^-$	1 : 3 વિદ્યુતવિભાજ્ય
જાંબુડિયો	$[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+} 2\text{Cl}^-$	1 : 2 વિદ્યુતવિભાજ્ય
લીલો	$[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]^+ \text{Cl}^-$	1 : 1 વિદ્યુતવિભાજ્ય
જાંબલી	$[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]^+ \text{Cl}^-$	1 : 1 વિદ્યુતવિભાજ્ય

એ નોંધો કે કોષ્ટક 9.1માં છેલ્લા બે સંયોજનાને સરખા પ્રામણસૂચક સૂત્રો છે,  $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$  પરંતુ ગુણધર્મોમાં ભેદ (તફાવત) છે. આવા સંયોજનોને માટે સમઘટકો પર્યાય સૂચવાયો. 1898માં વર્નરે તેમના સર્વગ સંયોજનોનો સિદ્ધાંત પ્રતિપાદિત કર્યો. આ સિદ્ધાંતની અભિધારણાઓ :

1. સર્વગ સંયોજનોમાં ધાતુઓ બે પ્રકારના બંધન (સંયોજકતા) દર્શાવે છે - પ્રાથમિક અને દ્વિતીયક.
2. પ્રાથમિક સંયોજકતા સામાન્ય રીતે આયનીયકરણ પામે તેવી હોય છે અને ઋણ આયનો વડે સંતોષાય છે.
3. દ્વિતીય સંયોજકતા બિનઆયનીકરણ હોય છે. આ સંયોજકતા તટસ્થ અણુઓ અથવા ઋણાયન વડે સંતોષાય છે. દ્વિતીયક સંયોજકતા સર્વગ આંક જેટલી જ હોય છે અને તે ધાતુ માટે નિશ્ચિત હોય છે.
4. આયન/સમૂહ જે ધાતુ સાથે દ્વિતીયક બંધનથી જોડાયેલ છે તે તેમની જુદી જુદી સર્વગ આંકને અનુરૂપ લાક્ષણિક અવકાશીય (spatial) ગોઠવણી (રચના) ધરાવે છે.

આધુનિક સૂત્રીકરણમાં આવી અવકાશીય ગોઠવણોને સર્વગ પોલિહેડ્રા (બહુતલીય) કહે છે. ચોરસ કૌંસમાંની સ્પિસીઝ સર્વગ સ્પિસીઝ અથવા સંકીર્ણ છે અને ચોરસ કૌંસની બહારના આયનોને પ્રતિઆયન (counter ion) કહેવામાં આવે છે.

તેમણે આગળ ઉપર પ્રતિપાદિત કર્યું કે સંકાંતિ ધાતુઓના સર્વગ સંયોજનોમાં અષ્ટફલકીય, ચતુષ્ફલકીય અને સમચોરસ ભૌમિતિક આકારો વધારે સામાન્ય છે. આમ,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ,  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  અને  $[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]^+$  અષ્ટફલકીય સ્પિસીઝ છે જ્યારે  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$  અને  $[\text{PtCl}_4]^{2-}$  અનુક્રમે સમચતુષ્ફલકીય અને સમચોરસ છે.

### કોયડો 9.1

જલીય દ્રાવણોના કરેલા નીચેના અવલોકનોના આધારે નીચેના સંયોજનોમાં ધાતુની દ્વિતીયક સંયોજકતા સૂચવો.

સૂત્ર	વધુ પ્રમાણમાં $\text{AgNO}_3$ સાથે એક mol સંયોજનો સાથે અવક્ષેપન પામતાં $\text{AgCl}$ ના mol
(i) $\text{PdCl}_2 \cdot 4\text{NH}_3$	2
(ii) $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2
(iii) $\text{PtCl}_4 \cdot 2\text{HCl}$	0
(iv) $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$	1
(v) $\text{PtCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$	0

ઉકેલ :

(i) દ્વિતીયક 4    (ii) દ્વિતીયક 6    (iii) દ્વિતીયક 6    (iv) દ્વિતીયક 6    (v) દ્વિતીયક 4

### દ્વિક્ષાર અને સંકીર્ણ વચ્ચે તફાવત

દ્વિક્ષાર તથા સંકીર્ણ બંને સંયોજનો બે અથવા વધારે સ્થાયી સંયોજનોના તત્ત્વયોગમિતીય ગુણોત્તરમાં સંયોગીકરણથી રચાય છે. તેમ છતાં પણ તેઓ હકીકતમાં અલગ પડે છે, કાર્નેલાઈટ  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  જેવા દ્વિક્ષાર, મોહરનો (Mohr) ક્ષાર  $\text{FeSO}_4 (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , પોટાશ એલમ,  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  વગેરેને પાણીમાં ઓગાળવામાં આવે તો સંપૂર્ણપણે સાદા આયનોમાં વિયોજિત થાય છે. જ્યારે, સંકીર્ણ આયનો જેવા કે  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  નો  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  આયન  $\text{Fe}^{2+}$  અને  $\text{CN}^-$  આયનમાં વિયોજિત થતો નથી.



(1866-1919)

આલ્સેક(Alsace)ના ફ્રેંચ પ્રાંતમાં એક નાના સમુદાયમાં મૂલહાઉસમાં(Mulhouse) 12 ડિસેમ્બર 1866ના રોજ વર્નરનો જન્મ થયો હતો. તેમનો રસાયણવિજ્ઞાનનો અભ્યાસ કાર્લ્સ્રુહિ (Karlsruhe) (જર્મની) (Germany)માં શરૂ થયો અને ઝુરિચ (Zurich), સ્વિત્ઝરલેન્ડ(Switzerland)માં ચાલુ રહ્યો જ્યાં

તેમણે 1890માં તેમના વિદ્યાવાચસ્પતીકીય નિબંધ(doctoral thesis)માં સમઘટકતાના આધારે નાઈટ્રોજન ધરાવતા કાર્બનિક સંયોજનોના તફાવત વિશે સમજાવ્યું હતું. વર્નરે ભૌતિક માપનના આધારે સંકીર્ણ સંયોજનો વચ્ચેના પ્રકાશીય અને વિદ્યુતીય તફાવતો દર્શાવ્યા હતા. કેટલાક સવર્ગ સંયોજનોમાં પ્રકાશીય ક્રિયાશીલતાની શોધ કરનાર તેઓ પ્રથમ હતા.

તેમણે 29 વર્ષની ઉંમરે 1895માં ઝુરિચમાંની ટેકનિસ્ક હોકશ્યૂલ (Technische Hochschule) સંસ્થામાં પૂર્ણ સમયના (fulltime) પ્રાધ્યાપક બન્યા. આલ્ફ્રેડ વર્નર રસાયણશાસ્ત્રી અને શિક્ષણશાસ્ત્રી હતાં. તેમની સિદ્ધિ સવર્ગ સંયોજનોના સિદ્ધાંતના વિકાસમાં સમાવિષ્ટ થાય છે. આ સિદ્ધાંત જેમાં વર્નરે પરમાણુઓ અને અણુઓ કેવી રીતે જોડાય છે, તે વિશેનો ક્રાંતિકારી વિચારો રજૂ કર્યા અને માત્ર 1890થી 1893ના ત્રણ વર્ષના ગાળામાં જ સૂત્રિત કર્યા. તેમની કારકિર્દીનું શેષ જીવન તેમના નવા વિચારોને માન્ય (validate) ઠેરવવા માટે જરૂરી પ્રાયોગિક સમર્થન એકઠા કરવામાં વીતાવ્યું. વર્નર સવર્ગ સિદ્ધાંત અને પરમાણુઓના બંધન વિશેના કાર્ય માટે 1913માં નોબેલ પારિતોષિક મેળવનાર પ્રથમ સ્વિસ રસાયણશાસ્ત્રી હતા.

9.2 સવર્ગ સંયોજનોને લગતા કેટલાક અગત્યના પર્યાયોની વ્યાખ્યાઓ (Definitions of Some Important Terms Pertaining to Coordination Compounds)

(a) સવર્ગ સ્પિસીઝ

સવર્ગ સ્પિસીઝ મધ્યસ્થ ધાતુ પરમાણુ અથવા આયન જે નિશ્ચિત સંખ્યાના આયનો અથવા અણુઓ સાથે બંધિત હોય છે તે ધરાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $[\text{CoCl}_3(\text{NH}_3)_3]$  જે સવર્ગ સ્પિસીઝ છે જેમાં કોબાલ્ટ આયન ત્રણ એમોનિયા અણુ અને ત્રણ ક્લોરાઇડ આયનોથી ઘેરાયેલા (surrounded) છે. અન્ય ઉદાહરણો  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ ,  $[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  છે.

(b) મધ્યસ્થ પરમાણુ / આયન

સવર્ગ સ્પિસીઝમાં આવેલા પરમાણુ / આયન કે જેની આસપાસ નિશ્ચિત સંખ્યામાં આયન / સમૂહ ચોક્કસ ભૌમિતિય ગોઠવણમાં બંધિત હોય છે તે પરમાણુ/આયનને મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયન કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $[\text{NiCl}_2(\text{H}_2\text{O})_4]$ ,  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  અને  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  સવર્ગ સ્પિસીઝમાં મધ્યસ્થ આયન અનુક્રમે  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$  અને  $\text{Fe}^{3+}$  છે. આવા મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયનને લુઈસ (Lewis) એસિડ તરીકે પણ ઓળખી શકાય છે.

(c) લિગેન્ડ

સવર્ગ સ્પિસીઝમાં મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયન સાથે બંધિત આયન અથવા અણુને લિગેન્ડ કહે છે. આ સાદા આયન જેવાં કે  $\text{Cl}^-$ , નાના અણુઓ જેવાં કે  $\text{H}_2\text{O}$  અથવા  $\text{NH}_3$ , મોટા અણુઓ જેવાં કે  $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$  અથવા  $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_3$  અથવા બૃહદ્ અણુઓ જેવાં કે પ્રોટીન પણ હોઈ શકે છે.

જ્યારે લિગેન્ડ ધાતુ આયન સાથે એકાકી દાતા પરમાણુ દ્વારા બંધિત થાય છે, તેવા લિગેન્ડને એકદંતી (unidentate) લિગેન્ડ કહે છે. જેવાં કે  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  અથવા  $\text{NH}_3$ .

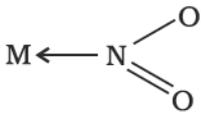
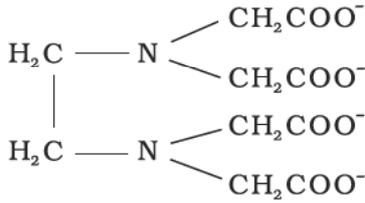
જ્યારે લિગેન્ડ બે દાતા પરમાણુઓ દ્વારા બંધિત થાય જેમ કે  $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ . (ઈથેન-1-2-ડાયએમાઈન) અથવા  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  (ઓક્સેલેટ), તો લિગેન્ડને દ્વિદંતીય લિગેન્ડ કહે છે અને જ્યારે અનેક દાતા પરમાણુઓ એક જ લિગેન્ડમાં હાજર હોય જેમકે  $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_3$  તો લિગેન્ડને બહુદંતીય લિગેન્ડ કહે છે. ઈથીલીન-ડાયએમાઈનટેટ્રાએસિડેટ આયન  $[\text{EDTA}]^{4-}$  અગત્યનો ષટ્દંતીય લિગેન્ડ છે. તે બે નાઈટ્રોજન પરમાણુ અને ચાર ઓક્સિજન પરમાણુ દ્વારા મધ્યસ્થ પરમાણુ સાથે બંધિત થાય છે.

જ્યારે દ્વિ અથવા બહુદંતીય લિગેન્ડ તેના બે અથવા વધારે દાતા પરમાણુને એકસાથે એકાકી ધાતુ આયનને બંધિત થવા ઉપયોગ કરે છે ત્યાર તેને કિલેટ (Chelate) લિગેન્ડ કહે છે આવા લિગેટીંગ સમૂહો (ligating groups)ની સંખ્યાને લિગેન્ડની દંતીયતા (denticity) કહે છે. આવા સંકીર્ણો કિલેટ સંકીર્ણો કહેવાય છે અને તે સમાન પ્રકારના એકદંતી લિગેન્ડ ધરાવતા સમાન પ્રકારના સંકીર્ણો કરતાં વધારે સ્થાયી હોવાનું વલણ ધરાવે

છે (કારણ માટે વિભાગ 9.8 જુઓ). લિગેન્ડ કે જે બે જુદા-જુદા દાતા પરમાણુઓ ધરાવે છે તથા તે પૈકીના કોઈ એક દાતા પરમાણુ વડે સંકીર્ણમાં લિગેન્ડ જોડાય છે તેને ઉભયદંતી (ambidentate) લિગેન્ડ કહે છે. આવા લિગેન્ડના ઉદાહરણોમાં  $\text{NO}_2^-$  અને  $\text{SCN}^-$  આયનો છે.  $\text{NO}_2^-$  આયન મધ્યસ્થ ધાતુ આયન સાથે નાઈટ્રોજન અથવા ઓક્સિજન દ્વારા સવર્ગ સંયોજન બનાવી શકે છે. એ જ પ્રમાણે  $\text{SCN}^-$  આયન પણ સલ્ફર અથવા નાઈટ્રોજન મારફતે સવર્ગ સંયોજન બનાવી શકે છે.

(d) સવર્ગ આંક

સંકીર્ણમાં ધાતુ આયનના સવર્ગ આંકને (CN) આ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય કે લિગેન્ડના દાતા પરમાણુની સંખ્યા જેની સાથે ધાતુ સીધે સીધી જ બંધિત થયેલી હોય છે, તેને સવર્ગ આંક કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે  $[\text{PtCl}_6]^{2-}$  અને  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  સંકીર્ણ આયનોમાં Pt અને Niના સવર્ગ આંક અનુક્રમે 6 અને 4 છે. એ જ પ્રમાણે  $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$  અને  $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$  સંકીર્ણ આયનોમાં બંને Fe અને Coના સવર્ગ આંક 6 છે કારણ કે  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  અને en (ઈથેન-1,2-ડાયએમાઈન) દ્વિદંતીય લિગેન્ડ છે.



નાઈટ્રાઈટો - N

M ← SCN

થાયોસાયનેટો-S



નાઈટ્રાઈટો - O

M ← NCS

થાયોસાયનેટો-N

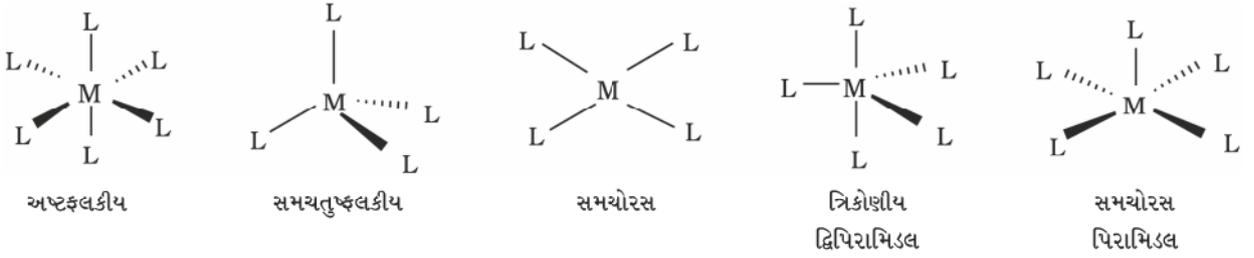
અહીં એ નોંધવું અગત્યનું છે કે મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયનનો સવર્ગ આંક મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયન સાથે લિગેન્ડ દ્વારા રચાતા સિગ્મા બંધની સંખ્યા માત્રથી જ નક્કી કરવામાં આવે છે. જો પાઈ બંધ લિગેન્ડ અને મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયન સાથે રચાય તો તેમને આ હેતુ માટે ગણવામાં આવતાં નથી.

(e) સવર્ગ પ્રભાવક્ષેત્ર (sphere)

મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયન અને તેની સાથે જોડાયેલા લિગેન્ડને ચોરસ કૌંસમાં સમાવાયા છે અને તેને સામૂહિક રીતે સવર્ગ પ્રભાવક્ષેત્ર નામ આપવામાં આવેલ છે. આયનીકરણ પામતાં સમૂહ કૌંસની બહાર લખાય છે અને તેને પ્રતિ આયન (counter ion) કહેવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે  $K_4[Fe(CN)_6]$  સંકીર્ણમાં સવર્ગ પ્રભાવક્ષેત્ર  $[Fe(CN)_6]^{4-}$  છે અને પ્રતિ આયન  $K^+$  છે.

(f) સવર્ગ બહુફલક (polyhedron)

મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયન સાથે સીધા જ જોડાયેલા છે તે લિગેન્ડ પરમાણુઓની અવકાશીય ગોઠવણી મધ્યસ્થ આયનને સવર્ગ બહુફલક તરીકે વ્યાખ્યાયિત કરે છે. ખૂબ જ સામાન્ય સવર્ગ બહુફલકમાં અષ્ટફલકીય, સમચોરસ અને સમચતુષ્ફલકીય છે. ઉદાહરણ તરીકે  $[Co(NH_3)_6]^{3+}$  અષ્ટફલકીય છે,  $[Ni(CO)_4]$  સમચતુષ્ફલકીય છે અને  $[PtCl_4]^{2-}$  સમચોરસ છે. આકૃતિ 9.1 જુદા જુદા સવર્ગ ફલકના આકાર દર્શાવે છે.



આકૃતિ 9.1 : જુદા જુદા સવર્ગ બહુફલકના આકાર. M મધ્યસ્થ ધાતુ પરમાણુ/આયન અને L એકદંતીય લિગેન્ડને દર્શાવે છે.

(g) મધ્યસ્થ પરમાણુનો ઓક્સિડેશન આંક :

સંકીર્ણમાં મધ્યસ્થ પરમાણુનો ઓક્સિડેશન આંક એ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય કે તે મધ્યસ્થ પરમાણુ સાથે ભાગીદાર થયેલ ઈલેક્ટ્રોનયુગ્મ સાથે બધા જ લિગેન્ડ દૂર કર્યા પછી ધરાવતો વીજભાર છે. આ ઓક્સિડેશન આંકને સંકીર્ણ સ્પિસીઝના નામની પછી કૌંસમાં રોમન (Roman) આંકમાં રજૂ કરવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $[Cu(CN)_4]^{3-}$  માં કોપરનો ઓક્સિડેશન આંક +1 છે અને તેને Cu(I) તરીકે લખવામાં આવે છે.

(h) હોમોલેપ્ટિક (homoleptic) અને હિટરોલેપ્ટિક (heteroleptic) સંકીર્ણ

સંકીર્ણ જેમાં ધાતુ એક જ પ્રકારના દાતા સમૂહ સાથે બંધિત હોય છે. દા.ત.,  $[Co(NH_3)_6]^{3+}$  હોમોલેપ્ટિક સંકીર્ણ તરીકે ઓળખાય છે. સંકીર્ણ જેમાં ધાતુ એક પ્રકાર કરતાં વધારે પ્રકારના દાતા સમૂહ સાથે બંધિત હોય છે. દા.ત.,  $[Co(NH_3)_4Cl_2]^{3+}$  હિટરોલેપ્ટિક સંકીર્ણ તરીકે ઓળખાય છે.

9.3 સવર્ગ સંયોજનોનું નામકરણ (Nomenclature of Coordination Compounds)

સવર્ગ રસાયણવિજ્ઞાનમાં નામકરણ અગત્યનું છે કારણ કે જ્યારે સમઘટકો સાથે અભ્યાસ કરતાં (dealing) હોઈએ ત્યારે ખાસ કરીને પદ્ધતિસર નામ અને તેમના સૂત્રોનું વર્ણન કરવા માટે બિનવિવાદાસ્પદ પદ્ધતિની જરૂર હોય છે. સવર્ગ સ્પિસીઝ માટે સ્વીકારાયેલા નામો અને સૂત્રો International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)ની ભલામણો પર આધારિત છે.

**9.3.1 એકકેન્દ્રીય સવર્ગ સ્પિસીઝના સૂત્ર (Formulas of Mononuclear Coordination Entities)**

સંયોજનનું સૂત્ર ટૂંકાક્ષરી સાધન છે કે જે સંયોજનના સંઘટકો વિશેની પાયાની માહિતી સંક્ષિપ્ત અને સાનુકૂળ રીતે રજૂ કરવા ઉપયોગી છે. એકકેન્દ્રીય સવર્ગ સ્પિસીઝ એક જ એકાકી મધ્યસ્થ પરમાણુ ધરાવે છે. નીચેના નિયમો સૂત્રો લખવા માટે લાગુ પાડવામાં આવે છે.

- મધ્યસ્થ પરમાણુ પ્રથમ લખાય છે.
- ત્યારપછી લિગેન્ડને મૂળાક્ષરના ક્રમમાં લખવામાં આવે છે. યાદીમાં લિગેન્ડનું સ્થાન તેના વીજભાર પર આધાર રાખતું નથી.
- બહુદંતીય લિગેન્ડને પણ મૂળાક્ષર પ્રમાણે લખવામાં આવે છે. સંક્ષિપ્તમાં દર્શાવેલ લિગેન્ડની બાબતમાં સંક્ષિપ્ત કરેલા શબ્દનો પ્રથમ અક્ષરનો ઉપયોગ મૂળાક્ષરના ક્રમમાં સ્થાન દર્શાવવા માટે કરવામાં આવે છે.
- સંપૂર્ણ સવર્ગ સ્પિસીઝના સૂત્ર માટે વીજભાર હોય કે નહિ તોપણ ચોરસ કૌંસમાં સમાવેશ કરવામાં આવે છે. જ્યારે લિગેન્ડ બહુપરમાણ્વીય હોય ત્યારે તેનું સૂત્ર કૌંસની અંદર દર્શાવાય છે. લિગેન્ડના સંક્ષિપ્ત નામો પણ કૌંસમાં સમાવવામાં આવે છે.
- સવર્ગ પ્રભાવક્ષેત્રમાં લિગેન્ડ અને ધાતુ વચ્ચે જગ્યા ન હોવી જોઈએ.
- જ્યારે વીજભાર ધરાવતા સવર્ગ સ્પિસીઝ (entity)નું સૂત્ર લખવાનું હોય ત્યારે પ્રતિઆયનના વીજભાર સિવાય લખાય છે. વીજભારને ચોરસ કૌંસની બહાર સંજ્ઞા સાથે જમણી બાજુ મૂર્ધક (superscript) તરીકે દર્શાવાય છે. ઉદાહરણ તરીકે  $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ ,  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  વગેરે.

**નોંધ :** 2004 IUPAC ડ્રાફ્ટ ભલામણ કરે છે કે લિગેન્ડને વીજભારને ધ્યાનમાં લીધા સિવાય મૂળાક્ષર પ્રમાણે અલગ કરવામાં આવશે.

**9.3.2 એકકેન્દ્રીય સવર્ગ સંયોજનોના નામ આપવા (Naming of Mononuclear Coordination Compounds)**

ધનાયનના વીજભાર ઋણાયનના વીજભાર વડે સમતોલિત કરાય છે. સવર્ગ સંયોજનનાં નામ નીચેના યોગશીલ નામકારણના સિદ્ધાંતોને અનુસરીને આપવામાં આવે છે. આમ, સમૂહો જે મધ્યસ્થ પરમાણુની આસપાસ હોય છે તેમને નામથી ઓળખવા તેમને પૂર્વગ તરીકે મધ્યસ્થ પરમાણુ સાથે યોગ્ય ગુણકના નામથી દર્શાવવા.

સવર્ગ સંયોજનનાં નામ આપતી વખતે નીચેના નિયમોનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે :

- ધનભાર અને ઋણભાર ધરાવતા બંને સવર્ગ સ્પિસીઝમાં ધનાયનને પ્રથમ નામ આપવામાં આવે છે.
- લિગેન્ડને મધ્યસ્થ પરમાણુ/આયનના નામ પહેલાં તેમના મૂળાક્ષરના ક્રમ પ્રમાણે નામાંકિત કરવામાં આવે છે. (આ પદ્ધતિ સૂત્ર લખવાથી પ્રતીપ (reversed) છે.)
- ઋણાયન લિગેન્ડના નામને અંતે 'ઓ' પ્રત્યય લગાડાય છે, તટસ્થ અને ધનાયન લિગેન્ડના નામ તેના તે જ રહે છે, અપવાદ તરીકે એકવા-H<sub>2</sub>O માટે, અમ્માઈન-NH<sub>3</sub> માટે, કાર્બોનિલ-CO માટે અને નાઈટ્રોસિલ-NO માટે. આમને ( ) ચિહ્નમાં સમાવવામાં આવે છે.
- પૂર્વગ મોનો, ડાય, ટ્રાય વગેરે સવર્ગ સ્પિસીઝમાં વ્યક્તિગત લિગેન્ડની સંખ્યા દર્શાવવા માટે વપરાય છે જ્યારે લિગેન્ડ નામ સાંખ્યીય પૂર્વગ ધરાવે છે ત્યારે બિસ, ટ્રિસ, ટેટ્રાકિસ પર્યાયો વપરાય છે. જે કૌંસમાં દર્શાવેલા લિગેન્ડને દર્શાવે છે. ઉદાહરણ તરીકે  $[\text{NiCl}_2(\text{PPh}_3)_2]$ નું નામાંકન ડાયક્લોરો બિસ (ટ્રાયફિનાઈલ ફોસ્ફીન) નિકલ (II) તરીકે કરવામાં આવે છે.
- ધનાયન, ઋણાયન અથવા તટસ્થ સવર્ગ સ્પિસીઝમાં ધાતુનો ઓક્સિડેશન આંક કૌંસમાં રોમન અંકોમાં લખવામાં આવે છે.
- જો સંકીર્ણ આયન ધનાયન હોય તો, ધાતુને તત્ત્વ તરીકે જ નામાંકિત કરવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે, સંકીર્ણ ધનાયનના Coને કોબાલ્ટ તરીકે અને Ptને પ્લેટિનમ તરીકે દર્શાવવામાં આવે છે. જો સંકીર્ણ આયન ઋણાયન હોય તો ધાતુના નામને અંતે 'એટ' પ્રત્યય લખવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે સંકીર્ણ ઋણાયન  $[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2-}$ માં Coને કોબાલ્ટેટ કહેવાય છે. કેટલીક ધાતુઓ માટે સંકીર્ણ ઋણાયનમાં લેટિન નામ પણ વપરાય છે. દા.ત. Fe માટે ફેરેટ.

**નોંધ :** 2004 IUPAC ડ્રાફ્ટ ભલામણ કરે છે કે ઋણાયન લિગેન્ડ આઈડો વડે અંતમાં લખાશે જેથી ક્લોરો, ક્લોરાઈડો વગેરે બનશે.

(vii) તટસ્થ સંકીર્ણ અણુને ધનાયન સંકીર્ણની જેમ જ નામાંકિત કરવામાં આવે છે. નીચેના ઉદાહરણો સવર્ગ સંયોજનોનું નામકરણ સમજાવે છે.

1.  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl}_3$  નું નામાંકન થાય છે : ટ્રાયઅમ્માઈન ટ્રાયએકવાકોમિયમ(III) ક્લોરાઈડ.

સમજણ : સંકીર્ણ આયન ચોરસ કૌંસમાં છે જે ધનાયન મૂળાક્ષરના ક્રમ પ્રમાણે નામાંકિત કરવામાં એકવા લિગેન્ડના પહેલા અમ્માઈન લિગેન્ડને નામાંકિત કરવામાં આવેલ છે. સંયોજનમાં ત્રણ ક્લોરાઈડ આયન છે તેથી સંકીર્ણનો વીજભાર +3 થશે (કારણ કે સંયોજન વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ છે). સંકીર્ણ આયન પરના વીજભાર તથા લિગેન્ડ પરના વીજભાર ઉપરથી આપણે ધાતુનો ઓક્સિડેશન આંક ગણી શકીએ. આ ઉદાહરણમાં, બધા જ લિગેન્ડ તટસ્થ અણુ છે. આથી કોમિયમનો ઓક્સિડેશન આંક સંકીર્ણ આયન પરના વીજભાર જેટલો જ એટલે કે +3 થશે.

2.  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_3]_2(\text{SO}_4)_3$  નું નામાંકન છે ટ્રિસ(ઈથેન-1,2 ડાયએમાઈન)કોબાલ્ટ(III)સલ્ફેટ.

સમજણ : આ અણુમાં સલ્ફેટ પ્રતિઆયન છે. તે બે સંકીર્ણ ધનાયન સાથે 3 સલ્ફેટ બંધન પામે છે. તેથી સંકીર્ણ ધનાયન પર વીજભાર +3 થશે. વળી ઈથેન-1, 2-ડાયએમાઈન તટસ્થ અણુ છે તેથી સંકીર્ણમાં કોબાલ્ટનો ઓક્સિડેશન આંક +3 થશે. યાદ રાખો કે આયનીય સંયોજનમાં ધનાયન અને ઋણાયનની સંખ્યાને આયનીય સંયોજનમાં દર્શાવવાના હોતા નથી.

3.  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2] [\text{Ag}(\text{CN})_2]$  નું નામાંકન છે ડાયઅમ્માઈનસિલ્વર(I) ડાયસાયનાઈડોઆર્જન્ટેટ(I).

નોંધ : એ નોંધો કે ધાતુના નામ ધનાયન અને ઋણાયનમાં તેઓ એક જ ધાતુ આયન ધરાવે છે છતાં અલગ હોય છે.

**કોયડો 9.2** નીચેના સવર્ગ સંયોજનોના સૂત્ર લખો :

- ટેટ્રાઅમ્માઈનએકવાક્લોરાઈડોકોબાલ્ટ(III) ક્લોરાઈડ
- પોટેશિયમ ટેટ્રાહાઈડ્રોક્સાઈડોઝિંકેટ(II)
- પોટેશિયમ ટ્રાયઓક્સેલેટોએલ્યુમિનેટ(III)
- ડાયક્લોરોબિસ(ઈથેન-1, 2-ડાયએમાઈન)કોબાલ્ટ(III)
- ટેટ્રાકાર્બોનિલનિકલ(0)

**ઉકેલ :** (a)  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}]\text{Cl}_2$  (b)  $\text{K}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$  (c)  $\text{K}_3[\text{Al}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$   
(d)  $[\text{CoCl}_2(\text{en})_2]^+$  (e)  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$

**કોયડો 9.3** નીચેના સવર્ગ સંયોજનોના IUPAC નામ લખો.

- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}(\text{NO}_2)]$  (b)  $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$  (c)  $[\text{CoCl}_2(\text{en})_2]\text{Cl}$
- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{CO}_3)]\text{Cl}$  (e)  $\text{Hg}[\text{Co}(\text{SCN})_4]$

**ઉકેલ :** (a) ડાયઅમ્માઈનક્લોરાઈડોનાઈટ્રાઈટો-N-પ્લેટિનમ(II)  
(b) પોટેશિયમ ટ્રાયઓક્સેલેટોકોમેટ(III)  
(c) ડાયક્લોરાઈડોબિસ(ઈથેન-1, 2, ડાયએમાઈન)કોબાલ્ટ(III)ક્લોરાઈડ  
(d) પેન્ટાઅમ્માઈનકાર્બોનેટોકોબાલ્ટ(III) ક્લોરાઈડ  
(e) મરક્યુરિ (I) ટેટ્રાથાયોસાયનેટો-S-કોબાલ્ટેટ(III)

## લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

9.1 નીચેના સવર્ગ સંયોજનોના સૂત્ર લખો :

- ટેટ્રાઅમ્માઈનડાયએકવાકોબાલ્ટ(III) ક્લોરાઈડ
- પોટેશિયમ ટેટ્રાસાયનાઈડોનિક્લેટ(II)
- ટ્રિસ-(ઈથેન-1,2-ડાયએમાઈન)કોબિયમ(III) ક્લોરાઈડ
- અમ્માઈનબ્રોમાઈડોક્લોરાઈડોનાઈટ્રાઈટો-N-પ્લેટિનેટ(II)
- ડાયક્લોરાઈડોબિસ(ઈથેન-1,2-ડાયએમાઈન)પ્લેટિનમ(IV) નાઈટ્રેટ
- આયર્ન(III)હેકઝાસાયનાઈડોફેરેટ(II)

9.2 નીચેના સવર્ગ સંયોજનોના IUPAC નામ લખો :

- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$
- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$
- $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
- $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$
- $\text{K}_2[\text{PdCl}_4]$
- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}(\text{NH}_2\text{CH}_3)]\text{Cl}$

## 9.4 સવર્ગ સંયોજનોમાં સમઘટકતા (Isomerism in Coordination Compounds)

સમઘટકો બે અથવા વધારે સંયોજનો હોય છે જેમના રાસાયણિક સૂત્રો સરખાં હોય છે પરંતુ પરમાણુઓની ગોઠવણી ભિન્ન ભિન્ન હોય છે. પરમાણુઓની ભિન્ન ભિન્ન ગોઠવણીને કારણે તે તેમના એક કે વધારે ભૌતિક અથવા રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં ભિન્ન હોય છે. બે મુખ્ય પ્રકારની સમઘટકતા સવર્ગ સંયોજનોમાં જાણીતી છે. તેમાંની દરેકને આગળ ઉપર ઉપવિભાજિત કરી શકાય છે.

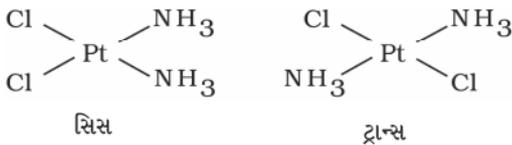
(a) અવકાશીય સમઘટકતા

- ભૌમિતિક સમઘટકતા
- પ્રકાશીય સમઘટકતા

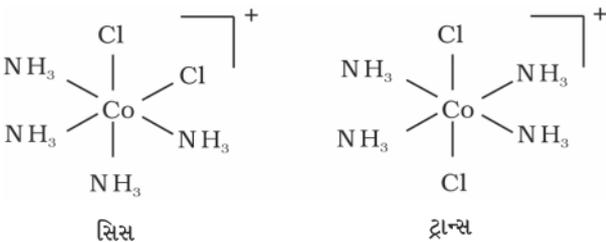
(b) બંધારણીય સમઘટકતા

- બંધન (linkage) સમઘટકતા
  - સવર્ગ સમઘટકતા
  - આયનીકરણ સમઘટકતા
  - દ્રાવકમિશ્રણ (solvate) સમઘટકતા
- અવકાશીય સમઘટકોને સમાન રાસાયણિક સૂત્ર અને રાસાયણિક બંધન હોય છે પરંતુ તેમને જુદી જુદી અવકાશીય (spatial) ગોઠવણી હોય છે. બંધારણીય સમઘટકોને ભિન્ન બંધન હોય છે. આ સમઘટકોનો વિગતવાર અહેવાલ નીચે આપેલ છે.

### 9.4.1 ભૌમિતિક સમઘટકતા (Geometric Isomerism)



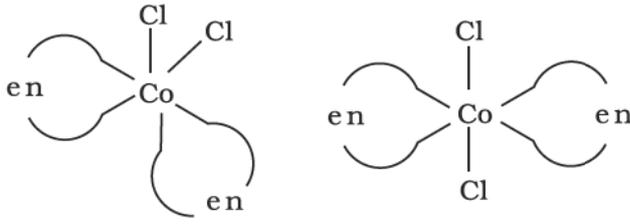
આકૃતિ 9.2:  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ના ભૌમિતિક સમઘટકો (સિસ અને ટ્રાન્સ)



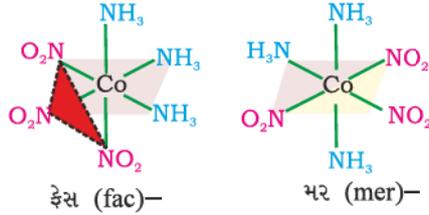
આકૃતિ 9.3:  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$ ના ભૌમિતિક સમઘટકો (સિસ અને ટ્રાન્સ)

આ પ્રકારની સમઘટકતા હિટરોલેપ્ટિક સંકીર્ણોમાં લિગેન્ડની ભિન્ન ભિન્ન શક્ય ગોઠવણીને કારણે ઉદ્ભવે છે. આ વર્તણૂક દર્શાવતા અગત્યના ઉદાહરણોમાં સવર્ગ આંક 4 અને 6 ધરાવતા સંયોજનો છે.  $[\text{MX}_2\text{L}_2]$  સૂત્ર ધરાવતા (X અને L એકદંતીય લિગેન્ડ છે) સમચોરસ સંકીર્ણોમાં બે લિગેન્ડ X એકબીજાની નજીક સિસ સમઘટકમાં હોય છે અથવા એકબીજાથી વિરુદ્ધ ટ્રાન્સ સમઘટકમાં હોય છે જે આકૃતિ 9.2માં દર્શાવેલ છે.

MABXL પ્રકારના (જ્યાં A, B, X, L એકદંતીય લિગેન્ડ છે) અન્ય સમતલીય ચોરસ સંકીર્ણોમાં ત્રણ સમઘટકોમાં બે સિસ અને એક ટ્રાન્સ સમઘટક મળે છે. તમે આની રચના દોરવા પ્રયત્ન કરી શકો છો. આવી સમઘટકતા સમચતુષ્કલકીય ભૂમિતિમાં શક્ય નથી. પરંતુ અષ્ટકલકીય રચનામાં જેનું સૂત્ર  $[\text{MX}_2\text{L}_4]$  છે તેમાં શક્ય છે. આમાં બે X લિગેન્ડ સિસ અથવા ટ્રાન્સ ગોઠવણીમાં એકબીજાને અભિવિન્યસ્ત (oriented) હોય છે (આકૃતિ 9.3).



આકૃતિ 9.4 :  $[CoCl_2(en)_2]$ ના ભૌમિતિક (સિસ અને ટ્રાન્સ) સમઘટકો



આકૃતિ 9.5 :  $[Co(NH_3)_3(NO_2)_3]$  સંકીર્ણમાં ફેસિયલ (fac) અને મેરિડોનિયલ (mer) સમઘટકો.

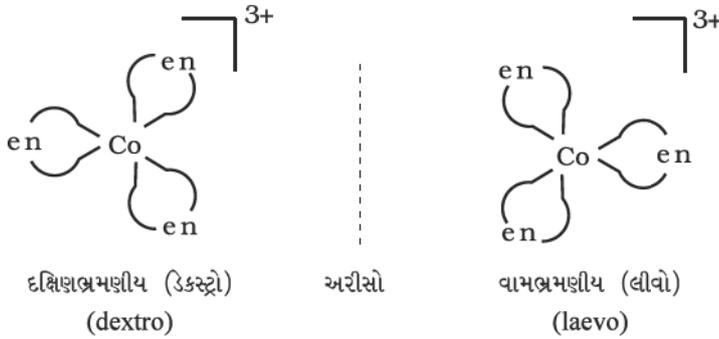
આ પ્રકારની સમઘટકતા જ્યારે  $[MX_2(L-L)_2]$  (આકૃતિ 9.4) સૂત્રવાળા સંકીર્ણમાં જ્યારે દ્વિદંતીય લિગેન્ડ L-L [દા.ત.,  $NH_2CH_2CH_2NH_2(en)$ ] હાજર હોય છે ત્યારે પણ ઉદ્ભવે છે.

બીજા પ્રકારની ભૌમિતિક સમઘટકતા  $[Ma_3b_3]$  પ્રકારના જેવા અષ્ટફલકીય સંકીર્ણ જેવા કે  $[Co(NH_3)_3(NO_2)_3]$ માં ઉદ્ભવે છે જો અષ્ટફલકની બાજુના પાસ પાસેના ખૂણાઓ પર સમાન લિગેન્ડના ત્રણ દાતા પરમાણુ સ્થાન પ્રાપ્ત કરે છે ત્યારે આપણને ફેસિયલ (facial-fac) સમઘટક મળે છે. જ્યારે તેમના સ્થાન અષ્ટફલકના યામ્યોત્તરીય (meridional)ની આસપાસ હોય છે ત્યારે મેરીડિયોનલ (meridional - mer) સમઘટક મળે છે. (આકૃતિ 9.5).

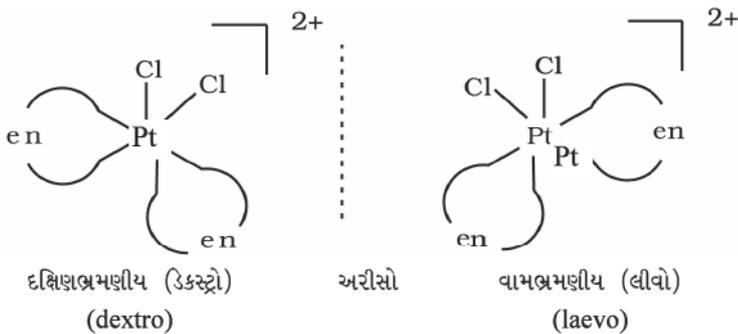
**કોયડો 9.4** મધ્યસ્થ ધાતુ આયન સાથે જ્યારે બે એકદંતીય લિગેન્ડ સવર્ગિત હોય તેવા સમયતુફલક સંકીર્ણોમાં ભૌમિતિક સમઘટકતા શા માટે શક્ય નથી ?

**ઉકેલ :** સમયતુફલકીય સંકીર્ણો ભૌમિતિક સમઘટકતા દર્શાવતા નથી. કારણ કે મધ્યસ્થ ધાતુ આયન સાથે જોડાયેલા એકદંતીય લિગેન્ડના સાપેક્ષ સ્થાન એકબીજાના સંદર્ભમાં સરખા હોય છે.

#### 9.4.2 પ્રકાશીય સમઘટકતા (Optical Isomerism)



આકૃતિ 9.6 :  $[Co(en)_3]^{3+}$  ના પ્રકાશીય સમઘટકો (d અને l)



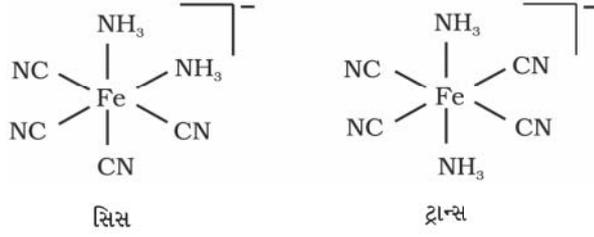
આકૃતિ 9.7 :  $[PtCl_2(en)_2]^{2+}$  ના પ્રકાશીય સમઘટકો (d અને l)

પ્રકાશીય સમઘટકો આરસી પ્રતિબિંબો છે જે એકબીજા પર અધ્યારોપિત (superimposed) કરી શકાતા નથી. આને પ્રતિબિંબિ સમઘટકો (enantiomer) કહેવામાં આવે છે. અણુઓ અથવા આયનો જે અધ્યારોપિત કરી શકાતા નથી તેમને કિરાલ (chiral) કહે છે. બે સ્વરૂપોને તેમના પોલારીમીટરમાં ધ્રુવીભૂત પ્રકાશને કઈ દિશામાં ભ્રમણ કરે છે તેને આધારે દક્ષિણભ્રમણીય (d) (dextro) (ડાબીબાજુના ભ્રમણને (d) અને વામભ્રમણીય (l) (laevo) (જમણીબાજુના ભ્રમણને l) કહે છે. પ્રકાશીય સમઘટકતા દ્વિદંતીય લિગેન્ડનો સમાવેશ કરતાં અષ્ટફલકીય સંકીર્ણોમાં સામાન્ય છે (આકૃતિ 9.6).

$[PtCl_2(en)_2]^{2+}$  પ્રકારના સંકીર્ણ સ્પિસીઝમાં માત્ર સિસ-સમઘટક જ પ્રકાશીય ક્રિયાશીલતા દર્શાવે છે (આકૃતિ 9.7).

**કોયડો 9.5**  $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_2(\text{CN})_4]^-$  ના ભૌમિતિક સમઘટકોની રચના દોરો.

**ઉકેલ :**

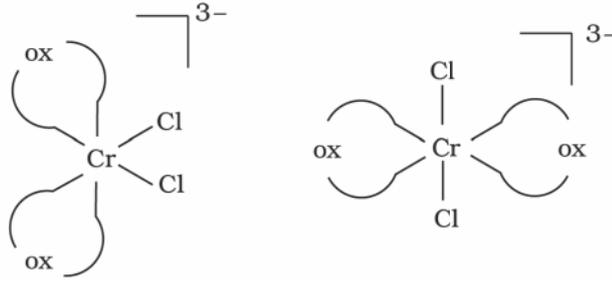


**કોયડો 9.6** નીચેની બે સંકીર્ણ સ્પિસીઝમાંથી કઈ કિરાલ (પ્રકાશીય ક્રિયાશીલ) છે ?

(a) સિસ- $[\text{CrCl}_2(\text{ox})_2]^{3-}$       (b) ટ્રાન્સ- $[\text{CrCl}_2(\text{ox})_2]^{3-}$

**ઉકેલ :**

બે સ્પિસીઝને આ પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય.



(a) સિસ- $[\text{CrCl}_2(\text{ox})_2]^{3-}$       (b) ટ્રાન્સ- $[\text{CrCl}_2(\text{ox})_2]^{3-}$

બન્નેમાંથી (a) સિસ- $[\text{CrCl}_2(\text{ox})_2]^{3-}$  કિરાલ (પ્રકાશીય ક્રિયાશીલ) છે.

**9.4.3 બંધન સમઘટકતા :**  
(Linkage Isomerism)

બંધન સમઘટકતા એમ્બિડેન્ટેટ (ambidentate) લિગેન્ડ ધરાવતા સવર્ગ સંયોજનોમાં ઉદ્ભવે છે. આનું સાદું ઉદાહરણ થાયોસાયનેટ  $\text{NCS}^-$  લિગેન્ડ ધરાવતા સંકીર્ણ દ્વારા પૂરું પાડવામાં આવે છે જે નાઈટ્રોજન દ્વારા બંધન પામી  $\text{M-NCS}$  આપે છે અથવા સલ્ફર દ્વારા બંધન પામી  $\text{M-SCN}$  સંકીર્ણ આપે છે. જોર્ગેન્સને (Jorgensen) આ પ્રકારની વર્તણૂક  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{NO}_2)]\text{Cl}_2$  સંકીર્ણમાં શોધી હતી. તેના લાલ સ્વરૂપમાં નાઈટ્રાઈટ લિગેન્ડ ઓક્સિજન ( $-\text{ONO}$ ) દ્વારા ધાતુ સાથે બંધન પામે છે અને પીળા સ્વરૂપમાં નાઈટ્રાઈટ લિગેન્ડ નાઈટ્રોજન ( $-\text{NO}_2$ ) દ્વારા ધાતુ સાથે બંધન પામેલ હોય છે.

**9.4.4 સવર્ગ સમઘટકતા :**  
(Coordination Isomerism)

આ પ્રકારની સમઘટકતા ત્યારે ઉદ્ભવે છે જ્યારે સંકીર્ણમાં હાજર જુદા જુદા ધાતુ આયનોની ધનવીજભારિત અને ઋણ વીજભારિત સ્પિસીઝ વચ્ચે લિગેન્ડની હેરફેર થાય અને લિગેન્ડ વચ્ચે આંતરિક ફેરફાર થાય છે.  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]$   $[\text{Cr}(\text{CN})_6]$  સંકીર્ણ આનું ઉદાહરણ પૂરું પાડે છે. તેમાં  $\text{NH}_3$  લિગેન્ડ  $\text{Co}^{3+}$  સાથે બંધિત છે અને  $\text{CN}^-$  લિગેન્ડ  $\text{Cr}^{3+}$  સાથે બંધિત છે. તેના સવર્ગ સમઘટક  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]$   $[\text{Co}(\text{CN})_6]$  માં  $\text{NH}_3$  લિગેન્ડ  $\text{Cr}^{3+}$  સાથે બંધિત છે અને  $\text{CN}^-$  લિગેન્ડ  $\text{Co}^{3+}$  સાથે બંધિત છે.

**9.4.5 આયનીકરણ સમઘટકતા :**  
(Ionization Isomerism)

આ પ્રકારની સમઘટકતા ત્યારે ઉદ્ભવે છે જ્યારે સંકીર્ણ ક્ષારમાં પ્રતિ (counter) આયન પોતે જ સક્ષમ (potential) લિગેન્ડ હોય છે અને લિગેન્ડને વિસ્થાપિત કરી શકે જે ત્યારબાદ પ્રતિ આયન બને. આનું ઉદાહરણ આયનીકરણ સમઘટકો  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]\text{Br}$  અને  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]\text{SO}_4$  પૂરું પાડે છે.

**9.4.6 દ્રાવકમિશ્રણ સમઘટકતા (Solvate Isomerism)**

જ્યારે પાણી દ્રાવક તરીકે સમાવિષ્ટ હોય ત્યારે આ પ્રકારની સમઘટકતાને જળયોજિત (hydrate) સમઘટકતા કહે છે. આ આયનીકરણ સમઘટકતા જેવી જ છે. દ્રાવકમિશ્રણ સમઘટકો સ્ફટિક લેટિસમાં દ્રાવકના અણુઓ સીધા જ ધાતુ આયન સાથે બંધિત છે અથવા માત્ર મુક્ત દ્રાવક અણુ તરીકે જ હાજર છે. તેના આધારે અલગ પડે છે. આનું ઉદાહરણ  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$  (જાંબલી) અને તેનો દ્રાવકમિશ્રણ સમઘટક  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (ભૂખરો - લીલો) પૂરું પાડે છે.

**લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો**

**9.3** નીચેના સંકીર્ણો દ્વારા દર્શાવાતી સમઘટકતાનો પ્રકાર સૂચવો અને આ સમઘટકોની રચના દોરો :

- (i)  $\text{K}[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{C}_2\text{O}_4)_2]$  (ii)  $[\text{Co}(\text{en})_3]\text{Cl}_3$   
 (iii)  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{NO}_2)](\text{NO}_3)_2$  (iv)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_2]$

**9.4**  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{SO}_4$  અને  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]\text{Cl}$  આયનીકરણ સમઘટકો છે તેના પુરાવા આપો.

**9.5 સવર્ગ સંયોજનોમાં બંધન (Bonding in Coordination Compounds)**

સવર્ગ સંયોજનમાં બંધનની ખાસિયતોનું વર્ણન કરનાર સૌપ્રથમ વર્નર હતા. પરંતુ તેમનો સિદ્ધાંત પાયાના પ્રશ્નોનો ઉત્તર આપી શક્યો નહિ જેમ કે,

- (i) શા માટે કેટલાંક તત્ત્વો જ સવર્ગ સંયોજનો બનાવવા માટેનો નોંધપાત્ર (remarkable) ગુણધર્મ ધરાવે છે ?  
 (ii) સવર્ગ સંયોજનોમાં બંધન શા માટે દિશામય ગુણધર્મ ધરાવે છે.  
 (iii) સવર્ગ સંયોજનો શા માટે લાક્ષણિક ચુંબકીય અને પ્રકાશીય ગુણધર્મો ધરાવે છે ?

સવર્ગ સંયોજનોમાં બંધનના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) સમજાવવા માટે ઘણા અભિગમો રજૂ થયેલા છે. જેમ કે સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંત (VBT), સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત (CFT), લિગેન્ડ ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત (LFT) અને આણ્વીય કક્ષક સિદ્ધાંત (MOT). આપણે સવર્ગ સંયોજનો માટે VBT અને CFTના પ્રાથમિક વિધિનો અનુપ્રયોગ (ઉપયોગ) કરીશું.

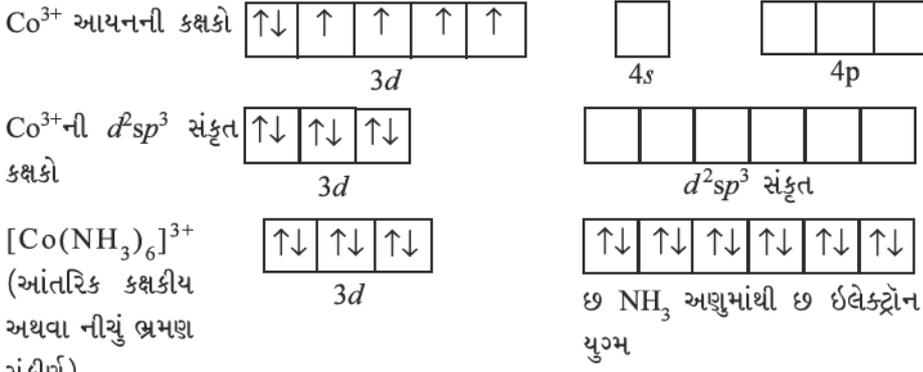
**9.5.1 સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંત (Valence Bond Theory)**

આ સિદ્ધાંત પ્રમાણે ધાતુ પરમાણુ અથવા આયન લિગેન્ડની અસર હેઠળ તેની  $(n-1)d$ ,  $ns$ ,  $np$  અથવા  $ns$ ,  $np$ ,  $nd$  કક્ષકોનો ઉપયોગ સંકરણ માટે કરે છે અને ચોક્કસ ભૂમિતિ જેવી કે અષ્ટફલકીય, સમતલીય ચોરસ અને અન્ય (કોષ્ટક 9.2) વાળી સમતુલ્ય કક્ષકોનો સેટ (set) આપે છે. આ સંકૃત કક્ષકો બંધન માટે ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મનું દાન કરતી લિગેન્ડની કક્ષકો સાથે સંમિશ્રિત (overlapped) થાય છે. આ નીચેના ઉદાહરણો દ્વારા દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 9.2 : કક્ષકોની સંખ્યા અને સંકરણના પ્રકાર

સવર્ગ આંક	સંકરણનો પ્રકાર	અવકાશમાં સંકૃત કક્ષકોનું વિતરણ
4	$sp^3$	સમચતુષ્ફલકીય
4	$dsp^2$	સમતલીય ચોરસ
5	$sp^3d$	ત્રિકોણીય દ્વિપિરામિડલ
6	$sp^3d^2$	અષ્ટફલકીય
6	$d^2sp^3$	અષ્ટફલકીય

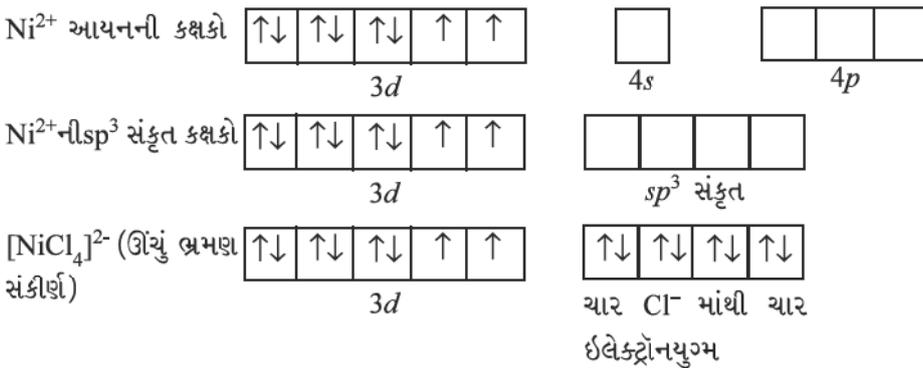
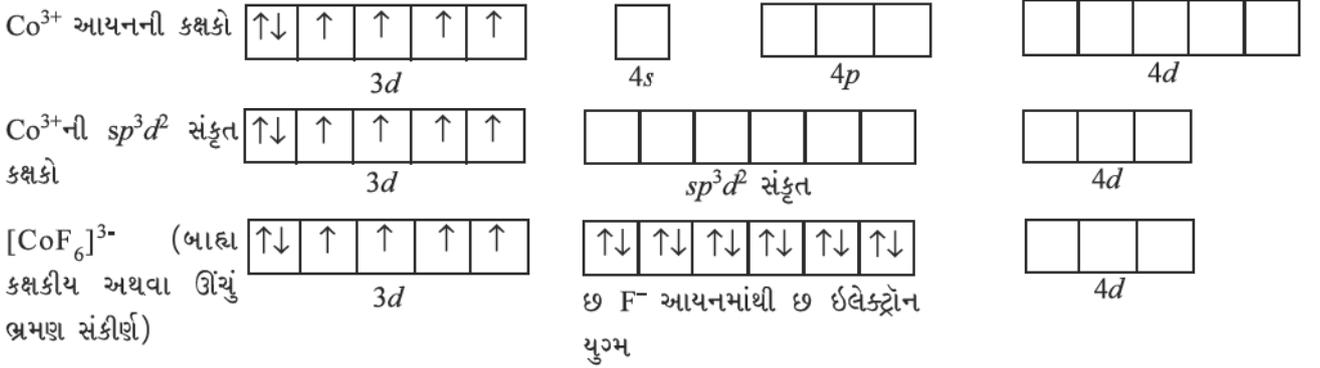
સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંતના આધારે સંકીર્ણની ચુંબકીય વર્તણૂકના જ્ઞાન પરથી



સંકીર્ણની ભૂમિતિનું પ્રાક્કથન કરવું સામાન્ય રીતે શક્ય છે.

પ્રતિચુંબકીય અષ્ટફલકીય સંકીર્ણ [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup>માં કોબાલ્ટ આયન +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં છે અને તેની ઇલેક્ટ્રોનીય સંરચના 3d<sup>6</sup> છે સંકરણ યોજના (scheme) આકૃતિમાં બતાવ્યા પ્રમાણેની છે.

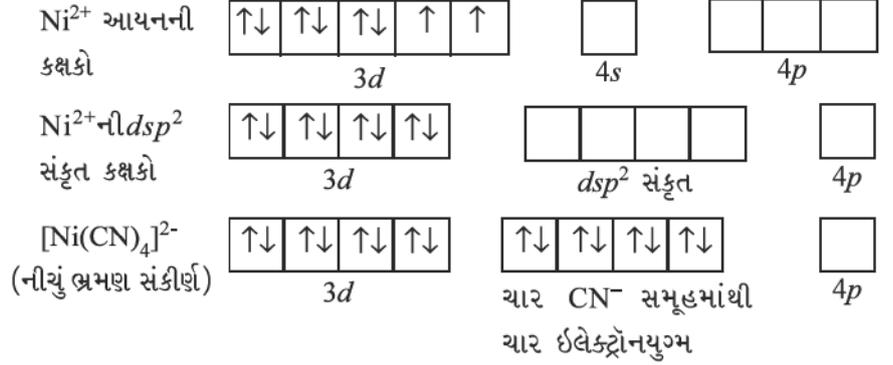
એક NH<sub>3</sub> અણુમાંથી મળતા એક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મ તેવા છ NH<sub>3</sub> અણુમાંથી મળતા છ ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મો, છ સંકૃત કક્ષકોમાં ભરાય છે. આમ સંકીર્ણ અષ્ટફલકીય ભૂમિતિ ધરાવે છે અને તે પ્રતિચુંબકીય છે કારણ કે તેમાં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની ગેરહાજરી છે. સંકરણમાં આંતરિક d કક્ષકો (3d)નો ઉપયોગ થાય છે માટે સંકીર્ણ [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup> ને આંતરિક કક્ષકીય (inner orbital) અથવા નીચું ભ્રમણ અથવા ભ્રમણ યુગ્મિત સંકીર્ણ (spin paired complex) કહેવામાં આવે છે. અનુચુંબકીય અષ્ટફલકીય સંકીર્ણ [CoF<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> સંકરણમાં (sp<sup>3</sup>d<sup>2</sup>)માં બાહ્ય કક્ષકો (4d)નો ઉપયોગ કરે છે. આથી તેને બાહ્ય કક્ષકીય અથવા ઊંચું ભ્રમણ અથવા ભ્રમણમુક્ત સંકીર્ણ કહે છે. આમ,



સમચતુષ્ફલકીય સંકીર્ણોમાં એક s અને ત્રણ p કક્ષકો સંકૃત થાય છે અને ચાર સમતુલ્ય કક્ષકો સમચતુષ્ફલકીય દિશામાં હોય છે. આ બાબત [NiCl<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> માટે નીચે રજૂ કરેલ છે. અહીંયા નિકલ +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં છે અને આયનની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના 3d<sup>8</sup> છે. સંકરણ યોજના (scheme) આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણેની છે.

દરેક Cl<sup>-</sup> આયન ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મનું દાન કરે છે. સંયોજન અનુચુંબકીય છે કારણ કે તે બે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે. આ જ પ્રમાણે [Ni(CO)<sub>4</sub>]ને સમચતુષ્ફલકીય ભૂમિતિ છે પણ તે પ્રતિચુંબકીય છે કારણ કે નિકલ શૂન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં છે અને અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન ધરાવતું નથી.

સમતીલય ચોરસ સંકીર્ણમાં  $dsp^2$  સંકરણ સમાવિષ્ટ છે.  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$  તેનું ઉદાહરણ છે અહીંયા નિકલ +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં છે અને તેની ઈલેક્ટ્રોનીય રચના  $3d^8$  છે. સંકરણ યોજના આકૃતિમાં બતાવ્યા પ્રમાણે છે.



પ્રત્યેક સંકૃત કક્ષક એક સાયનાઇડ આયનમાંથી એક ઈલેક્ટ્રોનનું યુગ્મ સ્વીકારે છે. સંયોજન પ્રતિયુંબકીય છે જે અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રોનની ગેરહાજરીથી સાબિત થાય છે.

એ નોંધવું અગત્યનું છે કે સંકૃત કક્ષકો ખરેખર અસ્તિત્વ ધરાવતી નથી. હકીકતમાં તો સંકરણ સમાવિષ્ટ પરમાણ્વીય કક્ષકો માટેના તરંગ સમીકરણનું ગાણિતીય કૌશલ્ય (manipulation) છે.

### 9.5.2 સવર્ગ સંયોજનોના ચુંબકીય ગુણધર્મો (Magnetic Properties of Coordination Compounds)

સવર્ગ સંયોજનોની ચુંબકીય ચાકમાત્રા ચુંબકીય ગ્રહણશીલતા પ્રયોગો દ્વારા માપી શકાય છે. આના પરિણામોનો ઉપયોગ ધાતુ સંયોજનો માટે સ્વીકારેલ રચના વિશે માહિતી મેળવવામાં કરી શકાય.

પ્રથમ સંક્રાંતિ શ્રેણીની ધાતુના સવર્ગ સંયોજનોની ચુંબકીય માહિતીના વિવેચનાત્મક અભ્યાસે કેટલીક ગૂંચવણ પ્રગટ કરી છે.  $d$ -કક્ષકોમાં ત્રણ ઈલેક્ટ્રોન સુધીના ધાતુ આયનો જેવાં કે  $\text{Ti}^{3+}$  ( $d^1$ );  $\text{V}^{3+}$  ( $d^2$ );  $\text{Cr}^{3+}$  ( $d^3$ ); જેમાં અષ્ટફલકીય આકાર મેળવવાના સંકરણ કરવા માટે  $4s$  અને  $4p$  કક્ષકો સહિત બે ખાલી  $d$ -કક્ષકો પ્રાપ્ય છે. આ મુક્ત આયનો અને તેમની સવર્ગ સ્પિસીઝની ચુંબકીય વર્તણૂક સરખી છે. જ્યારે ત્રણ કરતાં વધારે  $d$ -ઈલેક્ટ્રોન હાજર હોય છે ત્યારે અષ્ટફલકીય સંકરણ માટે  $3d$  કક્ષકોનું જરૂરી યુગ્મ સીધે સીધું (હુન્ડના નિયમના પરિણામે) મળી રહેતું નથી. આમ  $d^4$  ( $\text{Cr}^{2+}$  અને  $\text{Mn}^{3+}$ ),  $d^5$  [ $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ],  $d^6$  [ $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ]ના કિસ્સામાં ખાલી  $d$ -કક્ષકોની એક જોડ માત્ર  $3d$  કક્ષકોના ઈલેક્ટ્રોનના યુગ્મીકરણથી પ્રાપ્ય થાય છે તેથી અનુક્રમે બે, એક અને શૂન્ય અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રોન બાકી રહે છે.

ચુંબકીય માહિતી ઘણા કિસ્સાઓમાં મહત્તમ ભ્રમણ યુગ્મન ખાસ કરીને  $d^6$  આયન ધરાવતા સવર્ગ સંયોજનો સાથે સહમત થાય છે, પરંતુ  $d^4$  અને  $d^5$  આયન ધરાવતી સ્પિસીઝ સાથે ગૂંચવણો જણાય છે.  $[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{3-}$  બે અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રોનની ચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે જ્યારે  $[\text{MnCl}_6]^{3-}$  ચાર અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રોનની અનુચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે.  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ ની ચુંબકીય ચાકમાત્રા એક જ અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રોન જેટલી છે જ્યારે  $[\text{FeF}_6]^{3-}$  પાંચ અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રોનની અનુચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે.  $[\text{CoF}_6]^{3-}$  ચાર અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રોન સાથે અનુચુંબકીય ગુણધર્મ ધરાવે છે જ્યારે  $[\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$  પ્રતિચુંબકીય છે. આ દેખીતી વિસંગતતા સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંત વડે આંતરકક્ષકીય અને બાહ્યકક્ષકીયની રચનાના આધારે સમજાવી શકાય છે.  $[\text{Mn}(\text{CN})_6]^{3-}$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  અને  $[\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$   $d^2sp^3$  સંકરણ સમાવિષ્ટ આંતરકક્ષકીય સંકીર્ણ છે. આગળના બે સંકીર્ણ અનુચુંબકીય છે અને પછીનું સંકીર્ણ પ્રતિચુંબકીય છે. બીજી બાજુ તરફ  $[\text{MnCl}_6]^{3-}$   $[\text{FeF}_6]^{3-}$  અને  $[\text{CoF}_6]^{3-}$   $sp^3d^2$  સંકરણ ધરાવતા બાહ્યકક્ષકીય સંકીર્ણ છે અને અનુચુંબકીય છે જે અનુક્રમે ચાર, પાંચ અને ચાર અયુગ્મિત ઈલેક્ટ્રોનને અનુરૂપ છે.

**કોયડો 9.7**  $[\text{MnBr}_4]^{2-}$  ની ફક્ત ભ્રમણ ચુંબકીય ચાકમાત્રા 5.9 BM છે. સંકીર્ણ આયનની ભૂમિતિનું પ્રાક્કથન કરો.

**ઉકેલ :**  $\text{Mn}^{2+}$  આયનનો સવર્ગ આંક સંકીર્ણ આયનમાં 4 હોવાથી, તે કાં તો સમચતુષ્ફલક ( $sp^3$  સંકરણ) અથવા સમતલીય ચોરસ ( $dsp^2$  સંકરણ) હોઈ શકે છે. પરંતુ સંકીર્ણની ચુંબકીય ચાકમાત્રા 5.9 BM હોવાની હકીકતને કારણે તે આકારમાં સમતલીય ચોરસને બદલે સમચતુષ્ફલકીય હોવો જોઈએ. કારણ કે  $d$ -કક્ષકોમાં પાંચ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની હાજરી છે.

### 9.5.3 સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંતની મર્યાદાઓ : (Limitations of Valence Bond Theory)

VB સિદ્ધાંત મહદ્ અંશે સવર્ગ સંયોજનોની બનાવટ, રચના અને ચુંબકીય વર્તણૂક સમજાવી શકે છે પરંતુ તે નીચેની અપૂર્ણતા (shortcoming) ધરાવે છે.

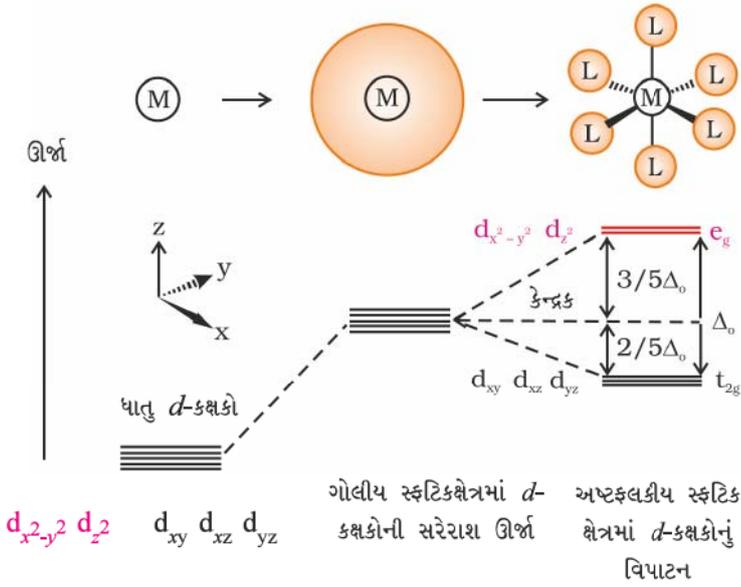
- તે ઘણી બધી ધારણાઓનો સમાવેશ કરે છે.
- તે ચુંબકીય માહિતીનું જથ્થાત્મક અર્થઘટન આપી શકતો નથી.
- સવર્ગ સંયોજનો દ્વારા પ્રદર્શિત રંગને સમજાવી શકતો નથી.
- સવર્ગ સંયોજનોની ઉષ્માગતિકીય અથવા ગતિકીય સ્થાયીતા વિશે જથ્થાત્મક અર્થઘટન આપી શકતો નથી.
- 4-સવર્ગ સંકીર્ણોના સમચતુષ્ફલક અને સમતલીયચોરસ બંધારણો વિશે કોઈ ચોક્કસ પ્રાક્કથન કરી શકતો નથી.
- તે નિર્બળ અને પ્રબળ લિગેન્ડ વચ્ચે ભેદ પાડી શકતો નથી.

### 9.5.4 સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત (Crystal Field Theory)

સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત (CFT) સ્થિરવિદ્યુતીય નમૂનો છે. જે ધાતુ આયન અને લિગેન્ડ વચ્ચેની પારસ્પરિક સ્થિરવિદ્યુતીય ક્રિયાઓના ઉદ્ભવને લીધે ધાતુ લિગેન્ડ બંધને ગણતરીમાં લે છે. લિગેન્ડને ઋણાયનના કિસ્સામાં બિંદુ (point) ભાર તરીકે અથવા તટસ્થઅણુના કિસ્સામાં દ્વિધ્રુવ તરીકે ગણવામાં આવે છે. વિલગિત (isolated) વાયુમય ધાતુ પરમાણુ/આયનમાંની પાંચ  $d$ -કક્ષકોની સરખી ઊર્જા હોય છે. એટલે કે તે સમશક્તિ (degenerate) હોય છે. આ સમશક્તિપણું ધાતુ પરમાણુ/આયનની આસપાસ ઋણભારનું ગોલીય (spherically) સમમિત ક્ષેત્ર જાળવી રાખે છે. પરંતુ, જો સંકીર્ણમાં લિગેન્ડને લીધે (કાં તો ઋણાયન અથવા દ્વિધ્રુવીય અણુનો ઋણ છેડો જેવાં કે  $\text{NH}_3$  અને  $\text{H}_2\text{O}$ ) ઋણભાર ક્ષેત્ર હોય ત્યારે તે અસમમિત બને છે અને  $d$ -કક્ષકોનું સમશક્તિપણું દૂર થાય છે, તે  $d$ -કક્ષકોના વિપાટનમાં (splitting) પરિણમે છે. વિપાટનની ભાત (pattern) સ્ફટિક ક્ષેત્રના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખે છે. આપણે જુદા જુદા સ્ફટિકક્ષેત્રના વિપાટનને સમજાએ.

#### (a) અષ્ટફલકીય સવર્ગ સ્પિસીઝમાં સ્ફટિક ક્ષેત્ર વિપાટન

ધાતુ પરમાણુ/આયનની આસપાસ છ લિગેન્ડથી ઘેરાયેલા અષ્ટફલકીય સવર્ગ સ્પિસીઝમાં ધાતુની  $d$ -કક્ષકોના ઇલેક્ટ્રોન અને લિગેન્ડના ઇલેક્ટ્રોન (અથવા ઋણભાર) વચ્ચે અપાકર્ષણ થશે. આવું અપાકર્ષણ ધાતુની  $d$ -કક્ષકો લિગેન્ડથી દૂર હોય તેના કરતાં લિગેન્ડની દિશા તરફ હોય ત્યારે વધારે હોય છે. આમ, ગોલીય સ્ફટિકક્ષેત્રની સરેરાશ ઊર્જાની સરખામણીમાં  $d_{x^2-y^2}$  અને  $d_{z^2}$  કક્ષકો જે લિગેન્ડની દિશા તરફ નિર્દેશિત (points) થાય છે તે વધુ અપાકર્ષણ દર્શાવશે અને ઊર્જામાં ઊંચે જશે અને  $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$  અને  $d_{zx}$  કક્ષકો જે અક્ષની (axis) વચ્ચે દિશાત્મક હોય છે તે ઊર્જામાં નીચે જશે. આથી અષ્ટફલકીય સંકીર્ણમાં લિગેન્ડ ઇલેક્ટ્રોન અને ધાતુ ઇલેક્ટ્રોનને લીધે  $d$ -કક્ષકોનું સમશક્તિપણું (degeneracy) દૂર થશે જેને પરિણામે ત્રણ કક્ષકો નીચી ઊર્જાના  $t_{2g}$  માં ગોઠવાશે અને બે કક્ષકો ઊંચી ઊર્જાના  $e_g$  માં ગોઠવાશે. સમશક્તિ સ્તરોનું લિગેન્ડની ચોક્કસ ભૂમિતિમાંની હાજરીને કારણે થતા વિપાટનને સ્ફટિક ક્ષેત્ર વિપાટન કહેવામાં આવે છે અને ઊર્જાના અલગીકરણને  $\Delta_0$  (પાદાક્ષર 0 અષ્ટફલકીય માટે છે)

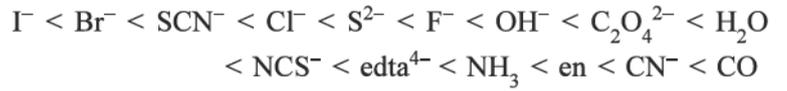


આકૃતિ 9.8 : અષ્ટફલકીય સ્ફટિકક્ષેત્રમાં  $d$ -કક્ષકોનું વિપાટન

(આકૃતિ 9.8) થી દર્શાવવામાં આવે છે. આમ, બે  $e_g$  કક્ષકોની ઊર્જા  $\left(\frac{3}{5}\right)\Delta_0$  જેટલી વધશે અને  $t_{2g}$  કક્ષકોની ઊર્જા  $\left(\frac{2}{5}\right)\Delta_0$  જેટલી ઘટશે.

સ્ફટિક ક્ષેત્ર વિપાટન  $\Delta_0$  લિગેન્ડ અને ધાતુ આયન પરના ભાર પર આધાર રાખે છે. કેટલાક લિગેન્ડ પ્રબળ ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરવા શક્તિમાન હોય છે. જેમાં વધારે (મોટું) વિપાટન થશે અને બીજો જે નિર્બળ ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે તેમાં ઓછું (નાનું) વિપાટન થશે અને તેને પરિણામે  $d$ -કક્ષકોમાં નાનું વિપાટન થશે. સામાન્ય રીતે, ક્ષેત્ર પ્રબળતામાં વધારા પ્રમાણે

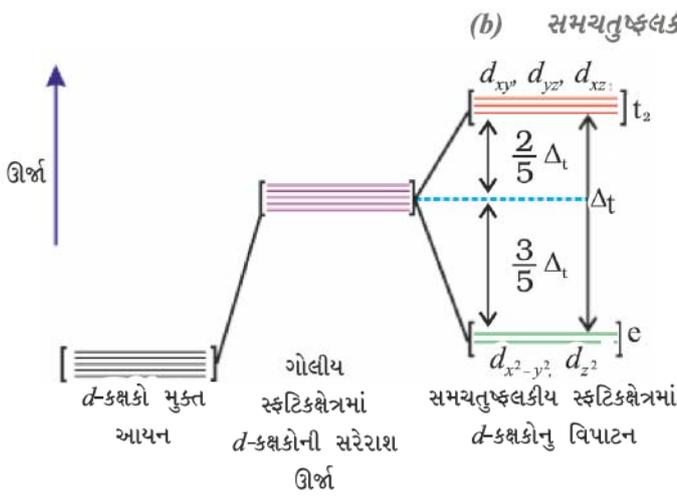
લિગેન્ડને ક્રમવાર શ્રેણીમાં નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :



આવી શ્રેણીને વર્ણપટ્ટી રાસાયણિક (spectrochemical) શ્રેણી કહે છે. આ શ્રેણી પ્રાયોગિક રીતે જુદા જુદા લિગેન્ડ સાથેના સંકીર્ણના પ્રકાશના શોષણ પરથી નક્કી કરવામાં આવેલી છે આપણે અષ્ટફલકીય સર્વગ સ્પિસીઝમાં ધાતુ આયનની  $d$ -કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોન સૂચવવા (assign) પ્રયત્ન કરીએ. સ્વાભાવિક છે કે એકાકી  $d$ -ઇલેક્ટ્રોન  $t_{2g}$  કક્ષકોની નીચેની ઓછી ઊર્જાવાળી  $t_{2g}$  કક્ષકમાં ભરાશે.  $d^2$  અને  $d^3$  સર્વગ સ્પિસીઝમાં  $d$ -ઇલેક્ટ્રોન હુન્ડના નિયમ પ્રમાણે એકાકી  $t_{2g}$  કક્ષકમાં ગોઠવાશે.  $d^4$  આયન માટે ઇલેક્ટ્રોન વહેંચણીના બે વિપાટન ઉદ્ભવશે. (i) ચોથો ઇલેક્ટ્રોન  $t_{2g}$  સ્તરમાં જશે અને હયાત (હાજર) ઇલેક્ટ્રોન સાથે યુગ્મન કરશે અથવા (ii) ઊર્જાના યુગ્મન માટેની કિંમત ચૂકવ્યા વગર  $e_g$  સ્તરમાં ગોઠવાશે. આમાંની કઈ શક્યતા પરિણમશે. તે સ્ફટિક ક્ષેત્ર વિપાટન  $\Delta_0$  ની સાપેક્ષ માત્રા અને યુગ્મન ઊર્જા P (P એકાકી કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મન માટે જરૂરી ઊર્જા દર્શાવે છે) પર આધાર રાખશે. બંને વિકલ્પો આ પ્રમાણે છે :

- જો  $\Delta_0 < P$  હોય, તો ચોથો ઇલેક્ટ્રોન  $e_g$  કક્ષકમાં ગોઠવાશે અને  $t_{2g}^3 e_g^1$  સંરચના આપશે. લિગેન્ડ જેને માટે  $\Delta_0 < P$  છે તેમને નિર્બળ ક્ષેત્ર લિગેન્ડ કહે છે અને તે ઉચ્ચભ્રમણ સંકીર્ણ બનાવે છે.
- જો  $\Delta_0 > P$  હોય, તો તે શક્તિની રીતે ચોથા ઇલેક્ટ્રોનને  $t_{2g}$  કક્ષકમાં ગોઠવવા માટે સાનુકૂળ બનશે અને  $t_{2g}^4 e_g^0$  સંરચના આવશે. જે લિગેન્ડ આ અસર ઉત્પન્ન કરે છે તેમને પ્રબળ ક્ષેત્ર લિગેન્ડ કહે છે અને તે નિમ્ન ભ્રમણ સંકીર્ણ રચે છે.

ગણતરીઓ દર્શાવે છે કે  $d^4$  થી  $d^7$  સંકીર્ણ સ્પિસીઝ નિર્બળ ક્ષેત્રના કિસ્સા કરતાં પ્રબળ ક્ષેત્રના કિસ્સામાં વધુ સ્થાયી હોય છે.



આકૃતિ 9.9 : સમયતુષ્ફલકીય સ્ફટિકક્ષેત્રમાં  $d$ -કક્ષકોનું વિપાટન

સમયતુષ્ફલકીય સવર્ગ સ્પિસીઝની રચનામાં  $d$ -કક્ષકોનું વિપાટન ઊંધું થઈ જાય છે (આકૃતિ 9.9) અને તે અષ્ટફલકીય ક્ષેત્ર વિપાટન કરતાં ઓછું હોય છે. સમાન ધાતુ માટે સમાન લિગેન્ડ અને ધાતુ લિગેન્ડ અંતર માટે એ દર્શાવી શકાય કે  $\Delta_t = \left(\frac{4}{9}\right)\Delta_0$  છે. પરિણામે, કક્ષકીય વિપાટન ઊર્જાઓ વધુ યુગ્મનને દબાણ કરવા માટે પૂરતી હોતી નથી અને તેથી નિમ્ન ભ્રમણ સંરચના ભાગ્યે જ જોવા મળે છે. અષ્ટફલકીય અને સમતલીય ચોરસ સંકીર્ણ કે જે કેન્દ્રીય સમમિતિ ધરાવે છે તેના માટે 'g' પાદાક્ષર (subscript)નો ઉપયોગ થાય છે, જ્યારે સમયતુષ્ફલકીય સંકીર્ણમાં સમમિતિના અભાવના કારણે ઊર્જાસ્તરો માટે 'g' પાદાક્ષરનો ઉપયોગ થતો નથી.

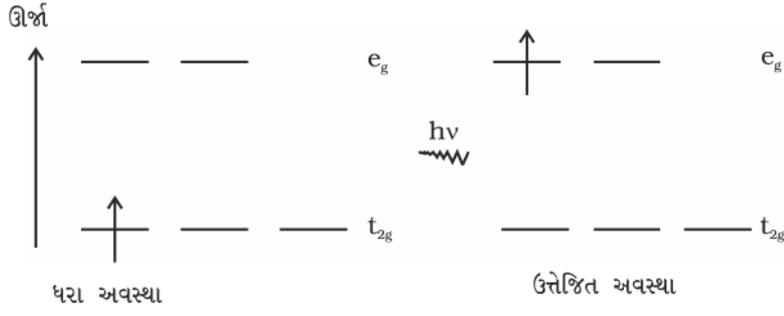
### 9.5.5 સવર્ગ સંયોજનોમાં રંગ (Colour in Coordination Compounds)

અગાઉના એકમમાં આપણે શીષ્યાં કે સંક્રાંતિ ધાતુ સંકીર્ણોના વિશિષ્ટ ગુણધર્મોમાંનો એક મુખ્ય ગુણધર્મ તેમના વિશાળ ગાળાના (Range) રંગ છે. આનો અર્થ એમ છે કે સફેદ પ્રકાશમાંનો કેટલોક ભાગ જ્યારે તે નમૂનામાંથી પસાર થાય છે ત્યારે તે દૂર થાય છે. તેથી બહાર નીકળતો પ્રકાશ લાંબા સમય સુધી સફેદ રહેતો નથી. સંકીર્ણનો રંગ જે શોષાય છે તે રંગનો પૂરક હોય છે. પૂરક રંગ બાકી રહેતી તરંગલંબાઈથી ઉત્પન્ન થતો રંગ છે; જો સંકીર્ણ દ્વારા લીલો રંગ શોષાય, તો તે લાલ દેખાય છે શોષિત થતી જુદી જુદી તરંગલંબાઈ અને અવલોકન કરતાં રંગ વચ્ચેનો સંબંધ કોષ્ટક 9.3માં આપવામાં આવ્યો છે.

કોષ્ટક 9.3 : કેટલીક સવર્ગ સ્પિસીઝમાં અવલોકિત કરેલો રંગ અને પ્રકાશની શોષાયેલી તરંગલંબાઈ વચ્ચે સંબંધ

સવર્ગ સ્પિસીઝ	શોષિત પ્રકાશની તરંગલંબાઈ(nm)	શોષિત પ્રકાશનો રંગ	સવર્ગ સ્પિસીઝનો રંગ
$[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$	535	પીળો	જાંબલી
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{H}_2\text{O})]^{3+}$	500	વાદળી-લીલો	લાલ
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	475	વાદળી	પીળો-નારંગી
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$	310	પારજાંબલી	આછો પીળો
$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$	600	લાલ	વાદળી
$[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$	498	વાદળી-લીલો	જાંબલી

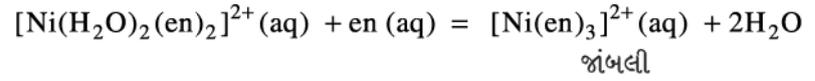
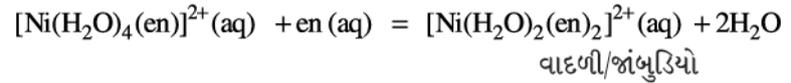
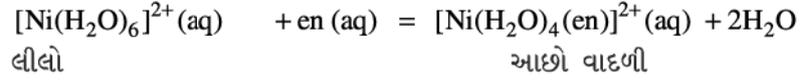
સવર્ગ સંયોજનોમાં રંગ ઝડપથી સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંતના પર્યાયમાં સમજાવી શકાય. ઉદાહરણ તરીકે ધ્યાનમાં લો : સંકીર્ણ  $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  જે જાંબલી રંગનો છે. આ અષ્ટફલકીય સંકીર્ણ એકાકી ઇલેક્ટ્રોન ( $\text{Ti}^{3+} 3d^1$  પ્રણાલી છે), ધાતુમાં સંકીર્ણની ધરાવસ્થામાં  $t_{2g}$  સ્તરમાં પ્રાપ્ય છે. પછીની ઊંચી અવસ્થા જે ઇલેક્ટ્રોન માટે પ્રાપ્ય છે તે ખાલી  $e_g$  સ્તરમાં છે. જો સંકીર્ણ વડે વાદળી-લીલા ગાળાને અનુરૂપ પ્રકાશ શોષવામાં આવે, તો તે ઇલેક્ટ્રોન  $t_{2g}$  સ્તરમાંથી  $e_g$  સ્તરમાં ઉત્તેજિત કરશે ( $t_{2g}^1 e_g^0 \rightarrow t_{2g}^0 e_g^1$ ) પરિણામે સંકીર્ણ રંગમાં જાંબલી રંગનો દેખાય છે (આકૃતિ 9.10). સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત સવર્ગ સંયોજનોના રંગમાં ઇલેક્ટ્રોન  $d-d$  સંક્રમણનું નિદર્શન (attributes) કરે છે.



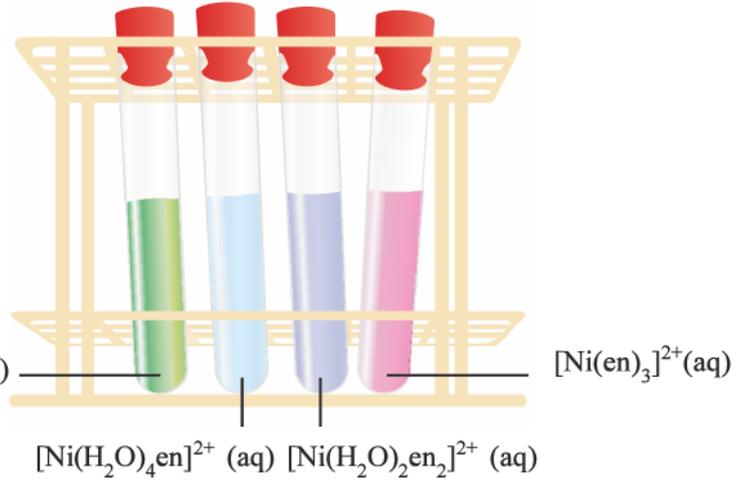
આકૃતિ 9.10 :  $[Ti(H_2O)_6]^{3+}$  માં ઇલેક્ટ્રોનનું સંક્રમણ

એ નોંધવું અગત્યનું છે કે લિગેન્ડની ગેરહાજરીમાં સ્ફટિક ક્ષેત્ર વિપાટન થતું નથી અને તેથી પદાર્થ રંગવિહીન છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $[Ti(H_2O)_6]Cl_3$  ને ગરમ કરતાં પાણી દૂર થવાના કારણે તે રંગવિહીન બને છે, તે જ પ્રમાણે નિર્જળ  $CuSO_4$  સફેદ છે પરંતુ  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  રંગે વાદળી છે. સંકીર્ણના રંગ ઉપર લિગેન્ડની અસર  $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$

સંકીર્ણને ઉદાહરણરૂપ લઈ દર્શાવી શકાય. જ્યારે નિકલ(II) ક્લોરાઇડને પાણીમાં ઓગાળવામાં આવે છે ત્યારે  $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$  બને છે. જોકે દ્વિદંતી લિગેન્ડ ઇથેન-1,2-ડાયએમાઇનને(en) ધીમે ધીમે ઉમેરતાં en:Niનો મોલર ગુણોત્તર 1:1, 2:1, 3:1 થાય તે પ્રમાણે પ્રક્રિયાઓની નીચેની શ્રેણી બને છે અને તેમની સાથે સંકળાયેલ (associated) રંગમાં ફેરફાર થાય છે.



આ ક્રમ આકૃતિ 9.11માં દર્શાવેલ છે.



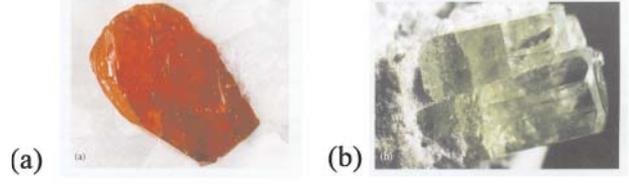
આકૃતિ 9.11 :

ઇથેન-1,2-ડાયએમાઇન લિગેન્ડની વધતી જતી સંખ્યા સાથેના નિકલ (II)ના સંકીર્ણ સંયોજનોના જલીય દ્રાવણો

### કેટલાક જેમ સ્ટોનના રંગ

આપણા રોજિંદા જીવનમાં સંક્રાંતિ ધાતુ આયનોની  $d$ -કક્ષકોમાં ઇલેક્ટ્રોનીય સંક્રમણથી પેદા થતા રંગ અવારનવાર જોવા મળે છે. માણેક [આકૃતિ 9.12(a)] 0.5 - 1 %  $Cr^{3+}$  આયન ( $d^3$ ) ધરાવતાં એલ્યુમિનિયમ ઓક્સાઇડ ( $Al_2O_3$ ) છે જે  $Al^{3+}$  આયન વડે સામાન્ય રીતે રોકાયેલ સ્થાનમાં અસ્તવ્યસ્ત રીતે વહેંચાયેલા હોય છે આપણે આને એલ્યુમિનિયમમાં સમાવિષ્ટ અષ્ટફલકીય કોબાલ્ટ(III) સંકીર્ણમાં કોબાલ્ટ (III) તરીકે વિચારી શકીએ (સમજાવી શકીએ). આ કેન્દ્રોમાં

$d-d$  સંક્રાંતિ રંગ ઉત્પન્ન કરે છે પન્નામાં [આકૃતિ 9.12(b)]  $Cr^{3+}$  આયન ખનીજ બેરિલ ( $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ )માં અષ્ટફલકીય સ્થાનોમાં ભરાય છે. માણેકમાંના અવશોષણ પટ્ટા વધારે ઊંચી તરંગલંબાઈવાળો પીળો-લાલ અને વાદળીમાં ખસે છે અને તેને કારણે પન્ના લીલા રંગના ગાળામાંથી પ્રકાશ પસાર કરે છે.



આકૃતિ 9.12 : (a) માણેક : આ જેમ સ્ટોન મોગોક (mogok), મ્યાનમાર(Myanmar)માં આરસપહાણ (marble) તરીકે મળેલો. (b) પન્ના : આ જેમ સ્ટોન મ્યુઝો (muzo), કોલમ્બિયા- (Columbia)માં મળી આવ્યો હતો.

### 9.5.6 સ્ફટિકક્ષેત્ર સિદ્ધાંતની મર્યાદાઓ (Limitations of Crystal Field Theory)

સ્ફટિક ક્ષેત્ર નમૂનો સવર્ગ સંયોજનોની બનાવટ, રચના, રંગ અને ચુંબકીય ગુણધર્મો સમજાવવામાં મહદંશે સફળ રહ્યો છે. પરંતુ, લિગેન્ડ બિંદુ ભાર છે એ ધારણા પરથી એમ અનુસરે છે કે ઋણભારીય લિગેન્ડ વધારે વિપાટન અસર દર્શાવવી જોઈએ. ઋણભારીય લિગેન્ડ સ્પેક્ટ્રમી રાસાયણિક શ્રેણી (spectrochemical series)ના નીચેના છેડામાં મળી આવે છે. વળી તે લિગેન્ડ અને મધ્યસ્થ પરમાણુ વચ્ચે બંધનની સહસંયોજક ખાસિયતને ધ્યાનમાં લેતો નથી. આ CFTની કેટલીક નબળાઈઓ છે જેને લિગેન્ડ ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત (LFT) અને આણ્વીય કક્ષક સિદ્ધાંત દ્વારા સમજાવી શકાય છે જેનો અભ્યાસ વર્તમાન અભ્યાસની શક્યતા(અવકાશ)થી પર છે.

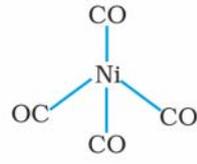
### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 9.5 સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંતને આધારે સમજાવો કે  $[Ni(CN)_4]^{2-}$  આયન જે સમતલીયચોરસ રચના ધરાવે છે. તે પ્રતિચુંબકીય છે અને  $[NiCl_4]^{2-}$  આયન જે સમચતુષ્ફલકીય ભૂમિતિ ધરાવે છે તે અનુચુંબકીય છે.
- 9.6 આ બંને સંકીર્ણો સમચતુષ્ફલકીય છે છતાં પણ  $[NiCl_4]^{2-}$  અનુચુંબકીય છે જ્યારે  $[Ni(CO)_4]$  પ્રતિચુંબકીય છે. શા માટે?
- 9.7  $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$  આ અતિપ્રબળ અનુચુંબકીય છે જ્યારે  $[Fe(CN)_6]^{3-}$  નિર્બળ અનુચુંબકીય છે. સમજાવો.
- 9.8 સમજાવો કે  $[Co(NH_3)_6]^{3+}$  આંતરકક્ષકીય સંકીર્ણ છે જ્યારે  $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$  બાહ્યકક્ષકીય સંકીર્ણ છે.
- 9.9 સમતલીયચોરસ  $[Pt(CN)_4]^{2-}$  સંકીર્ણમાં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યાનું અનુમાન કરો.
- 9.10 હેક્ઝાએકવો મેંગેનીઝ(II) આયન પાંચ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે જ્યારે હેક્ઝાસાયનો આયન માત્ર એક જ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે. સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરી સમજાવો.

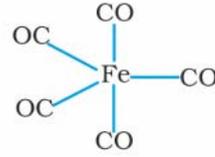
### 9.6 ધાતુ કાર્બોનિલમાં બંધન (Bonding in Metal Carbonyls)

હોમોલેપ્ટિક (homoleptic) કાર્બોનિલ (માત્ર કાર્બોનિલ લિગેન્ડ ધરાવતાં જ સંયોજનો) સંયોજનો મોટા ભાગની સંક્રાંતિ ધાતુઓ સાથે બને છે (રચાય છે). આ કાર્બોનિલ સાદા, ખૂબ સ્પષ્ટ બંધારણ ધરાવતા હોય છે. ટેટ્રાકાર્બોનિલ નિકલ (0) સમચતુષ્ફલક છે. પેન્ટાકાર્બોનિલ આયર્ન (0) ત્રિકોણીય દ્વિપિરામીડલ છે જ્યારે હેક્ઝાકાર્બોનિલ ક્રોમિયમ (0) અષ્ટફલકીય છે.

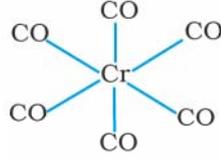
હેક્ઝાકાર્બોનિલડાયમેંગેનીઝ(0) બે ચોરસ પિરામીડલ  $Mn(CO)_5$  એકમોના Mn - Mn બંધ જોડાવાથી બને છે. ઓક્ટાકાર્બોનિલડાયકોબાલ્ટ(0)ને Co-Co બંધન બે CO સમૂહ વડે સેતુરચનાથી જોડાયેલો હોય છે (આકૃતિ 9.13).



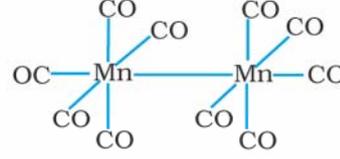
[Ni(CO)<sub>4</sub>]  
સમચતુષ્ફલકીય



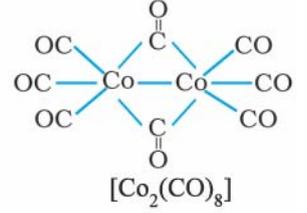
[Fe(CO)<sub>5</sub>]  
ત્રિકોણીય દ્વિપિરામીડલ



[Cr(CO)<sub>6</sub>]  
અષ્ટફલકીય



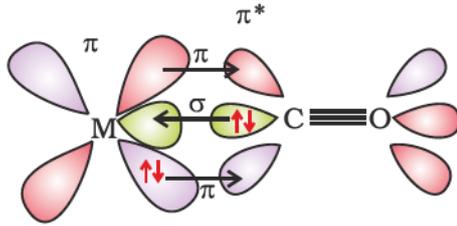
[Mn<sub>2</sub>(CO)<sub>10</sub>]



[Co<sub>2</sub>(CO)<sub>8</sub>]

આકૃતિ 9.13 :

હોમોલેપ્ટિક ધાતુ કાર્બોનિલના  
કેટલાક પ્રતિનિધિઓના  
બંધારણ



સંકર્મી (Synergic) બંધન

આકૃતિ 9.14 : કાર્બોનિલ સંકીર્ણમાં સંકર્મી (Synergic) બંધનની  
પારસ્પરિક ક્રિયાનું ઉદાહરણ

ધાતુ કાર્બોનિલમાં ધાતુ-કાર્બન બંધ σ અને π બંને લાક્ષણિકતા ધરાવે છે. M-C σ બંધની રચના ધાતુની ખાલી કક્ષકોમાં કાર્બોનિલ કાર્બનના અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મના દાનથી થાય છે. M-C π બંધની રચના કાર્બન મોનોકસાઈડની ખાલી π\* બંધપ્રતિકારક કક્ષકમાં ધાતુની પૂર્ણ ભરાયેલી d-કક્ષકોના દાનથી થાય છે. ધાતુનું લિગેન્ડ સાથે બંધન સંકર્મ (synergic) અસર ઉત્પન્ન કરે છે જે ધાતુ અને CO વચ્ચેના બંધને સબળ બનાવે છે (આકૃતિ 9.14).

## 9.7 સવર્ગ સંયોજનોની ઉપયોગિતા અને અનુપ્રયોગો (Importance and Applications of Coordination Compounds)

સવર્ગ સંયોજનો ખૂબ જ ઉપયોગી છે. આ સંયોજનો વિશાળ પ્રમાણમાં ખનીજ, વનસ્પતિ અને પ્રાણી જગતમાં હાજર છે અને તેઓ વૈશ્લેષિક રસાયણશાસ્ત્ર, ધાતુકર્મવિધિ, જૈવિક પ્રણાલી, ઉદ્યોગ અને ઔષધમાં ઘણા અગત્યનાં કાર્યો કરે છે તે માટે જાણીતા છે. આનું નીચે વર્ણન કરવામાં આવેલ છે.

- સવર્ગ સંયોજનો ઘણા ગુણાત્મક અને જથ્થાત્મક રાસાયણિક વિશ્લેષણમાં (પૃથક્કરણ) ઉપયોગી જણાયા છે. ધાતુ આયનની ઘણા લિગેન્ડ (ખાસ કરીને કિલેટિંગકારક (chelating agent)) સાથેની રંગ આપવાની પૃથક્કરણની પ્રક્રિયાઓ જે સવર્ગ સ્પિસીઝની રચનાનું પરિણામ છે અને આ બાબત ચિરસંમત (classical) અને ઉપકરણીય પદ્ધતિ દ્વારા થતી ધાતુની પરખ અને પરિમાપન માટે પાયો બને છે. આવા પ્રક્રિયકોના ઉદાહરણોમાં EDTA, DMG, (ડાયમિથાઈલ ગ્લાયોકઝાઈમ), α-નાઈટ્રોસો- β-નેપ્થોલ, ક્યુપ્રોન વગેરેનો સમાવેશ થાય છે.
- પાણીની કઠિનતાનું પરિમાપન Na<sub>2</sub>EDTA સાથેના સરળ અનુમાપનથી કરી શકાય છે. Ca<sup>2+</sup> અને Mg<sup>2+</sup> આયન EDTA સાથે સ્થાયી સંકીર્ણ બનાવે છે. આ આયનોનું વરણાત્મક (selective) પરિમાપન કેલ્શિયમ અને મેગ્નેશિયમના સ્થાયીતા અચળાંક વચ્ચેના તફાવતને કારણે કરી શકાય છે.
- ધાતુઓના કેટલાક અગત્યના નિષ્કર્ષણ પ્રક્રમમાં (દા.ત., સિલ્વર અને ગોલ્ડમાં) સંકીર્ણની રચનાનો ઉપયોગ થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, ગોલ્ડ ઓક્સિજન અને પાણીની હાજરીમાં સાયનાઈડ સાથે સંયોજાય છે અને સંકીર્ણ સ્પિસીઝ [Au(CN)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> જલીય દ્રાવણમાં રચાય છે. ગોલ્ડને ધાત્વીય રૂપે આ દ્રાવણમાં ઝિંકનું ઉમેરણ કરીને અલગ કરી શકાય છે (એકમ 6).
- એ જ પ્રમાણે, ધાતુઓનું શુદ્ધીકરણ, સવર્ગ સંયોજનોના નિર્માણ અને ત્યારબાદ તેમના વિઘટનથી હાંસલ કરી શકાય છે.

ઉદાહરણ તરીકે, અશુદ્ધ નિકલને  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ માં પરિવર્તિત કરવામાં આવે છે. જેનું વિઘટન કરવાથી શુદ્ધ નિકલ મળે છે.

- સવર્ગ સંયોજનો જૈવિક પ્રણાલીમાં ખૂબ જ અગત્યના છે. પ્રકાશસંશ્લેષણ માટે જવાબદાર વર્ણક (pigment), ક્લોરોફિલ મેગ્નેશિયમનું સવર્ગ સંયોજન છે. હીમોગ્લોબિન, લોહીનો લાલ વર્ણક જે ઓક્સિજનનાં વાહક તરીકે કાર્ય કરે છે તે આયર્નનું સવર્ગ સંયોજન છે. વિટામિન  $B_{12}$ , સાયનોકોબાલેમાઈન પ્રણાશી (antipernicious), રક્તઅલ્પતા (anaemia) કારક (factor) કોબાલ્ટનું સવર્ગ સંયોજન છે. ધાતુ આયન સાથે સવર્ગ થયેલા જૈવિક અગત્યના અન્ય સંયોજનોમાં ઉત્સેચક જેવાં કે, કાર્બોક્સિપેપ્ટીડેઝ A અને કાર્બોનિક એન્હાઇડ્રેઝ (જૈવિક પ્રણાલીના ઉદ્દીપકો).
- સવર્ગ સંયોજનો ઘણા ઔદ્યોગિક પ્રક્રમમાં ઉદ્દીપક તરીકે વપરાય છે. ઉદાહરણોમાં રહોડિયમ સંકીર્ણ  $[(\text{Ph}_3\text{P})_3\text{RhCl}]$  વિલ્કિનસન (Wilkinson) ઉદ્દીપક આલ્કીનના હાઈડ્રોજનીકરણમાં વપરાય છે.
- વસ્તુઓને સંકીર્ણ દ્રાવણો  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$  અને  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ માંથી સિલ્વર અને ગોલ્ડ વડે લીસો અને એક્સરખો વિદ્યુત ઢોળ ચઢાવી શકાય છે. જે સાદા ધાતુ આયનના દ્રાવણ કરતાં વધારે સારો હોય છે.
- શ્યામ અને શ્વેત ફોટોગ્રાફીમાં, ડેવલપ (developed) કરેલી ફિલ્મને હાયપોના (hypo) દ્રાવણ વડે ધોઈને સ્થિરીકરણ (fixation) કરી શકાય છે, જે અવિઘટિત  $\text{AgBr}$ ને ઓગાળી નાંખે છે અને સંકીર્ણ આયન  $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$  બનાવે છે.
- ઔષધીય રસાયણશાસ્ત્રમાં કિલેટ ચિકિત્સામાં(therapy) રસ વધતો જાય છે. આનું ઉદાહરણ વનસ્પતિ/પ્રાણી પ્રણાલીમાં ધાતુઓનું વિષાલુ પ્રમાણને કારણે ઉદ્ભવતી સમસ્યામાં(problems) સારવાર છે. કોપર અને આયર્નનો વધારો કિલેટિંગ લિગેન્ડ D-પેનિસિલેમાઈન અને ડેસફેરોકઝાઈમ B વડે સવર્ગ સંયોજનની રચના દ્વારા દૂર કરી શકાય છે. EDTAનો લેડના વિષાલુકરણની સારવારમાં ઉપયોગ થાય છે. પ્લેટિનમના કેટલાક સવર્ગ સંયોજનો અસરકારક રીતે ગાંઠની વૃદ્ધિમાં નિરોધક તરીકે કાર્ય કરે છે. ઉદાહરણો છે સિસ-પ્લેટિન અને સંબંધિત સંયોજનો.

## સારાંશ

સવર્ગ સંયોજનોનું રસાયણશાસ્ત્ર આધુનિક અકાર્બનિક રસાયણશાસ્ત્રનું એક અગત્યનું અને પડકારરૂપ ક્ષેત્ર છે. છેલ્લા પચાસ વર્ષમાં, આ ક્ષેત્રમાંની પ્રગતિએ નવા સંકલ્પોના વિકાસ માટે અને બંધનના નમૂનાઓ અને આણ્વીય બંધારણ, રાસાયણિક ઉદ્યોગમાં અને જૈવિક પ્રણાલીમાં ક્રાંતિક ઘટકોની કારકતા (functioning) નવીન ફેરફારો (break through) વગેરે પૂરા પાડ્યા છે.

સવર્ગ સંયોજનોની બનાવટ, પ્રક્રિયાઓ, બંધારણ અને બંધનને સમજાવતો સૌપ્રથમ પ્રયત્ન આલ્ફેડ વર્નરે કર્યો હતો. તેમના સિદ્ધાંતે સવર્ગ સંયોજનમાં ધાતુ પરમાણુ / આયન ધરાવતા બંધન (linkage) (પ્રાથમિક અને દ્વિતીયક) વિષે અભિધારણાઓ રજૂ કરી. રસાયણશાસ્ત્રની આધુનિક ભાષામાં આ બંધનોને આયનીકરણ પામે તેવી (આયનીય) અને બિનઆયનીકરણ પામે તેવા (સહસંયોજક) બંધન તરીકે અનુક્રમે ઓળખાવ્યા. સમઘટીકરણના ગુણધર્મોનો ઉપયોગ કરીને વર્નરે ઘણા બધા સવર્ગ સંયોજનોના ભૌમિતિક આકાર વિશે પ્રાકૃતિક કર્યું.

સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંતે (VBT) સવર્ગ સંયોજનોની બનાવટ, ચુંબકીય વર્તણૂક અને ભૌમિતિક આકારોને વિવેકબુદ્ધિયુક્ત (reasonable) સફળતા સાથે સમજાવ્યા. જોકે તેને ચુંબકીય વર્તણૂકના જથ્થાત્મક અર્થઘટન વિશે પણ કંઈ કહેવાનું હતું નહિ.

સવર્ગ સંયોજન અંગેનો સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત (CFT) મધ્યસ્થ ધાતુ / આયનની *d*-કક્ષકોના સમશક્તિપણ (degeneracy) પર જુદા જુદા સ્ફટિકમય ક્ષેત્ર લિગેન્ડ (જેમને બિંદુ ભાર તરીકે ગણવા છે)

દ્વારા થતી અસર આધારિત છે.  $d$ -કક્ષકોનું વિપાટન (splitting) પ્રબળ અને નિર્બળ સ્ફટિક ક્ષેત્રની હાજરીમાં જુદી જુદી ઇલેક્ટ્રોનીય ગોઠવણી સમજાવે છે. આનો અભ્યાસ કક્ષકીય અલગીકરણ ઊર્જા, ચુંબકીય ચાકમાત્રા અને વર્ણપટીય તથા સ્થાયીતા પ્રાયલોના જથ્થાત્મક પરિમાપનો પૂરા પાડે છે. તેમ છતાં, એ ધારણા કે લિગેન્ડ બિંદુ ભાર ધરાવે છે તે ઘણી સૈદ્ધાંતિક મુશ્કેલીઓને ઊભી કરે છે.

ધાતુ-કાર્બોનિલમાં ધાતુ-કાર્બન બંધ  $\sigma$  અને  $\pi$  બંને લાક્ષણિકતા ધરાવે છે. લિગેન્ડનો ધાતુ સાથે  $\sigma$  બંધ છે અને ધાતુનો લિગેન્ડ સાથે  $\pi$  બંધ છે. આ વિશિષ્ટ સંકર્મી (synergic) બંધન ધાતુ કાર્બોનિલને સ્થાયીતા પૂરી પાડે છે.

સવર્ગ સંયોજનો ખૂબ જ અગત્યના છે. આ સંયોજનો પ્રાણીજ પ્રણાલીના જીવનાવશ્યક (vital) ઘટકોની રચના તથા કારકતામાં (functioning) ક્રાંતિક ઊંડી સમજ પૂરી પાડે છે. સવર્ગ સંયોજનો આ ઉપરાંત ધાતુકર્મવિધિ પ્રક્રમમાં, વૈશ્લેષિક અને ઔષધીય રસાયણશાસ્ત્રમાં વિશાળ અનુપ્રયોગો ધરાવે છે.

## સ્વાધ્યાય

- 9.1 વર્નરની અભિધારણાઓના પર્યાયમાં સવર્ગ સંયોજનોમાં બંધન સમજાવો.
- 9.2  $\text{FeSO}_4$  ના દ્રાવણને  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ના દ્રાવણ સાથે 1 : 1 મોલર પ્રમાણમાં મિશ્ર કરવામાં આવે છે ત્યારબાદ તે  $\text{Fe}^{2+}$  આયનની પરખ (કસોટી) આપે છે; જ્યારે  $\text{CuSO}_4$  ના દ્રાવણને જલીય એમોનિયા સાથે 1 : 4 મોલર પ્રમાણમાં મિશ્ર કરવામાં આવે છે ત્યારે  $\text{Cu}^{2+}$  આયનની પરખ (કસોટી) આપતું નથી. સમજાવો, શા માટે ?
- 9.3 નીચેનામાંથી દરેકના બે બે ઉદાહરણ આપી સમજાવો. સવર્ગ સ્પિસીઝ લિગેન્ડ, સવર્ગ આંક, સવર્ગ પોલિહેલ્ડ્રોન હોમોલેપ્ટિક અને હીટરોલેપ્ટિક.
- 9.4 એકદંતી, દ્વિદંતી અને એમ્બિડેન્ટેટ (ambidentate) લિગેન્ડનો શું અર્થ થાય છે ? દરેકના બે ઉદાહરણ આપો.
- 9.5 નીચેની સવર્ગ સ્પિસીઝમાં ધાતુનો ઓક્સિડેશન આંક નિર્દેશો :
 

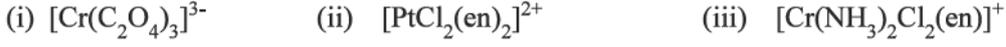
(i) $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})(\text{CN})(\text{en})_2]^{2+}$	(ii) $[\text{CoBr}_2(\text{en})_2]^+$	(iii) $[\text{PtCl}_4]^{2-}$
(iv) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	(v) $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]$	
- 9.6 IUPAC નિયમોનો ઉપયોગ કરી નીચેનાના સૂત્રો લખો :
 

(i) ટ્રાહાઇડ્રોક્સોઝિંકેટ(II)	(vi) હેક્ઝાઅમ્માઇનકોબાલ્ટ(III) સલ્ફેટ
(ii) પોટેશિયમ ટ્રાકલોરાઇડોપેલેડેટ(II)	(vii) પોટેશિયમ ટ્રાય(ઓકઝેલેટો)કોમેટ(III)
(iii) ડાયઅમ્માઇનડાયકલોરોઇડોપ્લેટિનમ(II)	(viii) હેક્ઝાઅમ્માઇનપ્લેટિનમ(IV)
(iv) પોટેશિયમ ટ્રાસાયનાઇડોનિકલેટ(II)	(ix) ટ્રાઇબ્રોમાઇડોક્યુપ્રેટ(II)
(v) પેન્ટાઅમ્માઇનનાઇટ્રાઇટો-ઓ-કોબાલ્ટ(III)	(x) પેન્ટાઅમ્માઇનનાઇટ્રાઇટો-N-કોબાલ્ટ(III)
- 9.7 IUPAC નિયમોનો ઉપયોગ કરી નીચેનાના પદ્ધતિસર નામ લખો :
 

(i) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$	(iv) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}(\text{NO}_2)]\text{Cl}$	(vii) $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$
(ii) $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}(\text{NH}_2\text{CH}_3)]\text{Cl}$	(v) $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$	(viii) $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$
(iii) $\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$	(vi) $[\text{NiCl}_4]^{2-}$	(ix) $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$
- 9.8 દરેકનું એક ઉદાહરણ આપી સવર્ગ સંયોજનોમાં શક્ય સમઘટકતાના જુદા જુદા પ્રકારની યાદી બનાવો.
- 9.9 નીચેની સવર્ગ સ્પિસીઝમાં ભૌમિતિક સમઘટક શક્ય છે ?
 

(i) $[\text{Cr}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$	(ii) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]$
--	--

9.10 નીચેનાના પ્રકાશીય સમઘટકોના બંધારણો દોરો :



9.11 નીચેનાના બધા જ સમઘટકો (ભૌમિતિક અને પ્રકાશીય) દોરો :



9.12  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)(\text{Br})(\text{Cl})(\text{py})]$ ના બધા ભૌમિતિક સમઘટકો દોરો અને આમાંના કેટલા પ્રકાશીય સમઘટકતા પ્રદર્શિત કરશે ?

9.13 જલીય કોપર સલ્ફેટ રંગીન દ્રાવણ (રંગમાં વાદળી) .....

(i) જલીય પોટેશિયમ ફ્લોરાઇડ સાથે લીલા અવક્ષેપ આપે છે અને

(ii) જલીય પોટેશિયમ ક્લોરાઇડ સાથે તેજસ્વી લીલું દ્રાવણ આપે છે. આ પ્રાયોગિક પરિણામો સમજાવો.

9.14 કોપર સલ્ફેટના જલીય દ્રાવણમાં વધુ પ્રમાણમાં જલીય KCN ઉમેરવામાં આવે ત્યારે બનતી સંકીર્ણ સ્પિસીઝ કઈ હશે ? જ્યારે  $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$  આ દ્રાવણમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે કોપર સલ્ફાઇડના અવક્ષેપ શા માટે મળતા નથી ?

9.15 સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંતના આધારે નીચેની સર્વગ સ્પિસીઝમાં બંધનની ચર્ચા કરો :



9.16 અષ્ટલકીય સ્ફટિક ક્ષેત્રમાં  $d$ -કક્ષકોનું વિપાટન દર્શાવતી આકૃતિ દોરો.

9.17 સ્પેક્ટ્રમીરાસાયણિક શ્રેણી શું છે ? નિર્બળ ક્ષેત્ર લિગેન્ડ અને પ્રબળ ક્ષેત્ર લિગેન્ડ વચ્ચે તફાવત સમજાવો.

9.18 સ્ફટિકક્ષેત્ર વિપાટન ઊર્જા શું છે ?  $\Delta_0$ ની માત્રા સર્વગ સ્પિસીઝમાં  $d$ -કક્ષકોની વાસ્તવિક (actual) રચના કેવી રીતે નક્કી કરે છે ?

9.19  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  અનુયુબકીય છે જ્યારે  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$  પ્રતિયુબકીય છે. સમજાવો શા માટે ?

9.20  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ નું દ્રાવણ લીલા રંગનું છે પરંતુ  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ નું દ્રાવણ રંગવિહીન છે સમજાવો.

9.21  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  અને  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  મંદ દ્રાવણમાં જુદા જુદા રંગના હોય છે. શા માટે ?

9.22 ધાતુ કાર્બોનિલમાં બંધનના સ્વભાવની(પ્રકૃતિ) ચર્ચા કરો.

9.23 નીચેના સંકીર્ણોમાં ઓક્સિડેશન અવસ્થા,  $d$ -કક્ષકોમાં ભરણ (occupation) અને મધ્યસ્થ ધાતુ આયનનો સર્વગ આંક જણાવો :



9.24 નીચેના સંકીર્ણોમાંના દરેકના IUPAC નામ લખો અને ઓક્સિડેશન અવસ્થા, ઇલેક્ટ્રોનીય રચના અને સર્વગ આંક સૂચવો અને સંકીર્ણનું અવકાશ રસાયણ અને યુબકીય યાકમાત્રા જણાવો :



9.25 દ્રાવણમાં સર્વગ સંયોજનની સ્થાયીતાનો અર્થ શું છે ? સંકીર્ણની સ્થાયીતાનું નિયંત્રણ કરતા પરિબળો જણાવો.

9.26 ક્રિલેટ અસરનો અર્થ શું છે ? ઉદાહરણ આપો.

9.27 નીચેનામાંના દરેકમાં સર્વગ સંયોજનોનો ફાળો (ભાગ)(role) ઉદાહરણ આપી ટૂંકમાં ચર્ચા કરો :

(i) જૈવિક પ્રણાલી      (iii) વૈશ્લેષિક રસાયણશાસ્ત્ર

(ii) ઔષધીય રસાયણશાસ્ત્ર      (iv) ધાતુઓનું નિષ્કર્ષણ/ ધાતુકર્મવિધિ

- 9.28  $\text{Co}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_2$  સંકીર્ણ દ્વારા દ્રાવણમાં કેટલા આયનો નીપજશે ?  
 (i) 6 (ii) 4 (iii) 3 (iv) 2
- 9.29 નીચેના આયનોમાંથી કયા આયનનું ચુંબકીય ચાકમાત્રાનું મૂલ્ય સૌથી ઊંચું (વધારે) હશે ?  
 (i)  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  (ii)  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  (iii)  $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$
- 9.30  $\text{K}[\text{Co}(\text{CO})_4]$ માં કોબાલ્ટનો ઓક્સિડેશન આંક કેટલો છે.  
 (i) +1 (ii) +3 (iii) -1 (iv) -3
- 9.31 નીચેનામાંથી સૌથી વધુ સ્થાયી સંકીર્ણ કયું છે ?  
 (i)  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  (ii)  $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  (iii)  $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$  (iv)  $[\text{FeCl}_6]^{3-}$
- 9.32 નીચેના માટે દૃશ્યમાન ગાળામાં(region) શોષણની તરંગલંબાઈનો સાચો ક્રમ શું હશે ?  
 $[\text{Ni}(\text{NO}_2)_6]^{4-}$ ,  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ,  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$

### લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

- 9.1 (i)  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]\text{Cl}_3$  (iv)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)\text{BrCl}(\text{NO}_2)]^-$   
 (ii)  $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$  (v)  $[\text{PtCl}_2(\text{en})_2] (\text{NO}_3)_2$   
 (iii)  $[\text{Cr}(\text{en})_3]\text{Cl}_3$  (vi)  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
- 9.2 (i) હેક્ઝાઅમ્માઈનકોબાલ્ટ(III) ક્લોરાઈડ  
 (ii) પેન્ટાઅમ્માઈનક્લોરાઈડોકોબાલ્ટ(III) ક્લોરાઈડ  
 (iii) પોટેશિયમ હેક્ઝાસાયનાઈડોફેરેટ(III)  
 (iv) પોટેશિયમ ટ્રાયઓક્સોલેટોફેરેટ(III)  
 (v) પોટેશિયમ ટેટ્રાક્લોરાઈડોપેલેડેટ(II)  
 (vi) ડાયઅમ્માઈનક્લોરાઈડો(મિથેનેમાઈન)પ્લેટિનમ(II) ક્લોરાઈડ
- 9.3 (i) બંને ભૌમિતિક (સિસ, ટ્રાન્સ) અને સિસ માટે પ્રકાશીય સમઘટકો અસ્તિત્વ ધરાવશે.  
 (ii) બે પ્રકાશીય સમઘટકો અસ્તિત્વ ધરાવી શકે છે.  
 (iii) 10 શક્ય સમઘટકો હોય છે. (સંકેત : ભૌમિતિક, આયનીકરણ અને બંધન સમઘટકો શક્ય છે).  
 (iv) ભૌમિતિક (સિસ, ટ્રાન્સ) સમઘટકો અસ્તિત્વ ધરાવી શકે છે.
- 9.4 આયનીકરણ સમઘટકો પાણીમાં ઓગળે છે અને જુદા જુદા આયનો નીપજે છે અને આથી જુદા જુદા પ્રક્રિયકો સાથે જુદી જુદી રીતે વર્તે છે :  
 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{SO}_4 + \text{Ba}^{2+} \rightarrow \text{BaSO}_4 (\text{s})$   
 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]\text{Cl} + \text{Ba}^{2+} \rightarrow$  પ્રક્રિયા થતી નથી.  
 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{SO}_4 + \text{Ag}^+ \rightarrow$  પ્રક્રિયા થતી નથી.  
 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]\text{Cl} + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{AgCl} (\text{s})$
- 9.6  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ માં Ni શૂન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં છે જ્યારે  $[\text{NiCl}_4]^{2-}$ માં તે +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવે છે. CO લિગેન્ડની હાજરીમાં Niના અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની જોડ યુગ્મન કરે છે પરંતુ Cl નિર્બળ લિગેન્ડ હોવાથી અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની જોડનું યુગ્મન કરવા અશક્તિમાન છે.
- 9.7  $\text{CN}^-$  ની (પ્રબળ લિગેન્ડ) હાજરીમાં 3d-ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મન કરે છે અને માત્ર એક અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન છોડી જાય છે. સંકરણ  $d^2sp^3$  પ્રકારના આંતરિક કક્ષક સંકીર્ણનું નિર્માણ કરે છે.  $\text{H}_2\text{O}$ ની હાજરીમાં  $\text{H}_2\text{O}$  (નિર્બળ લિગેન્ડ) 3d-ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મન કરી શકતા નથી. આ સંકરણ  $sp^3d^2$  પ્રકારનું હોઈ બાહ્ય કક્ષક સંકીર્ણ રચે છે અને પાંચ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે. તેથી તે પ્રબળ અનુચુંબકીય છે.
- 9.8  $\text{NH}_3$ ની હાજરીમાં 3d-ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મન કરે છે અને બે d-કક્ષકો ખાલી છોડે છે જે  $d^2sp^3$  સંકરણનો સમાવેશ કરી  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ના કિસ્સામાં આંતરિક કક્ષકીય સંકીર્ણ રચે છે.

$\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$  માં Ni +2 ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં છે અને તેને  $d^8$  રચના છે. સંકરણ  $sp^3d^2$  કક્ષકોનો સમાવેશ કરે છે અને બાહ્ય કક્ષકીય સંકીર્ણની રચના કરે છે.

9.9 સમતલીયચોરસ આકાર માટે, સંકરણ  $dsp^2$  હોય છે. આથી,  $5d$  કક્ષકોમાં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મન કરે છે અને એક  $d$ -કક્ષક  $dsp^2$  સંકરણ માટે ખાલી રાખે છે. આથી એક પણ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન હોતો નથી.

તત્ત્વો, તેમના પરમાણ્વીય ક્રમાંક અને મોલર દળ

તત્ત્વ	સંજ્ઞા	પરમાણ્વીય ક્રમાંક	મોલર દળ (g mol <sup>-1</sup> )
Actinium	Ac	89	227.03
Aluminium	Al	13	26.98
Americium	Am	95	(243)
Antimony	Sb	51	121.75
Argon	Ar	18	39.95
Arsenic	As	33	74.92
Astatine	At	85	210
Barium	Ba	56	137.34
Berkelium	Bk	97	(247)
Beryllium	Be	4	9.01
Bismuth	Bi	83	208.98
Bohrium	Bh	107	(264)
Boron	B	5	10.81
Bromine	Br	35	79.91
Cadmium	Cd	48	112.40
Caesium	Cs	55	132.91
Calcium	Ca	20	40.08
Californium	Cf	98	251.08
Carbon	C	6	12.01
Cerium	Ce	58	140.12
Chlorine	Cl	17	35.45
Chromium	Cr	24	52.00
Cobalt	Co	27	58.93
Copper	Cu	29	63.54
Curium	Cm	96	247.07
Dubnium	Db	105	(263)
Dysprosium	Dy	66	162.50
Einsteinium	Es	99	(252)
Erbium	Er	68	167.26
Europium	Eu	63	151.96
Fermium	Fm	100	(257.10)
Fluorine	F	9	19.00
Francium	Fr	87	(223)
Gadolinium	Gd	64	157.25
Gallium	Ga	31	69.72
Germanium	Ge	32	72.61
Gold	Au	79	196.97
Hafnium	Hf	72	178.49
Hassium	Hs	108	(269)
Helium	He	2	4.00
Holmium	Ho	67	164.93
Hydrogen	H	1	1.0079
Indium	In	49	114.82
Iodine	I	53	126.90
Iridium	Ir	77	192.2
Iron	Fe	26	55.85
Krypton	Kr	36	83.30
Lanthanum	La	57	138.91
Lawrencium	Lr	103	(262.1)
Lead	Pb	82	207.19
Lithium	Li	3	6.94
Lutetium	Lu	71	174.96
Magnesium	Mg	12	24.31
Manganese	Mn	25	54.94
Meitneium	Mt	109	(268)
Mendelevium	Md	101	258.10

તત્ત્વ	સંજ્ઞા	પરમાણ્વીય ક્રમાંક	મોલર દળ (g mol <sup>-1</sup> )
Mercury	Hg	80	200.59
Molybdenum	Mo	42	95.94
Neodymium	Nd	60	144.24
Neon	Ne	10	20.18
Neptunium	Np	93	(237.05)
Nickel	Ni	28	58.71
Niobium	Nb	41	92.91
Nitrogen	N	7	14.0067
Nobelium	No	102	(259)
Osmium	Os	76	190.2
Oxygen	O	8	16.00
Palladium	Pd	46	106.4
Phosphorus	P	15	30.97
Platinum	Pt	78	195.09
Plutonium	Pu	94	(244)
Polonium	Po	84	210
Potassium	K	19	39.10
Praseodymium	Pr	59	140.91
Promethium	Pm	61	(145)
Protactinium	Pa	91	231.04
Radium	Ra	88	(226)
Radon	Rn	86	(222)
Rhenium	Re	75	186.2
Rhodium	Rh	45	102.91
Rubidium	Rb	37	85.47
Ruthenium	Ru	44	101.07
Rutherfordium	Rf	104	(261)
Samarium	Sm	62	150.35
Scandium	Sc	21	44.96
Seaborgium	Sg	106	(266)
Selenium	Se	34	78.96
Silicon	Si	14	28.08
Silver	Ag	47	107.87
Sodium	Na	11	22.99
Strontium	Sr	38	87.62
Sulphur	S	16	32.06
Tantalum	Ta	73	180.95
Technetium	Tc	43	(98.91)
Tellurium	Tc	52	127.60
Terbium	Tb	65	158.92
Thallium	Tl	81	204.37
Thorium	Th	90	232.04
Thulium	Tm	69	168.93
Tin	Sn	50	118.93
Titanium	Ti	22	47.88
Tungsten	W	74	183.85
Ununbium	Uub	112	(277)
Ununnilium	Uun	110	(269)
Ununium	Uuu	111	(272)
Uranium	U	92	238.03
Vanadium	V	23	50.94
Xenon	Xe	54	131.30
Ytterbium	Yb	70	173.04
Yttrium	Y	39	88.91
Zinc	Zn	30	65.37
Zirconium	Zr	40	91.22

કૌંસમાં દર્શાવેલ મોલરદળનું મૂલ્ય સૌથી વધુ અર્ધ આયુષ્ય ધરાવતા સમસ્થાનિકોનું છે.

દળ અને વજનના સામાન્ય એકમો

**1 pound = 453.59 gram**

1 pound = 453.59 gram = 0.45359 kilogram

1 kilogram = 1000 gram = 2.205 pound

1 gram = 10 decigram = 100 centigram  
= 1000 milligram

1 gram =  $6.022 \times 10^{23}$  atomic mass unit or u

1 atomic mass unit =  $1.6606 \times 10^{-24}$  gram

1 metric tonne = 1000 kilogram  
= 2205 pound

કદના સામાન્ય એકમો

**1 quart = 0.9463 litre**

**1 litre = 1.056 quart**

1 litre = 1 cubic decimetre = 1000 cubic  
centimetre = 0.001 cubic metre

1 millilitre = 1 cubic centimetre = 0.001 litre  
=  $1.056 \times 10^{-3}$  quart

1 cubic foot = 28.316 litre = 29.902 quart  
= 7.475 gallon

ઊર્જાના સામાન્ય એકમો

**1 joule =  $1 \times 10^7$  erg**

1 thermochemical calorie\*\* = 4.184 joule  
=  $4.184 \times 10^7$  erg  
=  $4.129 \times 10^{-2}$  litre-atmosphere  
=  $2.612 \times 10^{19}$  electron volt

1 erg =  $1 \times 10^{-7}$  joule =  $2.390.1 \times 10^{-8}$  calorie

1 electron volt =  $1.6022 \times 10^{-19}$  joule  
=  $1.6022 \times 10^{-12}$  erg  
= 96.487 kJ/mol†

1 litre-atmosphere = 24.217 calories  
= 101.32 joule  
=  $1.0132 \times 10^9$  erg

1 British thermal unit = 1055.06 joule  
=  $1.5506 \times 10^{10}$  erg  
= 252.2 calorie

લંબાઈના સામાન્ય એકમો

**1 inch = 2.54 centimetres (exactly)**

1 mile = 5280 feet = 1.609 kilometre

1 yard = 36 inches = 0.9144 metre

1 metre = 100 centimetre

= 39.37 inches

= 3.281 feet

= 1.094 yard

1 kilometre = 100 metre

= 1094 yard

= 0.6215 mile

1 Angstrom =  $1.0 \times 10^{-8}$  centimetre

= 0.10 nanometre

=  $3.937 \times 10^{-9}$  inch

બળ\* અને દબાણના સામાન્ય એકમો

1 atmosphere = 760 millimetres of mercury

=  $1.013 \times 10^5$  pascal

= 14.70 pounds per square inch

1 bar =  $10^5$  pascal

1 torr = 1 millimetre of mercury

1 pascal =  $1 \text{ kg/ms}^2 = 1 \text{ N/m}^2$

તાપમાન

SI આધારિત એકમ : કેલ્વિન (K)

K =  $-273.15$  °C

K = °C + 273.15

°F =  $1.8(°C) + 32$

°C =  $\frac{°F - 32}{1.8}$

\* બળ : 1 ન્યૂટન (N) =  $1 \text{ kg m/s}^2$ ; એટલે કે બળ એટલે જ્યારે તેને 1 સેકન્ડ માટે લગાડવામાં આવે, તો 1 કિલોગ્રામ દળને 1 મીટર પ્રતિસેકન્ડ જેટલો વેગ આપે છે.

\*\* એક ગ્રામ પાણીના તાપમાનમાં  $14.5$  °C થી  $15.5$  °C ના વધારા માટે જરૂરી ઉષ્માનો જથ્થો.

† નોંધવું જોઈએ કે અન્ય એકમો પ્રતિ કણ છે અને તેઓની સરખામણી કરવા માટે  $6.022 \times 10^{23}$  વડે ગુણવા

298 K तापमाने प्रमाणित पोटेंशियल विद्युत-रसायनिक क्रममां

रिडक्शन-अर्धप्रक्रिया	E° / V	रिडक्शन-अर्धप्रक्रिया	E° / V
$H_4XeO_6 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow XeO_3 + 3H_2O$	+ 3.0	$Pu^{4+} + e^- \rightarrow Pu^{3+}$	+0.97
$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	+2.87	$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO + 2H_2O$	+0.96
$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow O_2 + H_2O$	+2.07	$2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}$	+0.92
$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}$	+2.05	$ClO^- + H_2O + 2e^- \rightarrow Cl^- + 2OH^-$	+0.89
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+1.98	$Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$	+0.86
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	+1.81	$NO_3^- + 2H^+ + e^- \rightarrow NO_2 + H_2O$	+0.80
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.78	$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0.80
$Au^+ + e^- \rightarrow Au$	+1.69	$Hg_2^{2+} + 2e^- \rightarrow 2Hg$	+0.79
$Pb^{4+} + 2e^- \rightarrow Pb^{2+}$	+1.67	$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	+0.77
$2HClO + 2H^+ + 2e^- \rightarrow Cl_2 + 2H_2O$	+1.63	$BrO^- + H_2O + 2e^- \rightarrow Br^- + 2OH^-$	+0.76
$Ce^{4+} + e^- \rightarrow Ce^{3+}$	+1.61	$Hg_2SO_4 + 2e^- \rightarrow 2Hg + SO_4^{2-}$	+0.62
$2HBrO + 2H^+ + 2e^- \rightarrow Br_2 + 2H_2O$	+1.60	$MnO_4^{2-} + 2H_2O + 2e^- \rightarrow MnO_2 + 4OH^-$	+0.60
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.51	$MnO_4^- + e^- \rightarrow MnO_4^{2-}$	+0.56
$Mn^{3+} + e^- \rightarrow Mn^{2+}$	+1.51	$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	+0.54
$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	+1.40	$I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$	+0.53
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	+1.36	$Cu^+ + e^- \rightarrow Cu$	+0.52
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1.33	$NiOOH + H_2O + e^- \rightarrow Ni(OH)_2 + OH^-$	+0.49
$O_3 + H_2O + 2e^- \rightarrow O_2 + 2OH^-$	+1.24	$Ag_2CrO_4 + 2e^- \rightarrow 2Ag + CrO_4^{2-}$	+0.45
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.23	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	+0.40
$ClO_4^- + 2H^+ + 2e^- \rightarrow ClO_3^- + 2H_2O$	+1.23	$ClO_4^- + H_2O + 2e^- \rightarrow ClO_3^- + 2OH^-$	+0.36
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	+1.23	$[Fe(CN)_6]^{3-} + e^- \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}$	+0.36
$Pt^{2+} + 2e^- \rightarrow Pt$	+1.20	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0.34
$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	+1.09	$Hg_2Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Hg + 2Cl^-$	+0.27

(आद्य)

રિડક્શન-અર્ધપ્રક્રિયા	E° / V	રિડક્શન-અર્ધપ્રક્રિયા	E° / V
$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	+0.27	$\text{S} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{S}^{2-}$	-0.48
$\text{Bi}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Bi}$	+0.20	$\text{In}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{In}^{2+}$	-0.49
$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+0.17	$\text{U}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{U}^{3+}$	-0.61
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+$	+0.16	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.74
$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$	+0.15	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.76
$\text{AgBr} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Br}^-$	+0.07	$\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd} + 2\text{OH}^-$	-0.81
$\text{Ti}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ti}^{3+}$	0.00	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (વ્યાખ્યા પ્રમાણે)	0.0	$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.91
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.04	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	-1.18
$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$	-0.08	$\text{V}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{V}$	-1.19
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0.13	$\text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ti}$	-1.63
$\text{In}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{In}$	-0.14	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1.66
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.14	$\text{U}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{U}$	-1.79
$\text{AgI} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{I}^-$	-0.15	$\text{Sc}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Sc}$	-2.09
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.23	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2.36
$\text{V}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{V}^{2+}$	-0.26	$\text{Ce}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Ce}$	-2.48
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	-0.28	$\text{La}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{La}$	-2.52
$\text{In}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{In}$	-0.34	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2.71
$\text{Tl}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Tl}$	-0.34	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	-2.87
$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.36	$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sr}$	-2.89
$\text{Ti}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ti}^{2+}$	0.37	$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ba}$	-2.91
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0.40	$\text{Ra}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ra}$	-2.92
$\text{In}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{In}^+$	-0.40	$\text{Cs}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cs}$	-2.92
$\text{Cr}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}$	-0.41	$\text{Rb}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Rb}$	-2.93
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.44	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2.93
$\text{In}^{3+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{In}^+$	-0.44	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-3.05

## લઘુગણક (Logarithms)

ઘણી વાર મોટી સંખ્યાના ગુણાકાર, ભાગાકાર અથવા સંમેય ઘાતનો સંખ્યાત્મક અભિવ્યક્તિમાં સમાવેશ થાય છે. આવી ગણતરીઓ માટે લઘુગણક ઘણું ઉપયોગી છે. તે મુશ્કેલ ગણતરીઓને સરળ બનાવે છે. રસાયણવિજ્ઞાનમાં રાસાયણિકગતિકી, ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર, વીજરસાયણ-વિજ્ઞાન વગેરેના કોયડા ઉકેલવામાં લઘુગણક મૂલ્યોની જરૂર પડે છે. આપણે સૌપ્રથમ આ સંકલ્પનાની પ્રસ્તાવના જોઈશું અને જેને લઘુગણક સાથે કામ કરવામાં અનુસરવું પડશે તેવા નિયમોની ચર્ચા કરીશું અને ત્યારબાદ આ પદ્ધતિ અનેક કોયડાઓને લાગુ પાડીશું જેથી મુશ્કેલ ગણતરીઓ કેવી રીતે સરળ બને છે તે દર્શાવી શકીશું.

આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$2^3 = 8, \quad 3^2 = 9, \quad 5^3 = 125, \quad 7^0 = 1$$

સામાન્ય રીતે ધન વાસ્તવિક સંખ્યા  $a$  માટે અને સંમેય સંખ્યા  $m$  માટે ધારો કે  $a^m = b$ , જ્યાં  $b$  વાસ્તવિક સંખ્યા છે.

બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો  $b$  આધાર  $a$ નો  $m$  ઘાત છે.

આને રજૂ કરવાનો બીજો રસ્તો છે કે  $m$  આધાર  $a$  પરના  $b$  નો લઘુગણક છે.

જો ધન વાસ્તવિક સંખ્યા  $a$  માટે,  $a \neq 1$

$$a^m = b$$

આને આપણે એમ કહીએ છીએ કે  $m$ ,  $a$  ના આધાર પરના  $b$ નો લઘુગણક છે.

આને આપણે આમ લખી શકીએ

“log” શબ્દ “logarithm (લઘુગણક)” શબ્દનું ટૂંકું રૂપ છે.

આમ હવે આપણને મળશે,

$$\log_2 8 = 3 \quad \text{કારણ કે } 2^3 = 8$$

$$\log_3 9 = 2 \quad \text{કારણ કે } 3^2 = 9$$

$$\log_5 125 = 3 \quad \text{કારણ કે } 5^3 = 125$$

$$\log_7 1 = 0 \quad \text{કારણ કે } 7^0 = 1$$

## લઘુગણકના નિયમો

નીચેની ચર્ચામાં આપણે કોઈ પણ આધાર  $a$  પર લઘુગણક લઈશું ( $a > 0$  અને  $a \neq 1$ )

પ્રથમ નિયમ :  $\log_a (mn) = \log_a m + \log_a n$

સાબિતી : ધારો કે  $\log_a m = x$  અને  $\log_a n = y$ , તો

$$a^x = m ; a^y = n$$

તેથી  $mn = a^x \cdot a^y = a^{x+y}$

હવે લઘુગણકની વ્યાખ્યામાંથી એ ફલિત થાય છે કે

$$\log_a (mn) = x + y = \log_a m + \log_a n$$

બીજો નિયમ :  $\log_a \left( \frac{m}{n} \right) = \log_a m - \log_a n$

સાબિતી : ધારો કે  $\log_a m = x$ ,  $\log_a n = y$

તો  $a^x = m$ ,  $a^y = n$

તેથી  $\frac{m}{n} = \frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$

એટલા માટે  $\log_a \left( \frac{m}{n} \right) = x - y = \log_a m - \log_a n$

ત્રીજો નિયમ :  $\log_a (m^n) = n \log_a m$

સાબિતી : અગાઉ પ્રમાણે, જો  $\log_a m = x$ , તો  $a^x = m$

તેથી  $m^n = (a^x)^n = a^{xn}$ , જે આપણે

$\log_a (m^n) = nx = n \log_a m$

આમ પ્રથમ નિયમ પ્રમાણે : બે સંખ્યાઓના ગુણાકારનો લઘુગણક તેઓના લઘુગણકના સરવાળા બરાબર થશે. તે જ પ્રમાણે બીજો નિયમ દર્શાવે છે : બે સંખ્યાના ગુણોત્તરનો લઘુગણક તેઓના લઘુગણકનો તફાવત છે. આમ, આ નિયમોનો ઉપયોગ ગુણાકાર / ભાગાકારના કોયડાને સરવાળા / બાદબાકીમાં ફેરવે છે. જે ગુણાકાર અને ભાગાકાર કરવા કરતાં વધુ સરળ છે. આથી જ સંખ્યાત્મક ગણતરીઓમાં લઘુગણક શા માટે ઉપયોગી છે તે સમજાશે.

### 10 આધાર પર લઘુગણક

સંખ્યા 10 લખવાની સંખ્યાના આધારને કારણે, લઘુગણકનો ઉપયોગ 10ના આધાર પર ઘણી અનુકૂળ પડે છે.

$\log_{10} 10 = 1$                       કારણ કે  $10^1 = 10$   
 $\log_{10} 100 = 2$                       કારણ કે  $10^2 = 100$   
 $\log_{10} 10000 = 4$                       કારણ કે  $10^4 = 10000$   
 $\log_{10} 0.01 = -2$                       કારણ કે  $10^{-2} = 0.01$   
 $\log_{10} 0.001 = -3$                       કારણ કે  $10^{-3} = 0.001$   
અને  $\log_{10} 1 = 0$                       કારણ કે  $10^0 = 1$

ઉપરના પરિણામો સૂચવે છે કે જો  $n$  એ 10 નો સંકલન (integral) ઘાત હોય, એટલે કે 1ની પાછળ કેટલાક શૂન્ય અથવા 1ની આગળ તરત જ આવતા શૂન્ય દશાંશ ચિહ્નની જમણી બાજુ આવે, તો  $n$  સહેલાઈથી મેળવી શકાય.

જો  $n$ , 10 ના આધારનો સંકલન ઘાત ન હોય, તો  $\log n$ ની ગણતરી કરવી સહેલી નથી. પરંતુ ગણિતશાસ્ત્રીઓએ કેટલાક કોષ્ટકો બનાવ્યા છે જેમાંથી આપણે 1 થી 10 વચ્ચેની ધન સંખ્યાના લઘુગણકના અંદાજિત મૂલ્ય વાંચી શકીએ છીએ અને આ આપણા માટે કોઈ પણ સંખ્યા જે દશાંશ રૂપમાં દર્શાવવામાં આવી હોય તેના લઘુગણક ગણવા માટે પૂરતા છે. આ હેતુ માટે આપણે હંમેશાં આપેલ દશાંશને 10ના સંકલન ઘાતના અને 1 થી 10 વચ્ચેની સંખ્યાના ગુણાકાર તરીકે દર્શાવીએ છીએ.

### દશાંશનું પ્રમાણિત સ્વરૂપ

આપણે કોઈ પણ સંખ્યાને દશાંશ સ્વરૂપમાં દર્શાવી શકીએ છીએ, (i) 10 ના સંકલન ઘાત અને (ii) 1 અને 10 વચ્ચેની સંખ્યાને ગુણાકાર તરીકે રજૂ કરી શકીએ.

કેટલાંક ઉદાહરણો આપ્યા છે :

(i) 25.2, 10 અને 100 ની વચ્ચે રહે છે.

$$25.2 = \frac{25.2}{10} \times 10 = 2.52 \times 10^1$$

(ii) 1038.4, 1000 અને 10000ની વચ્ચે રહે છે.

$$\therefore 1038.4 = \frac{1038.4}{1000} \times 10^3 = 1.0384 \times 10^3$$

(iii) 0.005, 0.001 અને 0.01ની વચ્ચે રહે છે.

$$\therefore 0.005 = (0.005 \times 1000) \times 10^{-3} = 5.0 \times 10^{-3}$$

(iv) 0.00025, 0.0001 અને 0.001 ની વચ્ચે રહે છે.

$$\therefore 0.00025 = (0.00025 \times 10000) \times 10^{-4} = 2.5 \times 10^{-4}$$

દરેક કિસ્સામાં આપણે દશાંશને 10ના ઘાત વડે ગુણીએ છીએ કે ભાગીએ છીએ. જેથી શૂન્ય વગરનો આંક દશાંશ ચિહ્નની ડાબી બાજુએ આવે અને તે જ 10ના ઘાતની વિપરીત પ્રક્રિયા કરીએ છીએ જેને અલગથી દર્શાવીએ છીએ.

આમ, કોઈ પણ ધન દશાંશને આ રૂપમાં લખી શકાય.

$$n = m \times 10^p$$

જ્યાં પૂર્ણાંક (ધન, શૂન્ય અથવા ઋણ) છે અને  $1 \leq m < 10$  આને “નનું પ્રમાણિત રૂપ” કહે છે.

### કાર્યગત (Working) નિયમો

1. દશાંશ ચિહ્નને જરૂર હોય, તે પ્રમાણે ડાબી કે જમણી બાજુ ખસેડો જેથી શૂન્ય ન હોય, તે આંક દશાંશ ચિહ્નની ડાબી બાજુ આવે.
2. (i) જો તમે  $p$  સ્થાન ડાબી બાજુ ખસો, તો  $10^p$  વડે ગુણો.  
(ii) જો તમે  $p$  સ્થાન જમણી બાજુ ખસો, તો  $10^{-p}$  વડે ગુણો.  
(iii) જો તમે દશાંશ ચિહ્નથી બિલકુલ ખસો નહિ તો  $10^0$  વડે ગુણો.  
(iv) હવે 10 ના ઘાતથી મળેલ નવો દશાંશ લખો (તબક્કો 2) જેથી આપેલા દશાંશનું પ્રમાણિત રૂપ મળશે.

### પૂર્ણાંક (Characteristic) અને અપૂર્ણાંક (Mantissa)

$n$ ના પ્રમાણિત સ્વરૂપને ધ્યાને લો.

$$n = m \times 10^p \text{ જ્યાં, } 1 \leq m < 10$$

10 ના આધારનો લઘુગણક લેતાં અને લઘુગણકના નિયમોનો ઉપયોગ કરતાં,

$$\begin{aligned} \log n &= \log m + \log 10^p \\ &= \log m + p \log 10 \\ &= p + \log m \end{aligned}$$

અહીંયા,  $p$  પૂર્ણાંક છે. અને  $1 \leq m < 10$  હોવાથી  $0 \leq \log m < 1$  થાય. એટલે કે  $m$ , 0 અને 1 ની વચ્ચે રહે છે. જ્યારે  $\log n$  ને  $p + \log m$  તરીકે દર્શાવીએ, જ્યાં  $p$  પૂર્ણાંક છે અને  $0 < \log m < 1$  છે. ત્યારે આપણે કહીએ છીએ કે  $p$  એ  $\log n$  નો “પૂર્ણાંક” છે અને  $\log m$  એ  $\log n$ નો અપૂર્ણાંક છે. એ નોંધો કે પૂર્ણાંક હંમેશાં પૂર્ણ આંક હોય છે - ધન, ઋણ અથવા શૂન્ય તથા અપૂર્ણાંક કદી ઋણ હોતો નથી અને તે હંમેશાં 1 કરતાં ઓછો હોય છે. જો આપણે  $\log n$  ના પૂર્ણાંક અને અપૂર્ણાંક શોધી શકીએ, તો  $\log n$  મેળવવા માટે આપણે માત્ર તેમને ઉમેરવાના જ હોય છે.

આમ,  $\log n$  શોધવા માટે આપણે નીચે પ્રમાણે કરવું પડશે :

1.  $n$  ને પ્રમાણિત રૂપમાં મૂકો જેમ કે,  
 $n = m \times 10^p, 1 \leq m < 10$
2. આ અભિવ્યક્તિ (10 નો ઘાત) માંથી  $\log n$  નો  $p$  પૂર્ણાંક વાંચવામાંથી દૂર કરો.
3.  $\log m$ ને કોષ્ટકમાંથી મેળવો, જે નીચે સમજાવેલ છે.
4.  $\log n = p + \log m$  લખો.

જો  $n$  સંખ્યાનો પૂર્ણાંક  $p$  હોય, જેમ કે 2 અને અપૂર્ણાંક 0.4133 હોય, તો  $\log n = 2 + 0.4133$  થાય. જેને આપણે 2.4133 તરીકે લખીશું. ધારો કે સંખ્યા  $m$ નો પૂર્ણાંક  $p$  ને  $-2$  કહો અને અપૂર્ણાંકને 0.4123 કહો તો  $\log m = -2 + 0.4123$  થાય. આને આપણે  $-2.4123$  તરીકે લખી શકીએ નહિ (શા માટે ?). આ મૂંઝવણ દૂર કરવા આપણે  $-2$  ને આ પ્રમાણે લખીએ છીએ,  $\log m = \bar{2}.4123$ .

ચાલો, હવે આપણે અપૂર્ણાંક શોધવા માટે લઘુગણકના કોષ્ટકનો કેવી રીતે ઉપયોગ કરીશું તે સમજાવે. પરિશિષ્ટના અંતે કોષ્ટક આપેલું છે.

કોષ્ટકનું અવલોકન કરો, દરેક આડી હરોળ બે આંકથી શરૂ થાય છે, 10, 11, 12 ....., 97, 98, 99. દરેક ઊભા સ્તંભ એક આંકી સંખ્યાથી શરૂ થાય છે, 0, 1, 2, ....., 9. જમણી બાજુ આપણી પાસે એક વિભાગ છે જેને “સરેરાશ તફાવત” કહેવામાં આવે છે, જેમાં 9 સ્તંભો છે જેના મથાળે 1, 2, ....., 9 દર્શાવેલા હોય છે.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7803	7810	7817	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7935	7945	7954	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	6	6
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

હવે ધારો કે આપણે  $\log(6.234)$  નું મૂલ્ય શોધવું છે, તો 62 થી શરૂ થતી હરોળમાં જોવાનું શરૂ કરો. આ હરોળમાં મથાળે 3 દર્શાવતા સ્તંભમાં રહેલા અંકને જુઓ. તે અંક 7945 છે. આનો અર્થ એમ થાય કે,

$$\log(6.230) = 0.7945^*$$

પરંતુ આપણે તો  $\log(6.234)$  જોઈએ છે. આથી આપણો જવાબ 0.7945 કરતાં સહેજ વધારે હશે. કેટલો વધારે ? આ આપણે સરેરાશ તફાવત વિભાગમાં જોઈશું. આપણો ચોથો અંક 4 છે. તેથી સરેરાશ તફાવતના વિભાગમાં મથાળે 4 દર્શાવતા સ્તંભમાં જૂઓ (હરોળ 62 માં). આપણને સંખ્યા 3 મળશે. તેથી 3ને 7945 માં ઉમેરો. આપણને 7948 મળશે. તેથી અંતે મળશે,  $\log(6.234) = 0.7948$ . બીજું ઉદાહરણ લો.  $\log(8.127)$  શોધવા માટે આપણે 81 સંખ્યાવાળી હરોળમાં 2 સંખ્યાવાળા સ્તંભમાં જોઈએ તો આપણને 9096 મળે છે. આપણે તે જ હરોળમાં આગળ વધીશું અને સરેરાશ તફાવત 7ની નીચે 4 મળશે. તેને 9096 માં ઉમેરીશું અને તેથી આપણને 9100 મળશે. તેથી,  $\log(8.127) = 0.9100$

### log n આપેલ હોય, તો n શોધવો

આપણે હજુ સુધી ધન સંખ્યા n આપેલી હોય તેનો  $\log n$  શોધવાની પદ્ધતિની ચર્ચા કરી. હવે આપણે તેનાથી વિપરીત પદ્ધતિ તરફ જઈએ, એટલે કે  $\log n$  આપેલ હોય, તો n શોધવો અને આ હેતુ માટેની પદ્ધતિ આપવી. જો  $\log n = t$  તો, આપણે કોઈકવાર કહીએ છીએ  $n = \text{antilog } t$ . આથી આપણું કાર્ય એ છે કે t આપેલો છે અને તેનો પ્રતિલઘુગણક શોધવો. આ માટે આપણે તૈયાર આપેલા પ્રતિલઘુગણક કોષ્ટકનો ઉપયોગ કરીએ છીએ.

ધારો કે  $\log n = 2.5372$

n શોધવા માટે, સૌ પ્રથમ  $\log n$ ના અપૂર્ણાંશ લો. આ કિસ્સામાં તે 0.5372 છે (ખાત્રી કરી કે તે ધન છે). આ સંખ્યાનો પ્રતિલઘુગણક લેવા માટે પ્રતિલઘુગણક કોષ્ટકનો ઉપયોગ લઘુગણક કોષ્ટકની જેમ જ કરો.

આ પ્રતિલઘુગણક કોષ્ટકમાં 0.53 વાળી હરોળમાં 7 વાળા સ્તંભની હેઠળ 3443 મળે છે અને છેલ્લા અંક 2 માટે તે જ હરોળમાં સરેરાશ તફાવતના વિભાગમાં અંક 2 છે. આથી કોષ્ટક 3445 મૂલ્ય આપે છે. આથી,

$$\text{antilog}(0.5372) = 3.445$$

હવે  $\log n = 2.5372$ ,  $\log n$ નો પૂર્ણાંક 2 છે. તેથી nનું પ્રમાણિત સ્વરૂપ  $n = 3.445 \times 10^2$  અથવા  $n = 344.5$  થાય.

### ઉદાહરણ 1 :

જો  $\log x = 1.0712$  તો x શોધો.

ઉકેલ : પ્રતિ લઘુગણક કોષ્ટકમાંથી આપણને 0712ને અનુવર્તી સંખ્યા 1179 મળે છે.  $\log x$ નો પૂર્ણાંક 1 છે, તેથી મળશે,

$$\begin{aligned} x &= 1.179 \times 10^1 \\ &= 11.79 \end{aligned}$$

### ઉદાહરણ 2 :

જો  $\log x = \bar{2}.1352$ , તો x શોધો.

ઉકેલ : પ્રતિલઘુગણક કોષ્ટકમાંથી, આપણને 1352ને અનુવર્તી સંખ્યા 1366 મળે છે. આ માટે પૂર્ણાંક  $\bar{2}$  છે એટલે કે  $-2$ . તેથી,

$$x = 1.366 \times 10^{-2} = 0.01366$$

### સંખ્યાત્મક ગણતરીઓમાં લઘુગણકનો ઉપયોગ

#### ઉદાહરણ 1 :

$6.3 \times 1.29$  શોધો.

ઉકેલ : ધારો કે  $x = 6.3 \times 1.29$

$$\text{તો } \log x = \log(6.3 \times 1.29) = \log 6.3 + \log 1.29$$

હવે,

$$\log 6.3 = 0.7993$$

$$\log 1.29 = 0.1106$$

$$\log x = 0.9099$$

\* જો કે અહીં નોંધવું જોઈએ કે કોષ્ટકમાં દર્શાવેલા મૂલ્યો ચોક્કસ હોતા નથી. તે માત્ર અંદાજિત મૂલ્યો હોય છે, જો કે આપણે સમાનતા માટેની નિશાની વાપરીએ છીએ જે તેઓ ચોક્કસ મૂલ્ય દર્શાવે છે તેવો પ્રભાવ પાડે છે. આવી સમાન પદ્ધતિ સંખ્યાના પ્રતિલઘુગણક માટે અનુસરી શકીએ છીએ.

प्रतिवधुगणक लेतां,  $x = 8.127$

उदाहरण 2 :

$$\frac{(1.23)^{1.5}}{11.2 \times 23.5} \text{ शोधो.}$$

$$\text{उकेल : धारो के } x = \frac{(1.23)^{\frac{3}{2}}}{11.2 \times 23.5}$$

$$\text{तेथी } \log x = \log \frac{(1.23)^{\frac{3}{2}}}{11.2 \times 23.5}$$

$$= \frac{3}{2} \log 1.23 - \log (11.2 \times 23.5)$$

$$= \frac{3}{2} \log 1.23 - \log 11.2 - \log 23.5$$

उवे,

$$\log 1.23 = 0.0899$$

$$\frac{3}{2} \log 1.23 = 0.13485$$

$$\log 11.2 = 1.0492$$

$$\log 23.5 = 1.3711$$

$$\log x = 0.13485 - 1.0492 - 1.3711$$

$$= \bar{3}.71455$$

$$\therefore x = 0.005183$$

उदाहरण 3 :

$$\sqrt{\frac{(71.24)^5 \times \sqrt{56}}{(2.3)^7 \times \sqrt{21}}} \text{ शोधो}$$

$$\text{उकेल : धारो के, } x = \sqrt{\frac{(71.24)^5 \times \sqrt{56}}{(2.3)^7 \times \sqrt{21}}}$$

$$\text{तेथी } \log x = \frac{1}{2} \log \left[ \frac{(71.24)^5 \times \sqrt{56}}{(2.3)^7 \times \sqrt{21}} \right]$$

$$= \frac{1}{2} [\log (71.24)^5 + \log \sqrt{56} - \log (2.3)^7 - \log \sqrt{21}]$$

$$= \frac{5}{2} \log 71.24 + \frac{1}{4} \log 56 - \frac{7}{2} \log 2.3 - \frac{1}{4} \log 21$$

उवे, लघुगणक कोष्टकनो उपयोग करतां,

$$\log 71.24 = 1.8527,$$

$$\log 56 = 1.7482$$

$$\log 2.3 = 0.3617,$$

$$\log 21 = 1.3222$$

$$\therefore \log x = \frac{5}{2} (1.8527) + \frac{1}{4} (1.7482) - \frac{7}{2} (0.3617) - \frac{1}{4} (1.3222)$$

$$= 3.4723$$

$$\therefore x = 2967$$

લઘુગણક

કોષ્ટક 1

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	5	9	13	17	21	26	30	34	38
											4	8	12	16	20	24	28	32	36
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	12	16	20	23	27	31	35
											4	7	11	15	18	22	26	29	33
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	11	14	18	21	25	28	32
											3	7	10	14	17	20	24	27	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
											3	7	10	13	16	19	22	25	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1614	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	19	22	25	28
											3	6	9	12	14	17	2	023	26
15	1791	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	9	11	14	17	20	23	26
											3	6	8	11	14	17	19	22	25
16	2041	2068	2098	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	6	8	11	14	16	19	22	24
											3	5	8	10	13	16	18	21	23
17	2304	2330	2365	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	3	5	8	10	13	15	18	20	23
											3	5	8	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	17	19	21
											2	4	7	9	11	14	16	18	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
											2	4	6	8	11	13	15	17	19
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3540	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3675	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4182	4200	4216	4232	4279	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	1548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5142	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5238	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5922	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6235	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8

લઘુગણક

કોષ્ટક 1

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	7404	7412	7419	7127	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7530	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7768	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	6	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8367	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	2	4	5	6
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9267	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9992	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4

પ્રતિલઘુગણક

કોષ્ટક ૨

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1479	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
.40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	2	3	4	4	5	5
.41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	2	3	4	4	5	5
.42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	2	3	4	4	5	6
.43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	3	4	4	5	6
.44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	3	4	4	5	6
.45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	3	4	5	6	6
.49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	3	4	5	6	6

प्रतिबधुगणक

कोष्टक 2

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
.51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3513	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
.56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
.59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
.60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
.61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
.67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
.68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	5	7	8	9	10
.69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	4	5	7	8	9	10
.70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
.71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
.72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
.73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
.74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
.75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
.76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
.77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
.78	6026	6039	6053	6067	6082	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
.79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
.80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
.81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
.84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
.85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
.88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
.89	7765	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
.90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
.91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
.92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
.93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
.96	9120	9141	9162	9186	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
.97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9525	2	4	7	9	11	13	15	17	20
.98	9550	9575	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
.99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20

## સ્વાધ્યાયમાંના કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

### એકમ-1

- 1.11 106.57 u  
 1.13 143.1 pm  
 1.15  $8.97 \text{ gcm}^{-3}$   
 1.16  $\text{Ni}^{2+} = 96 \%$  and  $\text{Ni}^{3+} = 4 \%$   
 1.24 (i) 354 pm (ii)  $2.26 \times 10^{22}$  એકમ કોષો  
 1.25  $6.02 \times 10^{18}$  ધનાયન રિક્તતા (vacancies)  $\text{mol}^{-1}$

### એકમ-2

- 2.4 16.23 M  
 2.6 157.8 mL  
 2.8 17.95 m અને 9.10 M  
 2.15  $40.907 \text{ g mol}^{-1}$   
 2.17 12.08 kPa  
 2.19  $23 \text{ gmol}^{-1}$ ; 3.53 kPa  
 2.21 A = 25.58 u અને B = 42.64u  
 2.24 KCl,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{CN}$ , સાયકલોહેક્ઝેન  
 2.25 ટોલ્યુઈન ક્લોરોફોર્મ, ફિનોલ, પેન્ટાનોલ, ફોર્મિક એસિડ, ઈથીલીન ગ્લાયકોલ  
 2.26 4 m  
 2.28 1.424 %  
 2.30 4.575 g  
 2.33  $i = 1.0753$ ,  $K_a = 3.07 \times 10^{-3}$   
 2.35  $178 \times 10^{-5}$   
 2.38 0.6 અને 0.4  
 2.40 0.03 mol  $\text{CaCl}_2$ નું
- 2.5 0.617 m, 0.01 અને 0.99, 0.67  
 2.7 33.5 %  
 2.9  $1.5 \times 10^{-3} \%$ ,  $1.25 \times 10^{-4} \text{ m}$   
 2.10 73.58 kPa  
 2.18 10 g  
 2.20 269.07 K  
 2.22 0.061 M  
 2.27  $2.45 \times 10^{-8} \text{ M}$   
 2.29 પાણીના 3.2 g  
 2.32  $0.65^\circ$   
 2.34 17.44 mm Hg  
 2.36 280.7 torr, 32 torr  
 2.39  $x(\text{O}_2) = 4.6 \times 10^{-5}$ ,  $x(\text{N}_2) = 9.22 \times 10^{-3}$   
 2.41  $5.27 \times 10 \text{ atm}$

### એકમ-3

- 3.4 (i)  $E^\ominus = 0.34 \text{ V}$ ,  $\Delta_r G^\ominus = -196.86 \text{ kJ mol}^{-1}$ ,  $K = 3.124 \times 10^{34}$   
 (ii)  $E^\ominus = 0.03 \text{ V}$ ,  $\Delta_r G^\ominus = -2.895 \text{ kJ mol}^{-1}$ ,  $K = 3.2$   
 3.5 (i) 2.68 V (ii) 0.53 V (iii) 0.08 V (iv) -1.296 V  
 3.6 1.56 V  
 3.8  $124.0 \text{ s cm}^2\text{mol}^{-1}$   
 3.9  $0.219 \text{ cm}^{-1}$   
 3.11  $1.85 \times 10^{-5}$   
 3.12 3F, 2F, 5F  
 3.13 1F, 4.44 F  
 3.14 2F, 1F  
 3.15 1.8258 g  
 3.16 14.40 min, કોપર 0.427 g, ઝિંક 0.437 g

## એકમ-4

- 4.2 (i)  $8.0 \times 10^{-9} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$ ,  $3.89 \times 10^9 \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$
- 4.4  $\text{bar}^{-1/2} \text{ s}^{-1}$
- 4.6 (i) 4 ગણુ (ii)  $\frac{1}{4}$  ગણુ
- 4.8 (i)  $4.67 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$  (ii)  $1.98 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 4.9 (i) વેગ =  $k[A][B]^2$  (ii) 9 ગણુ
- 4.10 Aના સંદર્ભમાં ક્રમ 1.5 છે અને Bના સંદર્ભમાં ક્રમ શૂન્ય છે.
- 4.11 વેગ નિયમ =  $k[A][B]^2$ , વેગ અચળાંક =  $6.0 \text{ M}^2 \text{ min}^{-1}$
- 4.13 (i)  $3.47 \times 10^{-3}$  સેકન્ડ (ii) 0.35 મિનિટ (i) 0.173 વર્ષ
- 4.14 1845 વર્ષ 4.16  $4.6 \times 10^{-2} \text{ s}$
- 4.17  $0.7814 \mu\text{g}$  અને  $0.227 \mu\text{g}$  4.19 77.7 મિનિટ
- 4.20  $2.20 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  4.21  $2.23 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ,  $7.8 \times 10^{-4} \text{ atm s}^{-1}$
- 4.23  $3.9 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$  4.24 0.135 M
- 4.25 0.158 M 4.26  $232.79 \text{ kJ mol}^{-1}$
- 4.27  $239.339 \text{ kJ mol}^{-1}$  4.28  $24 \text{ }^\circ\text{C}$
- 4.29  $E_a = 76.750 \text{ kJ mol}^{-1}$ ,  $k = 0.9965 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 4.30  $52.8 \text{ kJ mol}^{-1}$

## એકમ-6

- 6.1 ઝિંક ખૂબ જ સક્રિય ધાતુ છે.  $\text{ZnSO}_4$ ના દ્રાવણમાંથી વિસ્થાપિત કરવું એટલું સહેલું નથી.
- 6.2 તે ઘટકમાંના એકને સંકીર્ણ રચનાને કારણે ફીણ બનાવતા રોકે છે.
- 6.3 મોટા ભાગના સલ્ફાઇડની ગિબ્સ રચના ઊર્જાઓ  $\text{CS}_2$ ના કરતાં વધારે છે હકીકતમાં  $\text{CS}_2$  ઉષ્માશોષક સંયોજન છે. આથી એ સામાન્ય પદ્ધતિ છે કે સલ્ફાઇડ અચસ્કનું તેમને અનુરૂપ ઓક્સાઇડમાં ભૂંજન રિડક્શન કરતાં પહેલાં કરવામાં આવે છે.
- 6.5 CO
- 6.6 એનોડ પંકમાં સેલેનિયમ, ટેલુરિયમ, સિલ્વર, ગોલ્ડ ધાતુઓ રહેલી હોય છે. આનું કારણ એ છે કે કોપર કરતાં ઓછી સક્રિય છે.
- 6.9 મેટ્ટમાં રહેલા  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ને સિલિકા,  $\text{FeSiO}_3$  સિલિકેટ બનાવીને દૂર કરે છે.
- 6.15 ભરતર લોખંડ કાચું (Pig) લોખંડને લોખંડના ભંગાર (scrap) અને કોકને પિગાળીને બનાવવામાં આવે છે. તેમાં કાર્બનનું પ્રમાણ (\* 3 % C) કાચું લોખંડ (\* 4 % C) કરતાં થોડું ઓછું હોય છે.
- 6.17  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  જેવી બેઝિક અશુદ્ધિઓને દૂર કરવા.
- 6.18 મિશ્રણનું ગલનબિંદુ નીચે લાવવા માટે.
- 6.20 આ કિસ્સામાં જો COને રિડક્શનકર્તા તરીકે વાપરવામાં આવે તો રિડક્શન માટે ઘણું ઊંચું તાપમાન જરૂરી બને છે.
- 6.21 હા,  $2\text{Al} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \quad \Delta_r G^\theta = -827 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 $2\text{Cr} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 \quad \Delta_r G^\theta = -540 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 આથી  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Cr} \quad -827 - (-540) = -287 \text{ kJ mol}^{-1}$
- 6.22 કાર્બન વધારે સારો રિડક્શનકર્તા છે.
- 6.25 ગ્રેફાઇટના ધ્રુવો એનોડ તરીકે વર્તે છે અને વિદ્યુતવિભાજન પ્રક્રિયા દરમિયાન CO અને  $\text{CO}_2$  તરીકે બળી જાય છે.
- 6.28 1600 Kથી ઊંચા તાપમાને Al,  $\text{MgO}$ નું રિડક્શન કરી શકે છે.

## એકમ-7

- 7.10 કારણ કે નાઇટ્રોજનને 4થી વધારે સંયોજકતાનું વિસ્તરણ કરવાની ક્ષમતા નથી.
- 7.20 ફ્લોરિન
- 7.22 તે વરસાદના પાણીમાં ઓગળે છે અને એસિડ વર્ષા પેદા કરે છે.
- 7.23 ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારવાનું વલણ ઘણું પ્રબળ હોઈ હેલોજન પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે.
- 7.24 ઊંચી વિદ્યુતઋણતા અને નાના કદને લીધે તે ઊંચા ઓક્સિડેશનમાં મધ્ય પરમાણુ તરીકે વર્તી શકતો નથી.
- 7.25 નાઇટ્રોજનને ક્લોરિન કરતાં નાનું કદ છે નીચા કદ હાઇડ્રોજન બંધનને તરફેણ કરે છે.
- 7.30  $O_2PtF_6$ ના સંશ્લેષણ બાર્લેટને  $XePtF_6$  બનાવવા માટે પ્રેરણા આપી કારણ કે Xe અને ઓક્સિજનને લગભગ સરખી આયનીકરણ એન્ટાલ્પી છે.
- 7.31 (i) +3 (ii) +3 (iii) - 3 (iv) +5 (v) +5
- 7.34 ClF, હા
- 7.36 (i)  $I_2 < F_2 < Br_2 < Cl_2$   
(ii)  $HF < HCl < HBr < HI$   
(iii)  $BiH_3 \leq SbH_3 < AsH_3 < PH_3 < NH_3$
- 7.37 (ii)  $NeF_2$
- 7.38 (i)  $XeF_4$   
(ii)  $XeF_2$   
(iii)  $XeO_3$

## એકમ-8

- 8.2 એનું કારણ એ છે કે  $Mn^{2+}$ ને  $3d^5$  સંરચના છે જેને વધારે સ્થાયીતા છે.
- 8.5 સ્થાયી ઓક્સિડેશન અવસ્થા.  
 $3d^3$  (વેનેડિયમ) : (+2), +3, +4 અને +5  
 $3d^5$  (ક્રોમિયમ) : +3, +4, +6  
 $3d^5$  (મંગેનીઝ) : +2, +4, +6, +7  
 $3d^5$  (કોબાલ્ટ) : +2, +3 (સંકીર્ણમાં)  
 $3d^4$  : ધરા અવસ્થામાં  $d^4$  સંરચના હોતી નથી.
- 8.6 વેનેડેટ  $VO_3^-$ , ક્રોમેટ  $CrO_4^{2-}$ , પરમંગેનેટ  $MnO_4^-$
- 8.10 લેન્થેનોઇડની સામાન્ય ઓક્સિડેશન અવસ્થા +3 છે. +3 ઓક્સિડેશન અવસ્થા ઉપરાંત કેટલાક લેન્થેનોઇડ +2 અને +4 ઓક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે.
- 8.13 સંક્રાંતિ તત્ત્વોમાં ઓક્સિડેશન અવસ્થા +1માંથી સૌથી ઊંચી ઓક્સિડેશન અવસ્થામાં એક એક એમ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, મંગેનીઝ માટે તે +2, +3, +4, +5, +6, +7 એમ ફેરફાર પરસંદગીયુક્ત હોય છે જે હંમેશાં 2થી બદલાય છે. ઉ.ત. +2, +4, અથવા +3, +5 અને +4, +6 વગેરે.
- 8.18  $Sc^{3+}$  સિવાય બાકીના બધા જલીય દ્રાવણમાં રંગીન હશે કારણ કે તેમની  $3d$ -કક્કો અપૂર્ણ રીતે ભરાયેલી છે જે  $d-d$  સંક્રમણ કરી શકે છે.
- 8.21 (i)  $Cr^{2+}$  રિડક્શનકર્તા છે કારણ કે તેમાં  $d^4$ થી  $d^3$ માં ફેરફાર સમાયેલો છે. પછીનાની સંરચના વધુ સ્થાયી છે ( $t_{2g}^3$ )  $Mn(III)$ થી  $Mn(II)$ માં  $3d^4$ માંથી  $3d^5$  છે. ફરીથી  $3d^5$  વધુ સ્થાયી સંરચના છે. (ii) CFSEને લીધે જ ક્ષતિપૂર્તિ કરતાં ત્રીજી આયનીકરણ એન્ટાલ્પીથી વધારે છે. (iii)  $d^1$  માંથી ઇલેક્ટ્રોન દૂર કરવામાં સમાવિષ્ટ આયનીકરણ એન્ટાલ્પીને જલીયકરણ અથવા લેટિસ ઊર્જા વધારે ક્ષતિપૂર્તિ કરે છે.
- 8.23 કોપર, કારણ કે +1 ઓક્સિડેશન અવસ્થા વધુ સ્થાયી સંરચના  $3d^{10}$  પરિણામે છે.
- 8.24 અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન  $Mn^{2+} = 4$ ,  $Cr^{3+} = 3$ ,  $V^{3+} = 2$ ,  $Ti^{3+} = 1$  સૌથી વધુ સ્થાયી  $Cr^{3+}$ .
- 8.28 બીજો ભાગ, 59, 95, 102
- 8.30 લોરેન્શિયમ, 103, +3

8.36  $Ti^{2+} = 2, V^{2+} = 3, Cr^{3+} = 3, Mn^{2+} = 5, Fe^{2+} = 6, Fe^{3+} = 5, Co^{2+} = 7, Ni^{2+} = 8, Cu^{2+} = 9$

8.38  $M = \sqrt{n(n+2)} = 2.2, n \approx 1, d^2sp^3, CN^-$  પ્રબળ લિગેન્ડ  
= 5.3,  $n \approx 4, sp^3, d^2, H_2O$  નિર્બળ લિગેન્ડ  
= 5.9,  $n \approx 5, sp^3, Cl^-$  નિર્બળ લિગેન્ડ

### એકમ-9

9.5 (i) +3 (ii) +3 (iii) +2 (iv) +3 (v) +3

9.6 (i)  $[Zn(OH)_4]^{2-}$  (ii)  $K_2[PdCl_4]$  (iii)  $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$  (iv)  $K_2(Ni(CN)_4]$   
(v)  $[Co(NH_3)_5(ONO)]^{2+}$  (vi)  $[Co(NH_3)_6]_2(SO_4)_3$  (vii)  $K_3[Cr(C_2O_4)_3]$  (viii)  $[Pt(NH_3)_6]^{4+}$   
(ix)  $[CuBr_4]^{2-}$  (x)  $[Co(NH_3)_5(NO_2)]^{2+}$

9.9 (i)  $[Cr(C_2O_4)_3]^{3-}$  એક પણ નહિ (Nil)

(ii)  $[Co(NH_3)_3Cl_3]$  - બે (fac - and mer -)

9.12 ત્રણ (બે સિસ અને એક ટ્રાન્સ)

9.13  $CuSO_4$  નું જલીય દ્રાવણ  $[Cu(H_2O)_4] SO_4$  સ્વરૂપે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. જેને વાદળી રંગ છે જે  $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$  આયનને કારણે છે.

(i) જ્યારે KF ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે નિર્બળ  $H_2O$  લિગેન્ડ  $F^-$  લિગેન્ડ વડે વિસ્થાપિત થાય છે અને  $[CuF_4]^{2-}$  આયન બનાવે છે, જે લીલા રંગના અવક્ષેપ છે.  $[Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4F^- \rightarrow [CuF_4]^{2-} + 4H_2O$

(ii) જ્યારે KCl ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે  $Cl^-$  લિગેન્ડ નિર્બળ  $H_2O$  લિગેન્ડનું વિસ્થાપન કરે છે અને  $[CuCl_4]^{2-}$  આયનની રચના થાય છે જેને તેજસ્વી લીલો રંગ છે.  $[Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4Cl^- \rightarrow [CuCl_4]^{2-} + 4H_2O$

9.14  $[Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4CN^- \rightarrow [Cu(CN)_4]^{2-} + 4H_2O$

$CN^-$  પ્રબળ લિગેન્ડ છે અને તે  $Cu^{2+}$  આયન વધુ સ્થાયી સંકીર્ણ બનાવે છે. જ્યારે  $H_2S$  પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે મુક્ત  $Cu^{2+}$  આયન પ્રાપ્ય હોતાં નથી જે  $CuS$ ના અવક્ષેપ બનાવે.

9.23 (i) OS = +3, CN = 6 d-કક્ષકો ધરાવે છે  $t_{2g}^6 e_g^0$

(ii) OS = +3, CN = 6,  $d^3 (t_{2g}^3)$

(iii) OS = +2, CN = 4,  $d^7 (t_{2g}^5 e_g^2)$

(iv) OS = +2, CN = 6,  $d^5 (t_{2g}^3 e_g^2)$

9.28 (iii)

9.29 (ii)

9.30 (iii)

9.31 (iii)

9.32 સ્પેક્ટ્રોકેમિકલ શ્રેણીમાં લિગેન્ડનો ક્રમ છે

$H_2O < NH_3 < NO_2$

આથી અવલોકિત થયેલા પ્રકાશની તરંગલંબાઈનો ક્રમ હશે.

$[Ni(H_2O)_6]^{2+} < [Ni(NH_3)_6]^{2+} < [Ni(NO_2)_6]^{4-}$

આમાં અવશોષિત તરંગલંબાઈ ( $E = hc/\lambda$ ) વિરુદ્ધ ક્રમમાં હશે.

## પારિભાષિક શબ્દો

Absorption - અવશોષણ	Close-packed structures - સંવૃત સંકુલિત રચના
Actinoid contraction - એક્ટિનોઇડ સંકોચન	Coagulation - સ્કંદન
Actinoids - એક્ટિનોઇડ	Colligative properties - સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો
Activated complex - સક્રિયકૃત સંકીર્ણ	Collision frequency - અથડામણ (સંઘાત) આવૃત્તિ
Activators - સક્રિયકારક	Collision theory of chemical reaction - રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો સંઘાત (અથડામણ) સિદ્ધાંત
Activation energy - સક્રિયકરણ ઊર્જા	Column chromatography - કોલમ(સ્તંભ) કોમેટોગ્રાફી
Adsorption - અધિશોષણ	Concentration of ores - અયસ્કોનું સાંદ્રણ
Adsorption isotherm - અધિશોષણ સમતાપ રેખા	Concentration of solutions - દ્રાવણોની સાંદ્રતા
Allotropic forms - અપરરૂપ સ્વરૂપો	Conductivity - વાહકતા
Ambidentate ligand - એમ્બિડેન્ટેટ લિગેન્ડ	Conductors - વાહકો
Amorphous solids - અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો	Coordination compounds - સવર્ગ સંયોજનો
Anisotropic - વિષમદૈશિક	Coordination entity - સવર્ગ સ્પિસીઝ (entity)
Anomalous behaviour of oxygen - ઓક્સિજનની અનિયમિત (anomalous) વર્તણૂક	Coordination isomerism - સવર્ગ સમઘટકતા
Antiferromagnetism - પ્રતિલોહચુંબકત્વ	Coordination number - સવર્ગ આંક
Aqua regia - એકવા રીજ્યા (અમ્લરાજ)	Coordination polyhedron - સવર્ગ પોલિહેદ્રોન
Arrhenius equation - આર્હેનિયસ સમીકરણ	Coordination theory - સવર્ગ સિદ્ધાંત
Atomic radii - પરમાણ્વીય ત્રિજ્યાઓ	Copper matter - કોપર મેટ્ટે
Average rate - સરેરાશ વેગ	Corosion - ક્ષારણ
Avogadro constant - એવોગેડ્રો અચળાંક	Cryoscopic constant - હિમાંક અચળાંક
Azeotrope - એઝિયોટ્રોપ	Crystal defects - સ્ફટિક ક્ષતિઓ
Batteries - બેટરી	Crystal field splitting - સ્ફટિક ક્ષેત્ર વિપાટન
Binary solutions - દ્વિઅંગી દ્રાવણો	Crystal field theory - સ્ફટિક ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત
Biochemical catalysis - જૈવરાસાયણિક ઉદ્દીપકો	Crystal lattice - સ્ફટિક લેટિસ
Black phosphorus - કાળો ફોસ્ફરસ	Crystalline solids - સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો
Blast furnace - વાતભઢી	Dalton's law - ડાલ્ટનનો નિયમ
Blister copper - ફોલ્લાવાળું તાંબું	Daniell cell - ડેનિયલ કોષ
Body-centred unit - અંતઃકેન્દ્રિત એકમ	Denticity - દંતીયતા
Bohr magneton - બોહર મેગ્નેટોન	Dependence on rate of concentration - સાંદ્રતાના દર પર આધાર
Bonding in metal carbonyls - ધાતુ કાર્બોનીલમાં બંધન	Depressants - અવનમક
Bravais lattices - બ્રેવિસ લેટિસ	Dialyser - પારશ્લેષક
Bredig's arc - બ્રેડિગ ચાપ	Dialysis - પારશ્લેષણ
Brown ring test - કથ્થાઈ વીંટી કસોટી	Diamagnetism - પ્રતિચુંબકત્વ
Brownian movement - બ્રાઉનિયન ગતિ	Didentate - દ્વિદંતીય
Calcination - નિસ્તાપન	Diode - ડાયોડ
Cast iron - ભરતર લોખંડ	Dislocation defect - વિસ્થાપન ક્ષતિ
Catalyst - ઉદ્દીપક	Dispersed phase - વિક્ષેપિત કલા
Cell potential - કોષ પોટેન્શિયલ	Dispersion medium - વિક્ષેપન માધ્યમ
Chelate - ક્લેટ	Dissociation constant - વિયોજન અચળાંક
Chemical kinetics - રાસાયણિક ગતિકી	Distillation - નિસ્યંદન
Chemisorption - રાસાયણિક અધિશોષણ	Ebullioscopic constant - ઉન્નયન અચળાંક
Chiral - કિરાલ	Electrical conductance - વિદ્યુતીય વાહકતા
Chromatographic methods - કોમેટોગ્રાફિક પદ્ધતિઓ	Electrodialysis - વિદ્યુતીય પારશ્લેષણ
Cis - isomer - સીસ-સમઘટક	Electrochemical cells - વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ
Classification of colloids - કલિલનું વર્ગીકરણ	

Electrochemistry - વિદ્યુતરસાયણવિજ્ઞાન  
 Electrode potential - વિદ્યુતધ્રુવ પોટેન્શિયલ (વિભવ)  
 Electrolytes - વિદ્યુતવિભાજ્યો  
 Electrolytic cell - વિદ્યુતવિભાજનીય કોષ  
 Electrolytic refining - વિદ્યુતવિભાજનીય શુદ્ધીકરણ  
 Electromotive force - વિદ્યુતવાહક બળ (ઈ.એમ.એફ.)  
 Electron hole - ઇલેક્ટ્રોન છિદ્ર  
 Electron vacancy - ઇલેક્ટ્રોન રિક્તતા (શૂન્યતા)  
 Electronegativity - વિદ્યુતઋણમયતા  
 Electronic configuration - ઇલેક્ટ્રોનીય રચના  
 Electronic defect - ઇલેક્ટ્રોનીય ક્ષતિ  
 Electrosmosis - વિદ્યુતપરાસરણ  
 Elements - તત્ત્વો  
 Ellingham diagram - એલિંગહામ આકૃતિ  
 Eluant - નિશ્કાલક  
 Empirical formula - પ્રમાણસૂચક સૂત્ર  
 Emulsions - પાયસો (ઈમલઝન)  
 Enantiomers - ઈનન્શીયોમર્સ (પ્રતિબિંબિ સમઘટકો)  
 End-centred unit - અંતકેન્દ્રિત એકમ  
 Enthalpy - એન્થાલ્પી  
 Enzyme catalysis - ઉત્સેચક ઉદ્દીપન  
 Equilibrium constant - સંતુલન અચળાંક  
 f-block elements - f- બ્લોક તત્ત્વો  
 Face centred unit - ફેસકેન્દ્રિત એકમ  
 Facial isomer - ફેસિયલ સમઘટક  
 Faraday's law - ફેરાડેનો નિયમ  
 Ferrimagnetism - ફેરિમેગ્નેટિઝમ  
 Ferromagnetism - લોહચુંબકત્વ  
 First order reaction - પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા  
 Froth floatation - ફીશ પ્લવન  
 Fractional distillation - વિભાગીય નિસ્ચંદન  
 Frenkel defect - ફ્રેન્કલ ક્ષતિ  
 Frequency factor - આવૃત્તિ અવયવ  
 Freundlich isotherm - ફ્રુન્ડલીય સમતાપ રેખા  
 Fuel cells - બળતણ (ઈંધણ) કોષો  
 Galvanic cell - ગેલ્વેનિક કોષ  
 Gangue - ગેંગ  
 Gels - જેલ  
 Geometric isomerism - ભૌમિતિક સમઘટકતા  
 Giant molecules - મહાકાય અણુઓ  
 Gibbs energy - ગિબ્સ-ઊર્જા  
 Haber's process - હેબરની પ્રક્રમ (વિધિ)  
 Half-life - અર્ધઆયુષ્ય  
 Hall-Heroult process - હોલ-હેરોલ્ટ પ્રક્રમ  
 Halogens - હેલોજન  
 Henry's law - હેન્રીનો નિયમ  
 Heterogeneous catalysis - વિષમાંગ ઉદ્દીપન  
 Heteroleptic complex - હીટરોલેપ્ટિક સંકીર્ણ  
 Holme's signals - હોમ્સ સંકેતો  
 Homogeneous catalysis - સમાંગ ઉદ્દીપન

Homoleptic complex - હોમોલેપ્ટિક સંકીર્ણ  
 Hybridisation - સંકરણ  
 Hydrate isomerism - જળયુક્ત સમઘટીકરણ  
 Hydration enthalpy - જલીયકરણ એન્થાલ્પી  
 Hydraulic washing - દ્રવચલિત ધોવાણ  
 Hydro metallurgy - જળ ધાતુકર્મવિધિ  
 Hydrogen bonded molecular solids - હાઈડ્રોજન બંધિત આણ્વીય ઘન પદાર્થો  
 Ideal solution - આદર્શ દ્રાવણ  
 Impurity defect - અશુદ્ધિ ક્ષતિ  
 Inhibitors - નિરોધકો  
 Inner transition metals - આંતરસંક્રાંતિ ધાતુઓ  
 Instability constant - અસ્થાયીતા અચળાંક  
 Instantaneous rate of a reaction - પ્રક્રિયાનો ત્વરિત વેગ  
 Insulators - અવાહકો  
 Intermolecular forces - આંતરઆણ્વીય બળો  
 Interstitial compounds - આંતરાલીય સંયોજનો  
 Interstitial defect - આંતરાલીય ક્ષતિ  
 Intrinsic semiconductors - આંતરિક અર્ધવાહક  
 Ionic conductance - આયનીય વાહકતા  
 Ionic radii - આયનીય ત્રિજ્યાઓ  
 Ionic solids - આયનીય ઘન પદાર્થો  
 Ionisation enthalpy - આયનીકરણ એન્થાલ્પી  
 Ionisation isomerism - આયનીકરણ સમઘટકતા  
 Isomerism - સમઘટકતા  
 Isotonic solution - સમદાબી દ્રાવણ  
 Kinetic energy - ગતિજ ઊર્જા  
 Kohlrausch law - કોહ્લરોશ નિયમ  
 Kraft temperature - ક્રાફ્ટ તાપમાન  
 Lanthanide contraction - લેન્થેનાઈડ સંકોચન  
 Lanthanoids - લેન્થેનોઈડ  
 Le Chateliers principle - લ-શેટેલિયર સિદ્ધાંત  
 Leaching - નિશ્કાલન  
 Lewis acids - લુઈસ એસિડ  
 Ligand field theory - લિગેન્ડ ક્ષેત્ર સિદ્ધાંત  
 Ligands - લિગેન્ડ  
 Line defects - રેખા ક્ષતિઓ  
 Linkage isomerism - બંધન સમઘટકતા  
 Liquefaction - દ્રાવણન  
 Long range order - દીર્ઘ વિસ્તાર ક્રમ  
 Lyophilic colloids - દ્રવઅનુરાગી કલિલ  
 Lyophobic colloids - દ્રવવિરાગી કલિલ  
 Magnetic separation - ચુંબકીય અલગીકરણ  
 Meridional isomer - મેરિડોનિયલ સમઘટક  
 Metal carbonlys - ધાતુ કાર્બોનિલ  
 Metal excess defect - ધાતુ અધિકતા ક્ષતિ  
 Metallic solids - ધાત્વીય ઘન પદાર્થો  
 Metallurgy - ધાતુકર્મવિધિ  
 Micelles - મીસેલ  
 Minerals - ખનીજો

Misch metal - મિસ્ચ ધાતુ	Red phosphorus - લાલ ફોસ્ફરસ
Molal elevation constant - આણ્વીય (મોલલ) ઉન્નયન અચળાંક	Reverberatory furnace - પરાવર્તિની ભટ્ટી
Molality - મોલાલિટી	Reverse osmosis - (પ્રતિ) અભિસરણ
Molar conductivity - મોલર વાહકતા	Rhombic sulphur - રહોમ્બિક સલ્ફર
Molarity - મોલારિટી	Roasting - ભૂજન
Mole fraction - મોલ અંશ	Schottky defect - શોટ્ટકી ક્ષતિ
Molecular orbital theory - આણ્વીય કક્ષક સિદ્ધાંત	Secondary battery - દ્વિતીયક બેટરી
Molecularity of a reaction - પ્રક્રિયાની આણ્વીકતા	Secondary valence - દ્વિતીયક સંયોજકતા
Mond process - મોન્ડ પ્રક્રમ (વિધિ)	Semiconductors - અર્ધવાહકો
Monoclinic sulphur - મોનોક્લિનિક સલ્ફર	Semipermeable membrane - અર્ધપારગમ્ય પડદો
Mononuclear coordination compound - એકકેન્દ્રિય સર્વગ સંયોજનો	Shape-selective catalysis - આકાર વરણાત્મક ઉદ્દીપન
Nernst equation - નર્ન્સ્ટ સમીકરણ	Short range order - ટૂંકો વિસ્તાર ક્રમ
Noble gases - ઉમદા વાયુઓ	Smoke screens - ધૂમ્રપડદા
Non-ideal solution - બિનઆદર્શ દ્રાવણ	Solid state - ઘન અવસ્થા
Non-polar molecular solids - બિનધ્રુવીય આણ્વીય ઘન	Sols - સોલ
Octahedral voids - અષ્ટફલકીય છિદ્ર	Solubility - દ્રાવ્યતા
Optical isomerism - પ્રકાશીય સમઘટતા	Solvate isomerism - દ્રાવકમિશ્રણ સમઘટકતા
Order of a reaction - પ્રક્રિયાનો ક્રમ	Stereo isomerism - અવકાશી સમઘટકતા
Ores - કાર્થીધાતુ-અચસ્ક	Stoichiometric defect - તત્ત્વયોગમિતિ ક્ષતિ
Osmotic pressure - અભિસરણ (પરાસરણ) દબાણ	Strong field ligands - પ્રબળક્ષેત્ર લિગેન્ડ
Ostwald's process - ઓસ્વાલ્ડનો પ્રક્રમ (વિધિ)	Structural isomerism - બંધારણીય સમઘટકતા
Oxidation number - ઓક્સિડેશન આંક	Spercooled liquids - અતિશીત પ્રવાહી
Oxidation state - ઓક્સિડેશન અવસ્થા	Surface chemistry - પૃષ્ઠ રસાયણ
Oxides of nitrogen - નાઈટ્રોજનના ઓક્સાઈડ	Temperature dependence of rate - વેગનો તાપમાન પર આધાર
Oxoacids of halogens - હેલોજનના ઓક્સોએસિડ	Tetrahedral permanganate - સમચતુષ્ફલકીય પરમંગેનેટ
Oxoacids of phosphorus - ફોસ્ફરસના ઓક્સોએસિડ	Tetrahedral voids - સમચતુષ્ફલક છિદ્રો
Oxoacids of sulphur - સલ્ફરના ઓક્સોએસિડ	Thermodynamics - ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર
Ozone - ઓઝોન	Trans isomer - ટ્રાન્સ સમઘટક
Packing efficiency - સંકુલન ક્ષમતા	Transition metals - સંક્રાંતિ તત્ત્વો
Paper chromatography - પેપર ક્રોમેટોગ્રાફી	Tyndall cone - ટીંડોલ શંકુ
Paramagnetism - અનુચુંબકત્વ	Tyndall effect - ટીંડોલ અસર
p-block elements - p-બ્લોક તત્ત્વો	Ultrafiltration - અતિસૂક્ષ્મ ગાળણ
Peptization - પેપ્ટીકરણ	Unidentate - એકદંતી
Physisorption - ભૌતિક અધિશોષણ	Unit cells - એકમ કોષ
Pig iron - કાર્યુ લોખંડ	Units of rate constant - વેગ અચળાંકના એકમો
Point defects - બિંદુ ક્ષતિઓ	Units of rate of a reaction - પ્રક્રિયા વેગના એકમો
Polar molecular solids - ધ્રુવીય આણ્વીય ઘન પદાર્થો	Vacancy defect - રિક્ત (શૂન્ય) ક્ષતિ
Polydentate - બહુદંતીય	Valence bond theory - સંયોજકતા બંધન સિદ્ધાંત
Primary battery - પ્રાથમિક બેટરી	Van Arkel method - વાન આર્કેલ પદ્ધતિ
Primary valence - પ્રાથમિક સંયોજકતા	Vapour phase refining - બાષ્પકલા શુદ્ધીકરણ
Pseudo first order reaction - આભાસી પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા	Vapour pressure - બાષ્પદબાણ
Pseudo solids - આભાસી ઘન પદાર્થો	Voltaic cell - વોલ્ટેઈક કોષ
Purification of metal - ધાતુનું શુદ્ધીકરણ	Weak field ligands - નિર્બળ ક્ષેત્ર લિગેન્ડ
Pyrometallurgy - ઉચ્ચતાપ ધાતુકર્મવિધિ	Werner's theory - વર્નરનો સિદ્ધાંત
Raoult's law - રાઉલ્ટનો નિયમ	Wheatstone bridge - વ્હીટ્સ્ટોન બ્રિજ
Rate law - વેગ નિયમ	White phosphorus - સફેદ ફોસ્ફરસ
Reaction rate constant - પ્રક્રિયા વેગ અચળાંક	Wrought iron - ઘડતર લોખંડ
Redox couples - રેડોક્ષ યુગ્મ	Zeolites - ઝિયોલાઈટ
	Zero order reaction - શૂન્ય ક્રમ પ્રક્રિયા
	Zeta potential - ઝીટા પોટેન્શિયલ (વિભવ)
	Zone refining - ઝોન શુદ્ધીકરણ

