

# રસાયણવિજ્ઞાન

ભાગ I

ધોરણ XII

---

ગુજરાત રાજ્યના શિક્ષણવિભાગના પત્ર-કમાંક  
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  
વैવિધ્યપૂર્ણ વારસાનો મને ગર્વ છે.  
હું સદાય તેને લાયક બનવા પ્રયત્ન કરીશ.  
હું મારાં માતાપિતા, શિક્ષકો અને વડીલો પ્રત્યે આદર રાખીશ  
અને દરેક જણ સાથે સભ્યતાથી વર્તીશ.  
હું મારા દેશ અને દેશબાંધવોને મારી નિષ્ઠા અર્પું છું.  
તેમનાં કલ્યાણ અને સમૃદ્ધિમાં જ મારું સુખ રહ્યું છે.

કિંમત : ₹ 153.00



રાષ્ટ્રીય શૈક્ષિક અનુસંધાન ઔર પ્રશિક્ષણ પરિવદ  
NATIONAL COUNCIL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND TRAINING



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

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

### અનુવાદ

ડૉ. આઈ. એમ. ભણ  
ડૉ. મધૂર સી. શાહ

### સમીક્ષા

પ્રો. ડી. પી. પટેલ  
શ્રી સી. આઈ. પટેલ  
શ્રી એ. આઈ. પટેલ  
શ્રી એ. એસ. પટેલ  
શ્રી જ્યદેવ 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. અજ્ય એમ. રાવલ

### સંયોજન

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

### નિર્માણ-સંયોજન

શ્રી હરેન શાહ  
(નાયબ નિયામક : શૈક્ષણિક)

### મુદ્રણ-આપોજન

શ્રી હરેશ એસ. લીભાચીયા  
(નાયબ નિયામક : ઉત્પાદન)

### પ્રસ્તાવના

રાષ્ટ્રીય સ્તરે સમાન અભ્યાસક્રમ રાખવાની સરકારશીની નીતિના અનુસંધાને ગુજરાત સરકાર તથા ગુજરાત માધ્યમિક અને ઉચ્ચતર માધ્યમિક શિક્ષણ બોર્ડ દ્વારા તા. 25/10/2017ના ઠરાવ કર્માંક મશાબ/1217/1036/૭ થી શાળા ક્ષાસે NCERTના પાઠ્યપુસ્તકોનો સીધો જ અમલ કરવાનો નિર્ણય કરવામાં આવ્યો. તેને અનુલક્ષીને NCERT, નવી દિલ્હી દ્વારા પ્રકાશિત ધોરણ XIIના રસાયણવિજ્ઞાન (ભાગ I) વિષયના પાઠ્યપુસ્તકનો ગુજરાતીમાં અનુવાદ કરીને વિદ્યાર્થીઓ સમક્ષ મૂક્તાં 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, બોપાલથી ઉપસ્થિત રહેલા નિષ્ણાતોની સાથે એક દ્વિદિવસીય કાર્યશિબિરનું આયોજન કરવામાં આવ્યું અને પાઠ્યપુસ્તકને અંતિમ સ્વરૂપ આપવામાં આવ્યું. જેમાં, ડૉ. એસ. કે. મકવાણા (RIE, બોપાલ), ડૉ. કલ્પના મસ્કી (RIE, બોપાલ), ડૉ. આઈ. એમ. ભણ, ડૉ. મધૂર 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 દિલ્હીના સહકાર બદલ તેમના આભારી છીએ.

### અવંતિકા સિંઘ (IAS)

નિયામક

તા. 03-04-2019

કાર્યવાહક પ્રમુખ  
ગાંધીનગર

### પ્રથમ આવૃત્તિ : 2019

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

## **FOREWORD**

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

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

These aims imply considerable change in school routines and mode of functioning. Flexibility in the daily time-table is as necessary as rigour in implementing the annual 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.Q. Contractor, *Professor*, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology, Powai, Mumbai

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

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

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

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

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

K.N. 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. Upadhayaya

K.K. Arora

R.S. Sindhu

Vijay Sarda

**MEMBER -COORDINATOR**

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

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

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

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

The Council also acknowledges the contribution of Shri Vijay Singh, *Shri Narender Kr. Verma, DTP Operator*; Dr K.T. Chitradekha, *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 : ધન અવસ્થા</b>	<b>1</b>
1.1 ધન અવસ્થાની સામાન્ય લાક્ષણિકતાઓ	2
1.2 અસ્ફટિકમય અને સ્ફટિકમય ધન પદાર્થો	2
1.3 સ્ફટિકમય ધન પદાર્થોનું વગીકરણ	4
1.4 સ્ફટિક લેટિસ અને એકમ કોષ	7
1.5 એકમ કોષમાં પરમાણુઓની સંખ્યા	12
1.6 સંવૃત સંકુલિત ર્યાનાઓ	14
1.7 સંકુલન ક્ષમતા	20
1.8 એકમ કોષ પરિમાણ સમાવિષ્ટ ગણતરીઓ	22
1.9 ધનમાં 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 સાંક્રતાની અભિવ્યક્તિ	36
2.3 દ્રાવ્યતા	39
2.4 પ્રવાહી દ્રાવણોનું બાધ્યદ્વાણ	43
2.5 આદર્શ અને બિનઅાદર્શ 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 નન્સ્ટ સમીકરણ	70
3.4 વિદ્યુતવિભાજયનાં દ્રાવણોની વાહકતા	75
3.5 વિદ્યુતવિભાજય 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 પરિબળો	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	ઉદ્વીપન	129
5.3	કલિલ	136
5.4	કલિલનું વર્ગીકરણ	136
5.5	પાયસ (ઈમલ્જન)	145
5.6	આપણી આસપાસ (ચોપાસ) કલિલ	145
<b>એકમ-6 :</b>	<b>તત્વોના અલગીકરણ માટેના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પ્રકમો</b>	<b>149</b>
6.1	ધાતુઓના પ્રાપ્તિસ્થાન	152
6.2	અયસ્કનું સંકેન્દ્રણ	153
6.3	સંકેન્દ્રિત અયસ્કમાંથી અપરિષ્ટત (અશુદ્ધ) ધાતુનું નિર્જર્ખણ	155
6.4	ધાતુકર્મ વિધિના ઉભાગતિય સિદ્ધાંતો	156
6.5	ધાતુકર્મ વિધિના વિદ્યુતરાસાયણિક સિદ્ધાંતો	162
6.6	ઓક્સિડેશન - રિડક્શન	163
6.7	શુદ્ધીકરણ (પરિજરણ)	164
6.8	એલ્યુમિનિયમ, કોપર, જિંક અને આર્યનના 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 ઑક્સાઈડ સંયોજનો	177
7.5	નાઈટ્રિક એસિડ	179
7.6	ફોર્સફરસ - અપરટ્રૂપો	180
7.7	ફોર્સ્ફીન	181
7.8	ફોર્સફરસ હેલાઈડ સંયોજનો	182
7.9	ફોર્સફરસના ઓક્સોએસિડ સંયોજનો	184

7.10	સમૂહ 16નાં તત્વો	185
7.11	ડાયઓક્સિજન	189
7.12	સાદા ઓક્સાઇડ સંયોજનો	190
7.13	ઓજોન	191
7.14	સલ્ફર-અપરટ્રેપો	192
7.15	સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ	193
7.16	સલ્ફરના ઓક્સોઓસિડ સંયોજનો	194
7.17	સલ્ફયુરિક ઑસિડ	195
7.18	સમૂહ 17નાં તત્વો	197
7.19	કલોરિન	202
7.20	હાઇડ્રોજન કલોરાઇડ	204
7.21	હેલોજન તત્વોના ઓક્સોઓસિડ સંયોજનો	205
7.22	આંતરહેલોજન સંયોજનો	206
7.23	સમૂહ 18નાં તત્વો	208
<b>એકમ-8 :</b>	<b><i>d</i> અને <i>f</i> વિભાગનાં તત્વો</b>	<b>215</b>
8.1	આર્ટર્કોષ્ટકમાં સ્થાન	216
8.2	<i>d</i> -વિભાગનાં તત્વોની ઈલેક્ટ્રોનીય રૂચના	216
8.3	સંકંતિ તત્વોના ( <i>d</i> -વિભાગ) સામાન્ય ગુણધર્મો	218
8.4	સંકંતિ તત્વોના કેટલાક અગત્યના સંયોજનો	231
8.5	લેન્થેનોઇડ્સ	234
8.6	એક્ટિનોઇડ્સ	237
8.7	<i>d</i> અને <i>f</i> -વિભાગનાં તત્વોના કેટલાક અનુપ્રયોગો	239
<b>એકમ-9 :</b>	<b>સવર્ગ સંયોજનો</b>	<b>244</b>
9.1	સવર્ગ સંયોજનોનો વર્ણનો સિદ્ધાંત	244
9.2	સવર્ગ સંયોજનોને લગતા કેટલાક અગત્યના પર્યાયોની વાખ્યાઓ	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

## હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

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

## ધૂન અવસ્થા (The Solid State)

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

આપણા અગાઉના અભ્યાસ પરથી આપણો જીવીઓ કે પ્રવાહીઓ અને વાયુઓ તેમની વહન પામવાની ક્ષમતાને કારણે દ્રવ (fluid) કહેવાય છે. આ બંને અવસ્થાઓની વહનશીલતા પાછળની હકીકત એ છે કે તેમાં અણૂઓ આમ તેમ હરવા - ફરવા માટે મુક્ત હોય છે. તેનાથી વિપરીત, ધન પદાર્થોના ઘટક કણોનાં સ્થાન નિશ્ચિત હોય છે અને તેમના સરેરાશ સ્થાન (mean position)ની આસપાસ દોલન કરી શકે છે. આ બાબત ધન પદાર્થોની જડતા (દઢતા) સમજાવે છે. આ ગુણધર્મો ઘટક કણોનાં સ્વભાવ તથા તેમની વચ્ચે પ્રવર્તતા બંધન બળો પર આધારિત હોય છે. બંધારણ (રચના) અને ગુણધર્મો વચ્ચેનો સહસંબંધ ઈચ્છિત ગુણધર્મોવાળાનાં નવા ધન પદાર્થોની શોધ કરવામાં મદદરૂપ બને છે. દાખલા તરીકે કાર્બન નેનોટયુબ (carbon nanotubes) આવાં નવા પદાર્થો છે. જે સ્ટીલ કરતાં મજબૂત (tough), એલ્યુમિનિયમ કરતાં હલકાં અને કોપર કરતાં વધુ વાહકતાનો ગુણ ધરાવતા દ્રવો પૂરા પાડવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. આવા પદાર્થો વિજ્ઞાન અને સમાજના ભાવિ વિકાસમાં વિસ્તૃત ભૂમિકા બજવી શકે છે. ભવિષ્યમાં અગત્યનો ભાગ બજવી શકે તેવા કેટલાંક અન્ય પદાર્થોમાં ઉચ્ચ તાપમાન અતિવાહકો, ચુંબકીય પદાર્થો, પોકિંગ માટેના જૈવ વિઘટનીય (biodegradable) પોલિમર, સર્જિકલ ઈમ્લાન્ટ (surgical implant) માટેના જૈવ સુસંગત (biocompliant) ધન પદાર્થો વગેરે છે. આમ, હાલના પરિપ્રેક્ષય (scenario) માં આ અવસ્થાનો અભ્યાસ વધારે અગત્યનો બની રહે છે.

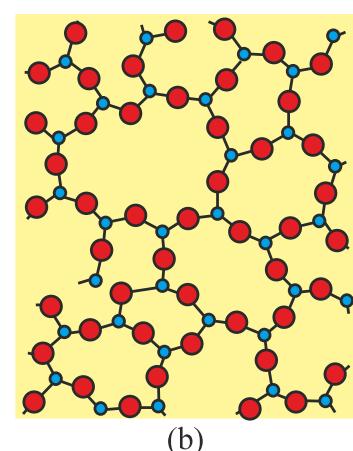
આ એકમમાં, આપણે બંધારણ (રચના)ના કેટલાંક પ્રકારોમાં પરિણમતી કણોની વિવિધ શક્ય ગોઠવણીઓ તથા બંધારણીય એકમોની વિવિધ ગોઠવણીઓ શા માટે ધન પદાર્થોને વિવિધ ગુણધર્મો બસે છે તેનો અભ્યાસ કરીશું. બંધારણીય અપૂર્ણતાઓ (structural imperfections) અથવા અતિ અલ્પ પ્રમાણમાં અશુદ્ધિઓની હાજરી વડે કેવી રીતે આ ગુણધર્મોમાં ફેરફાર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

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

તમે ધોરણ XIમાં અભ્યાસ કર્યો છે કે દ્વય ત્રણ અવસ્થાઓ ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ સ્વરૂપે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. આપેલ દબાશ અને તાપમાનની પરિસ્થિતિમાં આપેલ પદાર્થની આમાંથી કઈ અવસ્થા સૌથી વધુ સ્થાયી હશે તેનો આધાર બે પરસ્પર વિરોધી પરિબળોની ચોખ્ખી (net) અસર પર રહેલો છે. આ આંતરઆણવીય બળો જે અશૂઔને (અથવા પરમાણુઓ અથવા આયનો) એકબીજાની નજીક રાખે છે. જ્યારે ઉભ્યીય ઊર્જા તેમને ઝડપથી ફરતા કરીને એકબીજાથી અલગ રાખવાનું વલણ ધરાવે છે. પૂરતા નીચા તાપમાને ઉભ્યીય ઊર્જા ઓછી હોય છે અને આંતરઆણવીય 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.
- આંતરઆણવીય અંતર ટૂંકા હોય છે.
- આંતરઆણવીય બળ પ્રબળ હોય છે.
- તેમના ઘટક કણો(પરમાણુ, અશૂ અથવા આયન)ને નિશ્ચિત સ્થાન હોય છે અને તેમની મધ્ય (સરેરાશ) સ્થિતિની આસપાસ દોલન કરે છે.
- તે અસંકોચનીય (incompressible) અને દઢ હોય છે.

ઘન પદાર્થોને તેમના ઘટક કણોની ગોઠવણમાં હાજર કરું સ્વભાવને આધારે તેમને સ્ફટિકમય અથવા અસ્ફટિકમય તરીકે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે. સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ સામાન્ય રીતે મોટી સંચાયામાં નાના નાના સ્ફટિકો, જેમાંના દરેક લાક્ષણિક ભૌમિકિક આકાર ધરાવે છે તેનો બનેલો હોય છે. સ્ફટિકમાં ઘટક કણો(પરમાણુ, અશૂ 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 કરીએતો સ્ફટિકના અન્ય ભાગમાં કણોના સ્થાનની ચોક્કસ આગાહી કરી શકીએ પણી બલે તે અવલોકનના સ્થાનથી ગમે તેટલા દૂર હોય. આમ સ્ફટિકને તેને કરું લાંબો વિસ્તાર (સીમા) હોય છે જેનો અર્થ થાય છે કે કણોની ગોઠવણની એક નિયમિત ભાત (pattern) હોય છે. જે સમગ્ર સ્ફટિકમાં આવતીય રીતે પુનરાવર્તિત થાય છે. સોઝિયમ કલોરાઇડ અને કવાર્ટઝ સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થના લાક્ષણિક (typical) ઉદાહરણો છે. કાચ, રબર અને અનેક પ્લાસ્ટિક પદાર્થોના પ્રવાહીઓને જ્યારે ઢંડા પાડી ઘન સ્વરૂપમાં ફેરવણમાં આવે ત્યારે તેઓ સ્ફટિકો બનાવતા નથી. આ પદાર્થોને અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ કહે છે. અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થ ગ્રીક શબ્દ amorphos એટલે સ્વરૂપ નહિ પરથી આવેલ છે. આવા ઘન પદાર્થમાં ઘટક કણો(પરમાણુ, અશૂ અથવા આયન)નો ટૂંકા વિસ્તાર(સીમા)નો કરું હોય છે. આવી



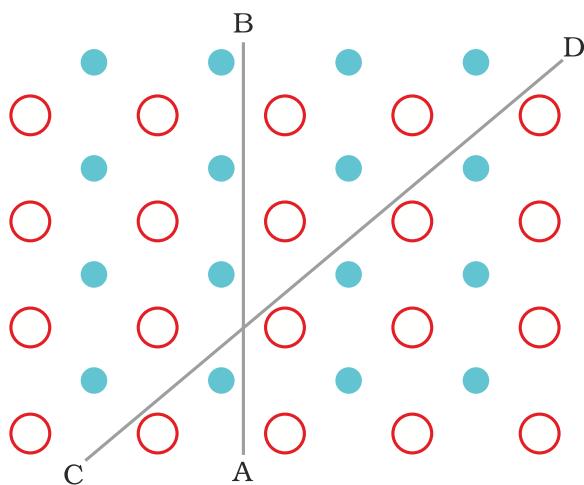
(a)

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

ગોઠવણમાં નિયમિત અને આવતીય પુનરાવર્તિત ભાત માત્ર ટૂંકા અંતર સુધી જોવા મળે છે. નિયમિત ભાતો વિખેચિત હોય છે અને વચ્ચે વચ્ચે અનિયમિત ગોઠવણ હોય છે. કવાર્ટઝ (સ્ફટિકમય) અને કવાર્ટઝ કાચ(અસ્ફટિકમય)ની રચના આકૃતિ 1.1 (a) અને (b)માં અનુક્રમે દર્શાવેલી છે. બંને રચનાઓ મહદુંશે સરખી છે છતાં અસ્ફટિકમય કવાર્ટઝ કાચમાં લાંબા વિસ્તાર (સીમા)નો કરું હોતો નથી. અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થની રચના પ્રવાહીને સમાન હોય છે. ઘટકકણોની ગોઠવણીમાં 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 ઘણ (સ્લિંગ) 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 અંશો સ્ફટિકરણ છે. પ્રવાહીની જેમ, અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થને વહેવાનું વલણ હોય છે જો કે ખૂબ ધીમેથી વહે છે. આથી તેમને ધણી વાર આભાસી ઘન પદાર્થો અથવા અતિશીત પ્રવાહી પદાર્થો કહેવામાં આવે છે.

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



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

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો સ્વભાવે વિષમદૈશિક (anisotropic) હોય છે એટલે કે એક જ સ્ફટિકમાં જુદી જુદી દિશામાં માપેલા તેમના ભૌતિક ગુણધર્મો જેવાં કે વિદ્યુતીય અવરોધ અથવા વકીભવનાંકના 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 સાંદ્રી દ્વિપરિમાળીય ભાતની ગોઠવણી દર્શાવે છે. આકાર પ્રતિબળ (shearing stress)ના અવરોધ જેવા યાંત્રિક ગુણધર્મો આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ બે દિશાઓમાં તદ્દન જુદા હોઈ શકે. CD દિશામાં વિકૃતિ બે જુદા-જુદા પ્રકારના પરમાણુઓ ધરાવતી હરોળને દૂર કરે છે. જ્યારે AB દિશામાં એક પ્રકારના પરમાણુઓ ધરાવતી હરોળ દૂર થાય છે. સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો વચ્ચેનો તફાવતોનો સારાંશ કોઈક 1.1માં છે.

### કોષ્ટક 1.1 : સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘનપદાર્થો વચ્ચે તફાવત

ગુણધર્મ	સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો	અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો
(1) આકાર	ચોક્કસ લાક્ષણિક ભૌતિક આકાર	અનિયમિત આકાર
(2) ગલનબિંદુ	ચોક્કસ અને લાક્ષણિક તાપમાને પીગળે છે.	તાપમાનના ગાળા (સીમા) દરમિયાન ધીમે ધીમે નરમ થાય છે.
(3) ચિરાડ (clevage) ગુણધર્મ	જ્યારે તીક્ષ્ણ ધારવાળા સાધન વડે કાપવામાં આવે છે ત્યારે તે બે ભાગમાં વિભાજિત થાય છે અને નવી ઉત્પન્ન થયેલી સપાટી સાંદ્રી અને સુંવાળી (smooth) હોય છે.	જ્યારે તીક્ષ્ણ ધારવાળા સાધન વડે કાપવામાં આવે છે ત્યારે તે બે અનિયમિત સપાટીવાળા ભાગમાં વિભાજિત થાય છે.
(4) ગલન ઉભા	તેમને નિશ્ચિત અને લાક્ષણિક ગલન ઉભા હોય છે.	તેમને નિશ્ચિત ગલન ઉભા 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 ગોડવાણીમાં કમ	લાંબા વિસ્તાર(સીમા)નો કમ	ફક્ત ટૂંકા વિસ્તાર(સીમા)નો કમ

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

અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો ઉપયોગી પદાર્થો છે. કાચ, રબર અને પ્લાસ્ટિક આપણા રોજિંદા જીવનમાં ઘણા બધા અનુપ્રયોગો (ઉપયોગો) ધરાવે છે. અસ્ફટિકમય સિલિકોન એક એવો ઉત્તમ ફોટોવોલ્ટેઇક પદાર્થ છે જે સૌર-ઉર્જાને વિદ્યુત-ઉર્જામાં પરિવર્તિત કરવા માટે પ્રાય્ય 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, નેથેલીન, બેન્જોઈક એસિડ, ટેફ્લોન, પોટોશિયમ નાઈટ્રેટ, સેલોફેન, પોલિવિનાઈલ ક્લોરાઈડ, ફાઈભર ગ્લાસ, તાંબું.
- 1.4 ઘન પદાર્થનો વકીભવનાંક બધી જ દિશાઓમાં એકસરખું મૂલ્ય ધરાવે છે. આ ઘન પદાર્થના સ્વભાવ વિશે ટીકા કરો. શું તે ચિરાડ ગુણવર્મ 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 કમ હોય છે છતાં, ઘણા મોટા ભાગના ઘન પદાર્થો સ્વભાવે સ્ફટિકમય હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, આર્યાન, કોપર અને સિલ્વર જેવા ધાતુ તત્ત્વો, સલ્ફર, ફોર્સફરસ અને આયોડિન જેવા અધાતુ તત્ત્વો તથા સોડિયમ ક્લોરાઈડ, જિંક સલ્ફાઈડ અને નેથેલીન જેવા સંયોજનો સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો રહે છે.

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

આણુઓ આણવીય ઘન પદાર્થોના ઘટક કણો છે, જેમને નીચેના પ્રકારોમાં ફરી ઉપવિભાજિત કરી શકાય.

(i) અણુવીય આણવીય ઘન પદાર્થો : તે કાં તો પરમાણુઓ ધરાવે છે ઉદાહરણ તરીકે આર્ગોન અને હિલિયમ અથવા અણુવીય સહસંયોજક બંધને 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 ઘોરણ  $XII$ માં 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) પ્રુવીય આઝીવીય ઘન પદાર્થો :  $HCl$ ,  $SO_2$  વગેરે જેવા પદાર્થોના અણુઓ પ્રુવીય સહસંયોજક બંધથી રચાય છે. આવા ઘનપદાર્થોમાં અણુઓ સાપેક્ષ રીતે વધુ પ્રબળ પ્રુવીય-ધ્રુવીય પારસ્પરિક કિયાઓ વડે એકબીજા સાથે જકડાયેલા રહે છે. આ ઘન પદાર્થો પોચા અને વિદ્યુતના અવાહક હોય છે. તેમના ગલનબિંદુ અધ્રુવીય આઝીવીય 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 આઝીવીય ઘન પદાર્થો : આવા ઘન પદાર્થોના અણુઓ  $H$  અને  $F$ ,  $O$  અથવા  $N$  પરમાણુ સાથે પ્રુવીય 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 બાધીય પ્રવાહી અથવા પોચા ઘન પદાર્થો હોય છે.

### 1.3.2 આયનીય ઘન પદાર્થો (Ionic Solids)

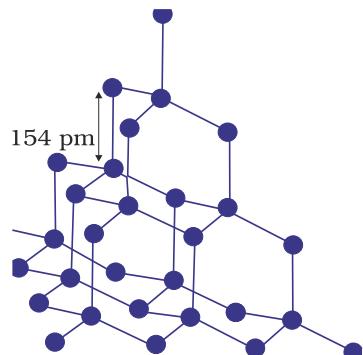
આયનીય ઘન પદાર્થોના ઘટક કણો આયનો હોય છે. આવા ઘન પદાર્થો પ્રબળ કુલંબિક (સ્થિરવિદ્યુતીય) બળોથી બંધિત ધનાયનો અને ઋણાયનોની ત્રિ-પરિમાણીય દિશામાંની ગોઠવણાથી રચાય છે. આ ઘનપદાર્થો સ્વભાવે સખત અને બરડ હોય છે. તેમને ઊંચા ઉત્કલનબિંદુ અને ગલનબિંદુ હોય છે. તેમના આયનો હેરફેર કરવા માટે મુક્ત હોતા નથી, તેથી તેઓ ઘન અવસ્થામાં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

### 1.3.3 ધાત્વીય ઘનપદાર્થો (Metallic Solids)

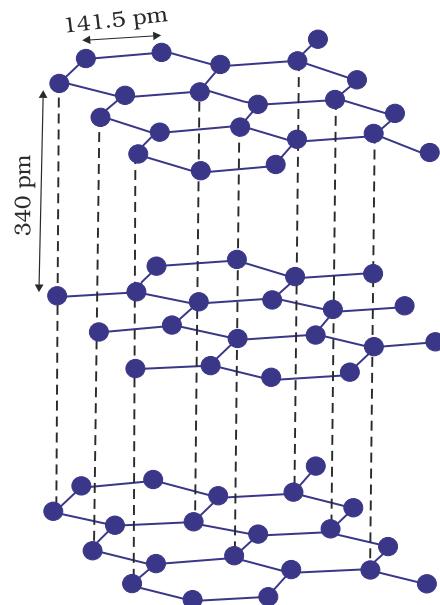
ધાતુઓ ઘન આયનોના કમબદ્ધ સમૂહ હોય છે અને તેઓ મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન સમુદ્ર(sea)થી સાથે જકડાયેલા હોય છે. આ ઈલેક્ટ્રોન ગતિશીલ (mobile) હોય છે અને સમગ્ર સ્ફટિકમાં સરખી રીતે વિસ્તરાયેલ હોય છે. ધાતુનો દરેક પરમાણુ એક અથવા બે ઈલેક્ટ્રોન ગતિશીલ ઈલેક્ટ્રોનના આ સમુદ્રમાં ફાળો આપે છે. આ મુક્ત અને ગતિશીલ ઈલેક્ટ્રોન ધાતુની ઊંચી વિદ્યુતીય અને ઉખ્મીય વાહકતા માટે જવાબદાર છે. જ્યારે વિદ્યુતીયક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે છે ત્યારે આ ઈલેક્ટ્રોન ઘન આયનોની જાળીદાર રચનામાંથી વહે છે. તે જ પ્રમાણે જ્યારે ઉખ્મા ધાતુના એક ભાગને પૂરી પાડવામાં આવે છે, ત્યારે ઉખ્મીય ઊર્જા એકસરખી રીતે મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન વડે વિસ્તરાય છે. ધાતુઓની બીજી અગત્યની લાક્ષણિકતા તેમના ચળકાટ (lustre) અને કેટલાક કિસ્સામાં રંગ છે. આ પણ તેમનામાં રહેલા મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનની 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 નજીકના પરમાણુઓ વચ્ચે સહસંયોજક બંધની રચનાથી પરિણામે છે. તેઓને બૃહૃદ (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 ધણા સખત અને બરડ હોય છે. તેમને ખૂબ જ ઊંચા ગલનબિંદુ હોય છે અને ગલન પામતાં પહેલા વિઘ્નટન પણ પામી શકે છે. તેઓ વીજરોધક છે અને વિદ્યુત પ્રવાહનું વહન કરતા નથી. ડીરો (diamond) (આકૃતિ 1.3) અને સિલિકોન કાર્બાઇડ આવા ઘન પદાર્થોના વિશિષ્ટ ઉદાહરણો છે. તેમ છતાં ગ્રેફાઇટ



આકૃતિ 1.3 : હીરાની(ડાયમન્ડ)  
જળીદાર રચના



આકૃતિ 1.4 : શ્રેફાઈટની રચના

કોષ્ટક 1.2 : જુદા જુદા પ્રકારના ઘન પદાર્�ો

(આકૃતિ 1.4) પણ આ પ્રકારના સ્ફેરિકલ ગર્જમાં 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 ઈલેક્ટ્રોન જુદા જુદા સ્તરોની વચ્ચે હાજર છે અને આજુબાજુ ફરી શકવા માટે મુક્ત હોય છે. આ મુક્ત ઈલેક્ટ્રોન ગ્રેફાઈટને વિદ્યુતનો સુવાહક બનાવે છે. જુદા જુદા સ્તર એક બીજાની ઉપર સરકી (slide) શકે છે. આ બાબત ગ્રેફાઈટને પોચું ઘન અને સારું લિંજા (lubricant) બનાવે છે.

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

ઘનપદાર્થોનો પ્રકાર	ઘટક કણો	બંધન/ આકર્ષણ બળો	ઉદાહરણ	ભौતિક સ્વભાવ	વિદ્યુતીય વાહકતા	ગલનબિંદુ
(1) આણવીય ઘન પદાર્થો						
(i) અધ્રૂવીય	આણુઓ	વિસર્જન અથવા લંડન બળો દ્વિધૂવ-દ્વિધૂવ પારસ્પરિક કિયા	Ar, CCl <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , I <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , HCl, SO <sub>2</sub>	મૃદુ	અવાહક	ઘણાં નીચાં
(ii) ધૂવીય		હાઇડ્રોજન બંધન	H <sub>2</sub> O (બરફ)	મૃદુ	અવાહક	નીચાં
(iii) હાઇડ્રોજન બંધિત				સખત	અવાહક	નીચાં
(2) આયનીય ઘન પદાર્થો	આયનો	કુલાંગિક અથવા સ્થિર વિદ્યુતીય	NaCl, MgO, ZnS, CaF <sub>2</sub>	સખત પણ બરફ	ઘન અવસ્થામાં અવાહક પરંતુ પિગલિત અવસ્થામાં અને જલીય દ્રાવણમાં વાહક	ઉંચા
(3) ધાત્વીય ઘન પદાર્થો	બિનસ્થાનિક ઈલેક્ટ્રોનના સમુદ્રમાં ઘન આયનો	ધાત્વીય બંધન	Fe, Cu, Ag, Mg	સખત પરંતુ ટીપનીય અને તન્ય	ઘન અવસ્થામાં તેમજ પિગલિત અવસ્થામાં વાહક	પ્રમાણમાં ઉંચા

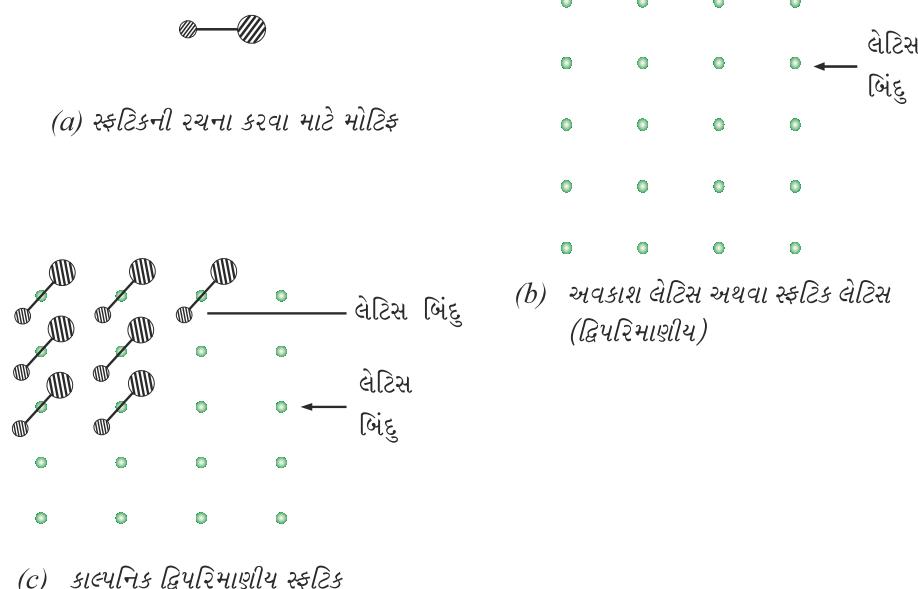
(4) સહસંયોજક અથવા જગીદાર ઘન પદાર્થો	પરમાણુઓ બંધન	સહસંયોજક બંધન	$\text{SiO}_2$ (કવાર્ટઝ) SiC, C (હિરો), AlN, C (ગ્રેફાઈટ)	સખત મૃદુ	અવાહક વાહક (અપવાદ)	ઘણા ઊંચા
--	-----------------	------------------	--	-------------	-----------------------	----------

### લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

- 1.5 નીચેના ઘન પદાર્થોને તેમનામાં કાર્યશીલ આંતરઆંગ્વીય બળોના સ્વભાવ પર આધારિત જુદા જુદા પ્રકારોમાં વર્ગીકૃત કરો :  
પોટોશિયમ સલ્ફિટ, ટિન, બેન્જિન, યૂરિયા, એમોનિયા, પાણી, જિંક સલ્ફાઈટ, ગ્રેફાઈટ, રૂબિડિયમ, આર્ગોન, સિલિકોન કાર્బોઈટ.
- 1.6 ઘન પદાર્થ A ઘન અવસ્થા તથા પિગલિત અવસ્થામાં ઘણ્ણો સખત વિદ્યુતીય અવાહક છે અને ખૂબ જ ઊંચા તાપમાને પીગળો છે. તે ક્યા પ્રકારનો ઘન પદાર્થ હશે ?
- 1.7 આયનીય ઘન પદાર્થો પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે પરંતુ ઘન અવસ્થામાં નહિ. સમજાવો.
- 1.8 ક્યા 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 ભૌયતળિયા (floor) પર ટાઈલ્સ (લાદી) લગાવવામાં આવે ત્યારે એક પુનરાવર્તિત ભાત (repeated pattern) રચાય છે. ભૌયતળિયા પર ટાઈલ્સ લગાડ્યા પણ જો બધી જ ટાઈલ્સ પર આપણે કોઈક જગ્યાએ નિશાની કરોએ (જેમકે ટાઈલની મધ્યમાં) અને ટાઈલ્સને અવગણીને માત્ર નિશાની કરેલા સ્થાનોનેજ જોઈએ તો, આપણાને 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 ડિસ્સામાં ટાઈલ્સ) તેમના બિંદુઓના સેટ ઉપર મુકીને દ્વિપરિમાળીય ભાત વિકસીત કરવામાં આવી છે. આ બંધારણીય એકમને પાયો A



આકૃતિ 1.5 : (a) મોટિફ (b) અવકાશ લેટિસ દ્વિપરિમાળીય (c) કાલ્યનિક દ્વિપરિમાળીય સ્ફટિક રચના

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

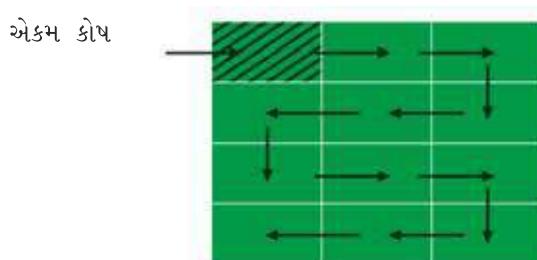


આકૃતિ 1.6 : બે જુદા જુદા લેટિસમાં બિંદુઓની ગોઠવણી

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થના ડિસામાં 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 દિક્કવિન્યાસ સમાન હોય છે. સપાટી સિવાય સમગ્ર સ્ફટિકમાં પ્રત્યેક મોટિફનું પર્યાવરણ એક સમાન હોય છે.

સ્ફટિક લેટિસની લાક્ષણિકતાઓ નીચે મુજબ છે :

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

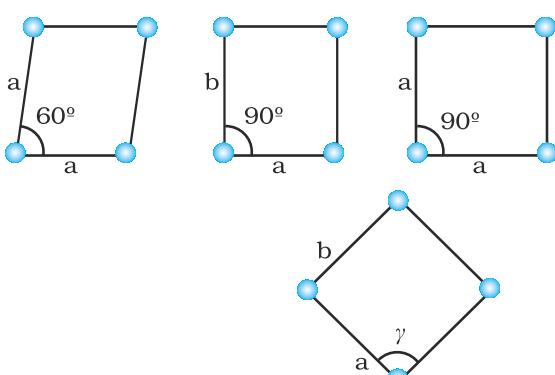


સ્ફટિકને સંપૂર્ણ પણે વ્યાખ્યાયિત કરવા આપણને સ્ફટિકના અવકાશ લેટિસના માત્ર નાનકડાં ભાગની જ જરૂર પડે છે. આ નાનકડાં ભાગને એકમ કોષ્ઠ કહે છે. એકમ કોષ્ઠની પસંદગી અનેક રીતે થઈ શકે છે. સામાન્ય રીતે એવો કોષ્ઠ પસંદ કરવામાં આવે છે જેની લંબ બાજુઓ ટૂંકામાં ટૂંકી હોય અને ત્રિપરિમાણમાં એકમ કોષ્ઠના સ્થાનાંતરીય વિસ્થાપન (translational displacement)થી સમગ્ર સ્ફટિકની રચના કરી શકાય. આકૃતિ 1.7માં એક દ્વિપરિમાણીય લેટિસના એકમ

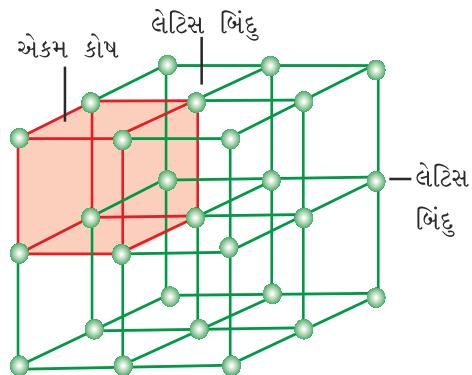
આકૃતિ 1.7 : તીરની દિશામાં ચોરસના સ્થાનાંતરથી કાલ્યનિક દ્વિપરિમાણીય સ્ફટિક રચના અન્યવા

કોષ્ઠની હેરફેરથી સમગ્ર સ્ફટિકની રચના થતી દર્શાવી છે. વળી, એકમ કોષોના આકારો પણ એવા હોય છે કે જેથી તેઓ તેમની વચ્ચે જગ્યા છોડવાં સિવાય આખો લેટિસ ભરી દે છે.

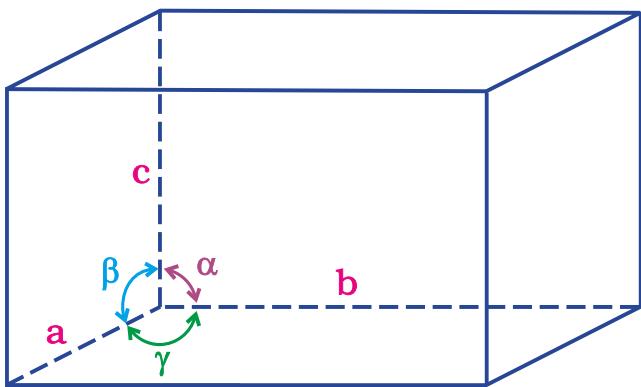
દ્વિપરિમાણમાં બાજુની લંબાઈ 'a' અને 'b' તથા આ બાજુઓ વચ્ચેનો ખૂલ્લો ધરાવતા સમાંતરબાજુ ચતુર્ભુણાને એકમ કોષ્ઠ તરીકે પસંદ કરવામાં આવે છે. દ્વિપરિમાણોમાં શક્ય એકમ કોષો આકૃતિ 1.8માં દર્શાવેલા છે.



આકૃતિ 1.8 : દ્વિપરિમાળમાં શક્ય એકમ કોષ્ઠો



આકૃતિ 1.9 : સ્ફટિક લેટિસના ત્રિપરિમાળીય સમધનીય અવકાશનો એક ભાગ તથા તેનો એકમકોષ



આકૃતિ 1.10 : એકમ કોષના પ્રાચલોનું દર્શાવતું

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

ત્રિપરિમાળીય સ્ફટિક રચનામાં એકમ કોષની લાક્ષણિકતાઓ :

- તેના પરિમાળો તેની ત્રણ ધારો a, b અને c છે. આ ધારો પરસ્પર લંબ હોઈ પણ શકે અથવા ના પણ હોઈ શકે.
- ધારો વચ્ચેના ખૂણા  $\alpha$  ( $b$  અને  $c$  વચ્ચે),  $\beta$  ( $a$  અને  $c$  વચ્ચે) અને  $\gamma$  ( $a$  અને  $b$  વચ્ચે) આમ છ પ્રાચલો a, b, c,  $\alpha$ ,  $\beta$  અને  $\gamma$  એકમ કોષની લાક્ષણિકતાઓ છે.

એક વિશિષ્ટ એકમકોષના આ પ્રાચલો આકૃતિ 1.10માં દર્શાવેલ છે.

#### 1.4.1 આદિમ અને કેન્દ્રિત એકમ કોષો

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

##### (a) આદિમ એકમ કોષો :

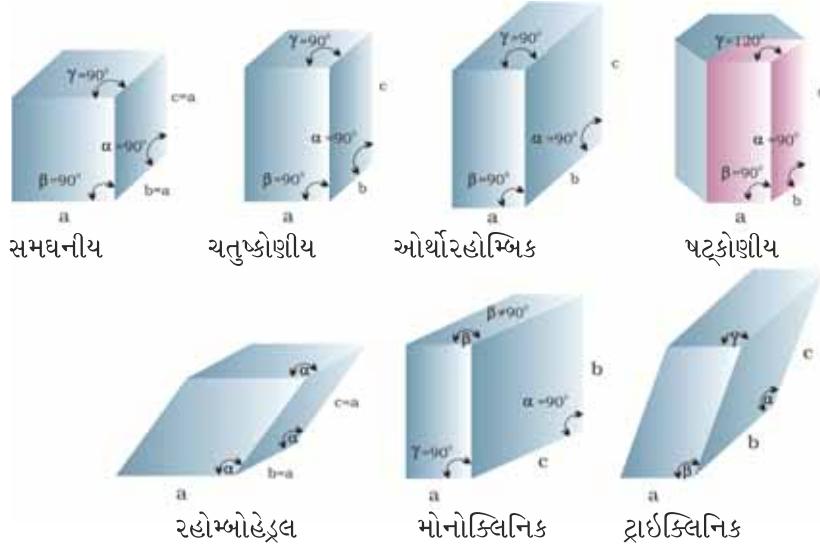
જ્યારે ઘટક કણો માત્ર એકમ કોષના ખૂણાના સ્થાનો પર હાજર હોય તો તેને આદિમ એકમ કોષ કહે છે.

##### (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.

- અંતઃકેન્દ્રિત એકમ કોષો : આવો એકમ કોષ ખૂણાઓ પર રહેલા કણો ઉપરાંત અંતઃકેન્દ્રમાં એક ઘટક કણ (પરમાણુ, આણુ 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 આવા 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 મુજબ બાબતોને વ્યાખ્યાપિત કરવા કેટલી અંશોની જરૂર પડે છે તે નક્કી કરવાથી નિર્ધારિત કરી શકાય છે. આકૃતિ 1.11 સાત સ્ફટિક પ્રણાલીઓ દર્શાવે છે.



આકૃતિ 1.11 : સાત સ્ફટિક પ્રણાલીઓ

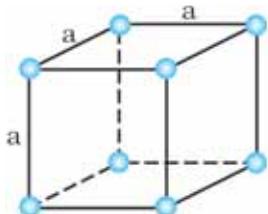
કેન્ય ગણિતશાસ્ત્રી બ્રેવિસે (Bravais) દર્શાવ્યું કે માત્ર 14 જ શક્ય ત્રિપરિમાળીય લેટિસો છે. તેઓને બ્રેવિસ લેટિસ કહે છે. આવા લેટિસના એકમ કોષોને નીચેના ખાના (box)માં દર્શાવ્યા છે. તેમના આદિમ એકમ કોષોની તથા તેઓ બનાવી શકતા હોય તેવા કેન્દ્રિય એકમ કોષોની લાક્ષણિકતાઓની યાદી કોઈક 1.3માં દર્શાવી છે.

કોષેક 1.3 : સાત આદિમ એકમ કોષ અને તેમના કેન્દ્રિય એકમ કોષમાં શક્ય વિચલનો

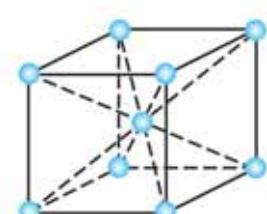
સ્ફટિક પ્રણાલી	શક્ય વિચલન	અક્ષીય અંતર અથવા ધારની લંબાઈ	અક્ષીય ખૂણા	ઉદાહરણ
સમધનીય	આદિમ, અંત:કેન્દ્રિત, ફલક કેન્દ્રિત	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	NaCl, નિકલિન, Cu
ચતુર્ઝોડીય	આદિમ, અંત:કેન્દ્રિત	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	સફેદ ટિન, $\text{SnO}_2$ , $\text{TiO}_2$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

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

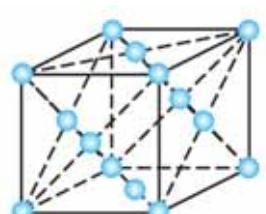
### બ્રેવિસ લેટિસના 14 પ્રકારના એકમ કોષો (અધ્યાત્મિક)



આદિમ (અથવા સાટો)

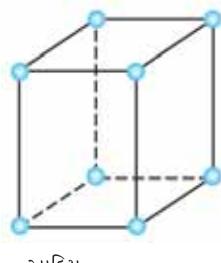


અંત:કેન્દ્રિત

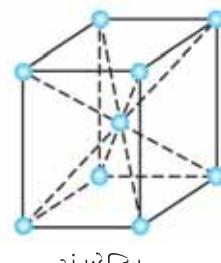


ફલક કેન્દ્રિત

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

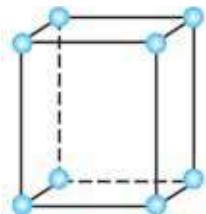


આદિમ

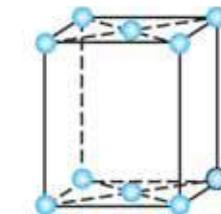


અંત:કેન્દ્રિત

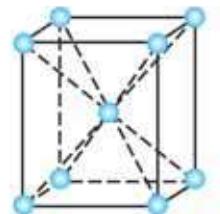
બે ચતુર્ભેંગીય લેટિસના એકમ કોષો : એક બાજુ બીજી કરતા લંબાઈમાં અલગ, બધા ફલક વચ્ચેના બંને ખૂણા  $90^\circ$



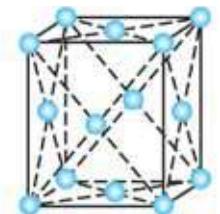
આદિમ



અંત (છેડો) કેન્દ્રિત

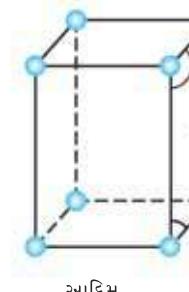


અંત:કેન્દ્રિત

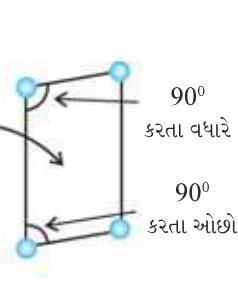


ફલક કેન્દ્રિત

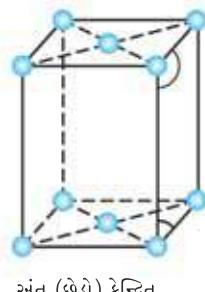
ચાર ઓર્થોરહોમ્બિક લેટિસના એકમ કોષો : બિનસરખી બાજુઓ, ફલક વચ્ચેના બધા ખૂણા  $90^\circ$



આદિમ

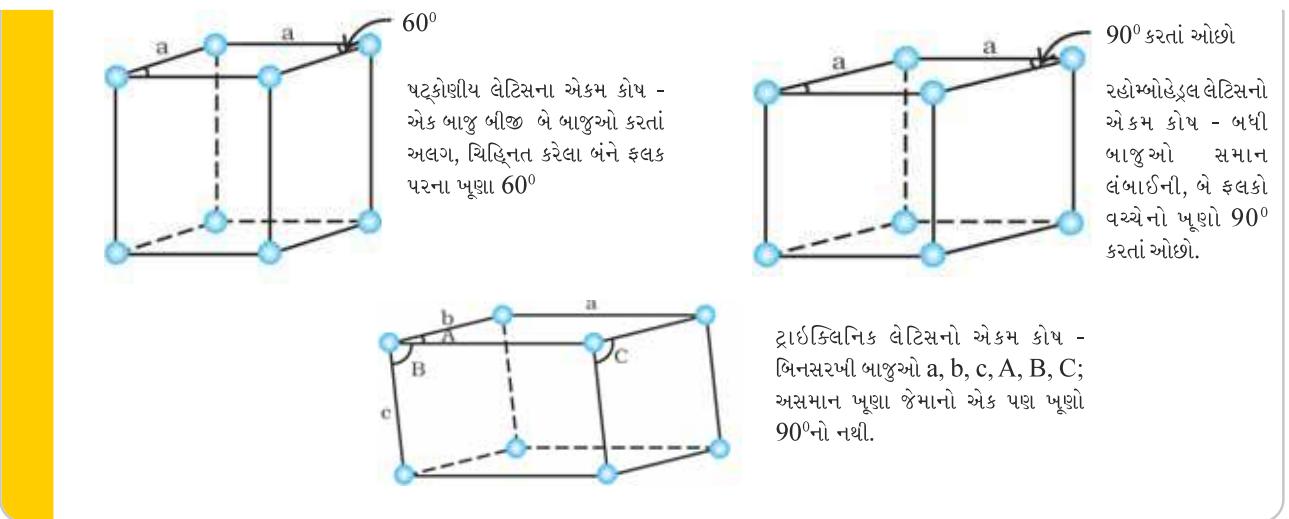


90°  
કરતા વધારે  
90°  
કરતા આંદો



અંત (છેડો) કેન્દ્રિત

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



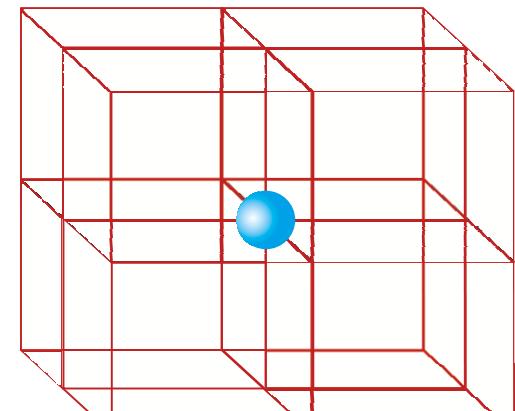
## 1.5 એકમ કોષમાં પરમાણુઓની સંખ્યા (Number of Atoms in a Unit Cell)

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

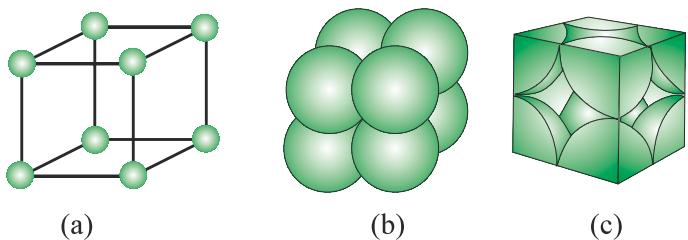
આપણે ત્રણ પ્રકારના સમઘનીય એકમ કોષને ગણતરીમાં લઈશું અને સરળતા ખાતર ધારી લઈશું કે દરેક ઘટક કણ પરમાણુ છે.

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



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

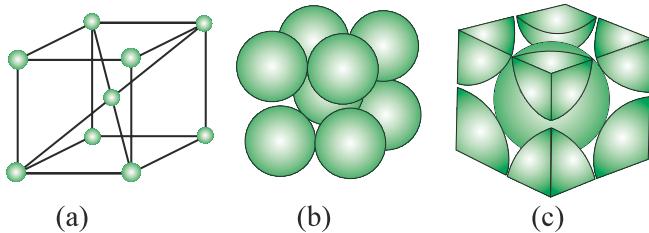


એકંદરે દરેક સમઘનીય એકમ કોષમાં ખૂણાઓ પર 8 પરમાણુઓ હોય છે તેથી એક એકમ કોષમાં પરમાણુની કુલ સંખ્યા  $8 \times \frac{1}{8} = 1$  પરમાણુ થશે.

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

### 1.5.2 અંતકેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (Body Centred Cubic Unit Cell)

અંતકેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) એકમ કોષ તેના દરેક ખૂણા પર એક પરમાણુ ધરાવે છે અને એક પરમાણુ તેના અંતકેન્દ્ર 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 અંતકેન્દ્ર પર રહેલો પરમાણુ જે



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

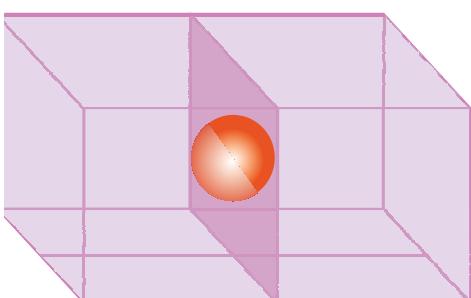
એકમ કોષમાં રહેલો છે તે સંપૂર્ણપણે એકમ કોષનો હોય છે. આથી, અંતકેન્દ્રિત સમઘનીય (bcc) એકમ કોષમાં :

$$\begin{aligned} \text{(i)} \quad & 8 \text{ ખૂણાઓ} \times \frac{1}{8} \text{ દરેક ખૂણાનો પરમાણુ = } 8 \times \frac{1}{8} & = 1 \text{ પરમાણુ} \\ \text{(ii)} \quad & \text{એક અંતકેન્દ્ર પરમાણુ} = 1 \times 1 & = 1 \text{ પરમાણુ} \\ & \therefore \text{પ્રતિ એકમ કોષ પરમાણુઓની કુલ સંખ્યા} & = 2 \text{ પરમાણુઓ} \end{aligned}$$

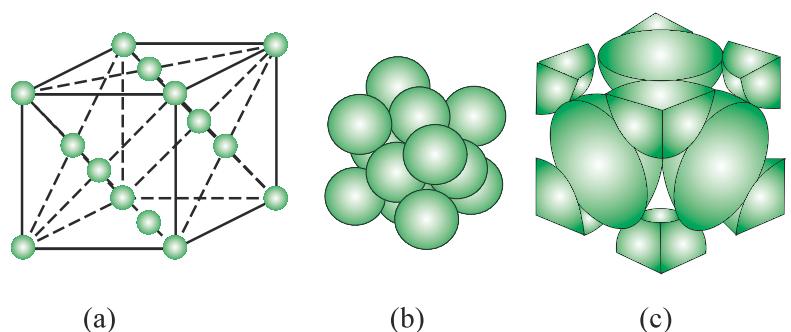
### 1.5.3 ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય એકમ કોષ (Face Centred Cubic Unit Cell)

ફલક કેન્દ્રિત સમઘનીય (fcc) એકમ કોષ બધા જ ખૂણાઓ પર પરમાણુ ધરાવે છે અને સમઘનજા 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 :

$$\begin{aligned} \text{(i)} \quad & 8 \text{ ખૂણાના પરમાણુઓ} \times \frac{1}{8} \text{ પરમાણુ પ્રતિ એકમ} = 8 \times \frac{1}{8} & = 1 \text{ પરમાણુ} \\ \text{(ii)} \quad & 6 \text{ ફલક કેન્દ્રિત પરમાણુઓ} \times \frac{1}{2} \text{ પરમાણુ પ્રતિ એકમ કોષ} = 6 \times \frac{1}{2} = 3 \text{ પરમાણુઓ} \\ & \therefore \text{પરમાણુઓની કુલ સંખ્યા પ્રતિ એકમ કોષ} & = 4 \text{ પરમાણુઓ} \end{aligned}$$



આકૃતિ 1.15 : પરમાણુ જે એકમ કોષના ફલકકેન્દ્ર 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

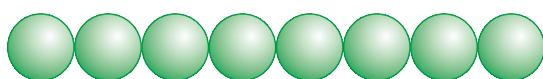
- 1.9 ‘લેટિસ બિંદુ’ની સાર્થકતા જણાવો.
- 1.10 એકમ કોષને લાક્ષણિક બનાવતા પ્રાચ્યલોનાં નામ લખો.
- 1.11 તફાવત દર્શાવો (વિભેદિત કરો) :
  - (i) ઘટકોણીય અને મોનોક્લિનિક એકમ કોષો
  - (ii) ફલક કેન્દ્રિત અને અંત (છેડો) કેન્દ્રિત એકમ કોષો
- 1.12 સમજાવો કે સમઘનીય એકમ કોષના (i) ખૂણા પર અને (ii) અંત:કેન્દ્રિત સ્થાન પર રહેલા પરમાણુનો કેટલો ભાગ તેના પડોશી એકમ કોષનો ભાગ રોકે છે ?

## 1.6 સંવૃત સંકુલિત રચનાઓ (Close Packed Structures)

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

### (a) એક પરિમાળમાં સંવૃત સંકુલન

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



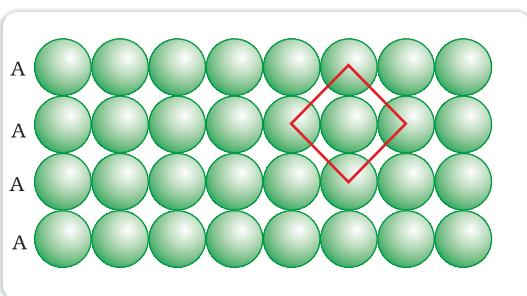
આકૃતિ 1.17 : એક પરિમાળમાં ગોળાઓનું સંવૃત સંકુલન

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 પરિમાળિય સંવૃત સંકુલિત ગોઠવણમાં સવર્ગ આંક 2 છે.

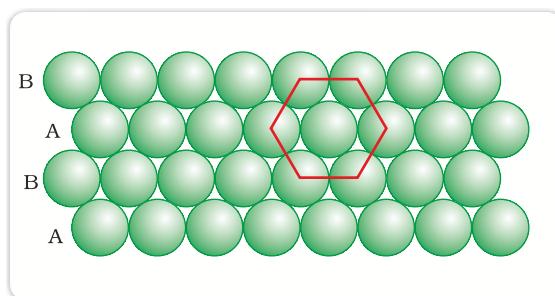
### (b) ટ્રિ-પરિમાળમાં સંવૃત સંકુલન

ટ્રિ-પરિમાળિય 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) ટ્રિ-પરિમાળમાં ગોળાઓનું ચોરસ સંવૃત સંકુલન (b) ઘટકોણીય સંવૃત સંકુલન

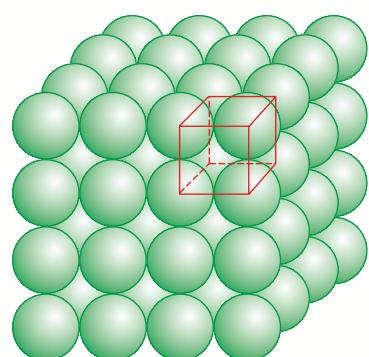
આ ગોઠવણમાં દરેક ગોળો તેના ચાર પડોશીના દરેક ગોળા સાથે સંપર્કમાં હોય છે. આથી દ્વિ-પરિમાળીય સર્વર્ગ અંક 4 છે. વળી, ચારેય તટેન નજીકના પડોશી ગોળાના કેન્દ્રોને જોડીએ, તો એક ચોરસ રચાશે. આથી આ સંકુલનને દ્વિ-પરિમાળમાં ચોરસ સંવૃત સંકુલન કહે છે.

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

### (c) ત્રિ-પરિમાળમાં સંવૃત સંકુલન

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

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

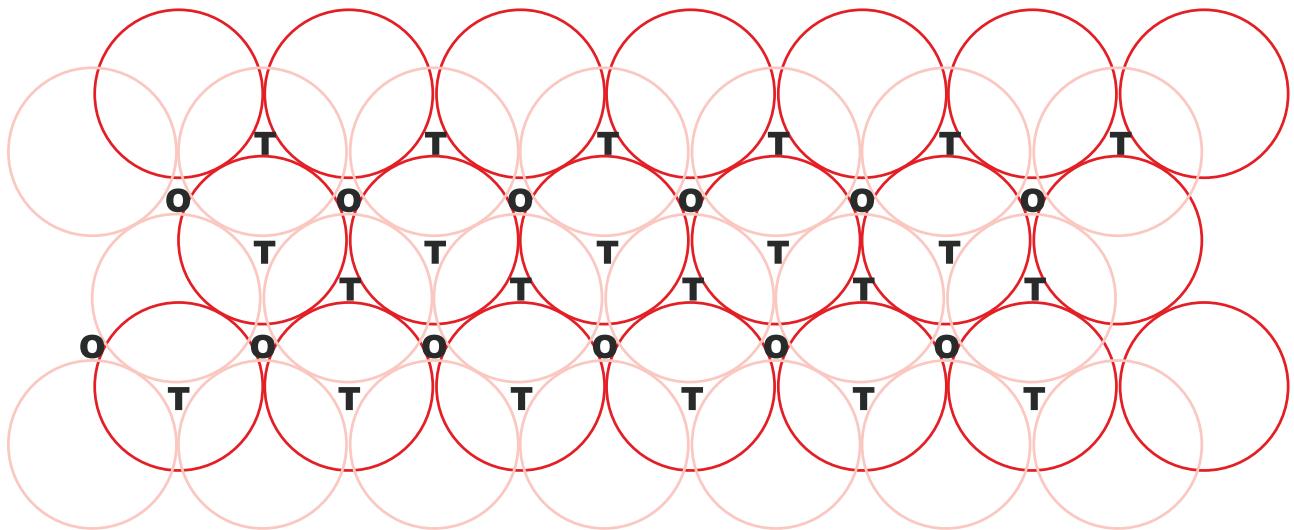


આકૃતિ 1.19 : AAA ..... ગોઠવણથી રચાયેલ સાધી ઘન લેટિસ

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

(a) બીજા સ્તરને પ્રથમ સ્તર પર ગોડવીને

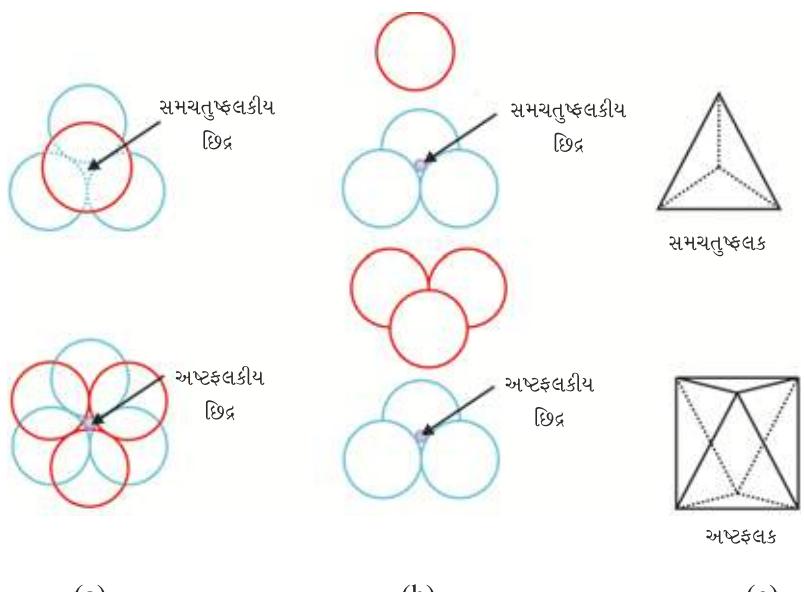
આપણે ખટકોણીય સંવૃત સંકુલિત સ્તર ‘A’ લઈએ અને તેના પર એવું જ બીજું સ્તર ગોડવીએ જેથી બીજા સ્તરના ગોળાઓ પહેલા ગોળાના અવનમનમાં બરાબર ગોડવાય. આમાં બંને સ્તરના ગોળાઓ અલગ રીતે ગોડવાયેલા છે માટે બીજા સ્તરને B કહીએ. આકૃતિ 1.20માંથી આપણે અવલોકન કરી શકીએ કે પ્રથમ સ્તરના ભધા જ ત્રિકોણીય છિદ્રો બીજા સ્તરના ગોળાઓ વડે સંપૂર્ણ રીતે ઢંકાયેલા નથી. આ જુદી ગોડવણની ર્ચના કરે છે. જ્યારે બીજા સ્તરના ગોળાઓ પ્રથમ ગોળાના છિદ્રો પર (અથવા તેથી ઊલંઘું) ગોડવાય છે ત્યારે સમયતુફલકીય છિદ્રો રચાય છે.



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

T = સમયતુફલકીય છિદ્ર, O = અષ્ટકલકીય છિદ્ર

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



આકૃતિ 1.21 :

સમયતુફલકીય અને અષ્ટકલકીય 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;

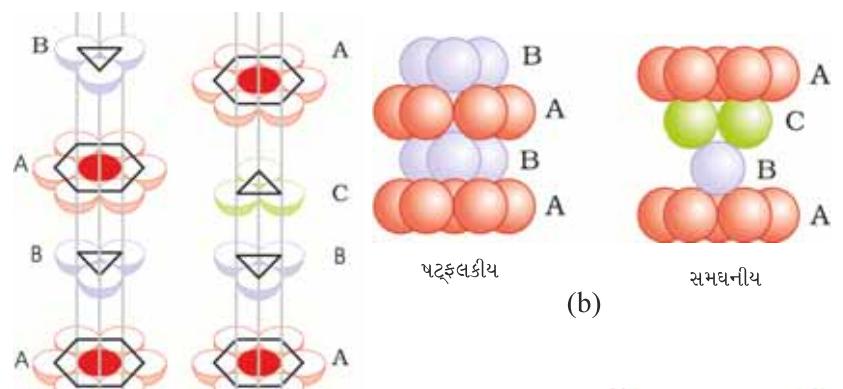
પછી, સર્જિત અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા =  $N$

સર્જિત સમયતુષ્ટલકીય 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) સમયતુષ્ટલકીય છિદ્રો ઢાંકતા : બીજા સ્તરના સમયતુષ્ટલકીય છિદ્રો ત્રીજા સ્તરના ગોળાઓ વડે ઢંકાઈ જાય. આ બાબતમાં ત્રીજા સ્તરના ગોળા પ્રથમ સ્તરના ગોળાઓ સાથે બરોબર રીતે (align) ગોઠવાય છે. આમ, ગોળાની ભાત એકાંતરે (alternative) પુનરાવર્તિત થાય છે. આ ભાત ને ABAB ભાત તરીકે લખાય છે. આ રચના હેકાગોનલ કલોઝ પેક (hcp) રચના કહેવાય છે (આકૃતિ 1.22). આ પ્રકારની પરમાણુની ગોઠવણ મેળેશિયમ અને જિંક જેવી ઘણી ધાતુઓમાં ભળી આવે છે.

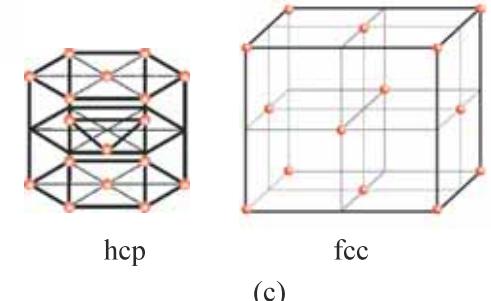
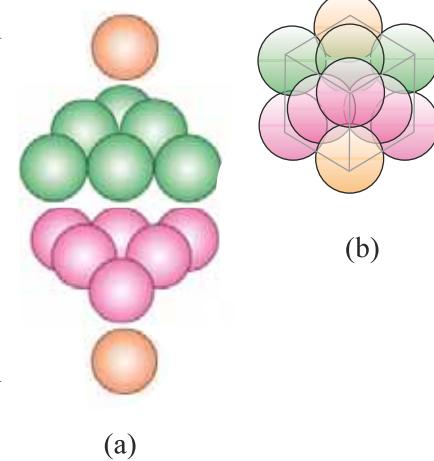


### આકૃતિ 1.22 :

- (a) પદ્ધલકીય સમધનીય સંવૃત સંકુલનનો વિસ્તૃત દેખાવ જે ગોળાના સ્તર દર્શાવે છે.
- (b) દરેક કિસ્સામાં ચાર સ્તર થાપી કરેલા
- (c) સંકુલનની ભૂમિતિ

### આકૃતિ 1.23 :

- (a) ABCABC ... સ્તરોની ગોઠવણી જ્યારે અષ્ટફલકીય છિદ્ર ઢંકાયેલ છે. (b) આ ગોઠવણીથી રચાયેલ રચનાનો અંશ (fragment) જે સમધનીય સંવૃત સંકુલિત (ccp) અથવા ફલક કેન્દ્રિત સમધનીય (fcc) રચનામાં પરિણામે 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 દિતીય સ્તરના ગોળાઓ સાથે બરોબર રીતે (aligned) ગોઠવાતા નથી. આ ગોઠવણીને પ્રકાર C કહે છે. માત્ર જ્યારે

ચોથું સ્તર ગોડવવામાં આવે છે ત્યારે જ ગોળાઓ આકૃતિ 1.22 અને 1.23માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પહેલા સ્તરના ગોળાઓ પર બરાબર રીતે ગોડવાય છે. સ્તરની આ ભાતને ABCABC ... પ્રમાણે લખવામાં આવે છે. આ રચનાને સમધનીય સંવૃત સંકુલિત (cubic close packed) અથવા ફલક કેન્દ્રિત સમધનીય (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 બરી દે છે. તેમાંના ગમે તેમાં દરેક ગોળો બાર ગોળાઓના સંપર્કમાં હોય છે. આમ, આ બંને રચનાઓમાંથી ગમે તેમાં સર્વજ 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 પરિણામે 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 અણાયન) સંવૃત સંકુલિત રચના બનાવે છે અને વધુ નાના આયનો (સામાન્ય રીતે ઘનાયન) 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 (અણાયન તરીકે)ના પરમાણુઓ ccp બનાવે છે અને તત્ત્વ X (ઘનાયન તરીકે)ના પરમાણુઓ બધા જ અષ્ટફલકીય છિદ્રો બરી 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<sub>4</sub>B<sub>3</sub> છે.

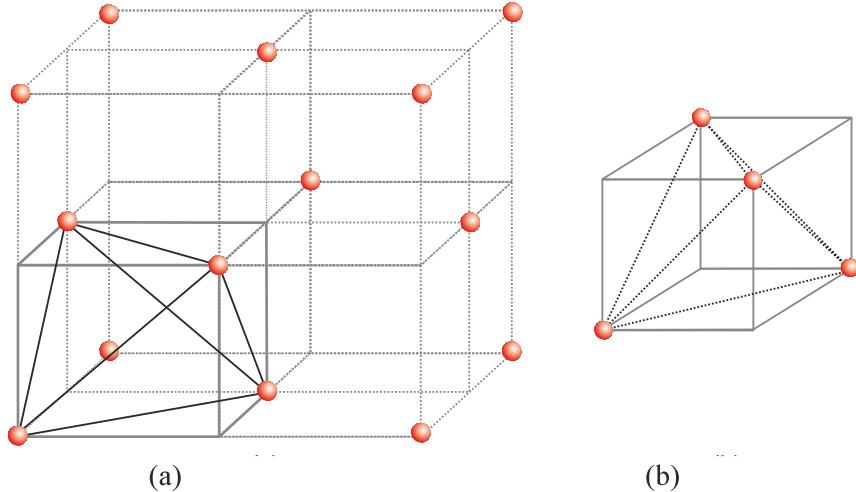
#### ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રોના સ્થાન દર્શાવવા

આપણે જાડીઓ 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 સમધનમાં 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 સમચતુર્ફલક રહે છે. તેથી દરેક નાના સમઘનમાં એક સમચતુર્ફલકીય છિદ્ર છે અને કુલ આઈ સમચતુર્ફલકીય છિદ્રો હોય છે. CCP રચનાના એક એકમ કોષમાંના આઈ નાના સમઘનમાંના દરેકને એક છિદ્ર હોય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે CCP રચનામાં દરેક એકમ કોષમાં 4 પરમાણુ હોય છે. તેથી સમચતુર્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા પરમાણુની સંખ્યાથી બમજી હોય છે.

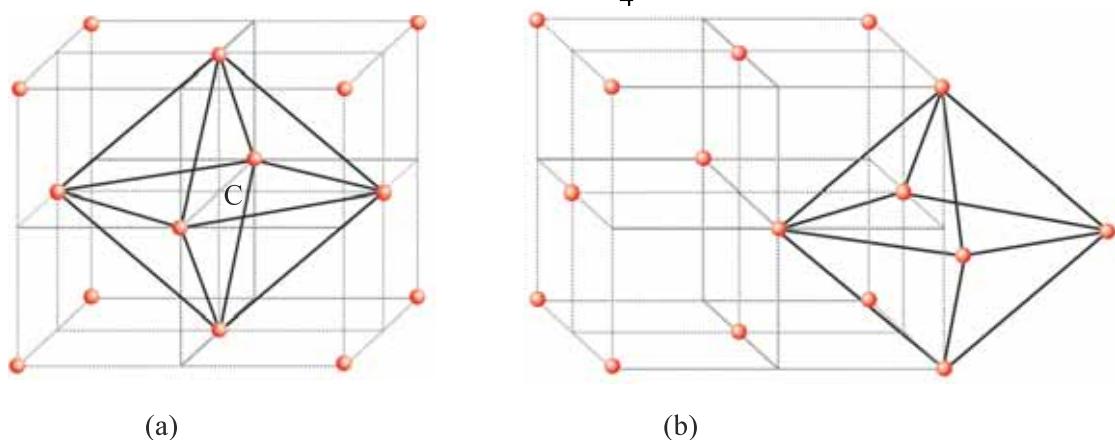


આકૃતિ 1 : (a) CCP રચનાના એક એકમ કોષમાં આઈ સમચતુર્ફલકીય છિદ્ર  
(b) એક સમચતુર્ફલકીય છિદ્ર જે ભૂમિતિ દર્શાવે છે.

#### (b) અષ્ટફલકીય છિદ્રના સ્થાન દર્શાવવા

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

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

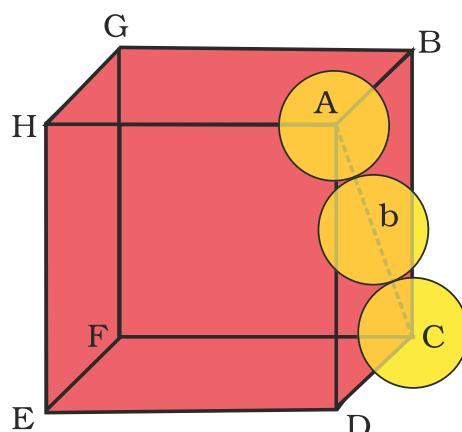
$$12 \text{ અષ્ટફલકીય છિદ્ર} \times 4 \text{ દરેક ધાર} \text{ પર સ્થાન ધરાવે છે} \\ = 12 \times \frac{1}{4} = 3$$

$$\therefore \text{કુલ અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા} = 4$$

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)

### 1.7.1 hcp અને CCP રચનામાં સંકુલન ક્ષમતા (Packing Efficiency in hcp and CCP packings)



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

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 સમધનનું કદ  $a^3$  અથવા  $(2\sqrt{2}r)^3$  થશે.

નથી,

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

$$= \frac{4 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3 \times 100}{(2\sqrt{2}r)^3} \% \\ = \frac{(16/3)\pi r^3 \times 100}{16\sqrt{2}r^3} \% = 74 \%$$

### 1.7.2 અંતકેન્દ્રિત સમધનીય રચનામાં સંકુલનની ક્ષમતા (Efficiency of Packing in Body Centred Cubic Structures)

આકૃતિ 1.25માંથી સ્પષ્ટ છે કે કેન્દ્રમાંનો પરમાણુ બીજા બે પરમાણુઓ સાથે વિકર્ષરૂપે ગોઠવાઈને અહેલો હશે.

$\Delta \text{EFD}$ માં

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

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

હવે,  $\Delta \text{AFD}$ માં,

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

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

અંતઃવિકર્ષ લની લંબાઈ  $4r$  છે જ્યાં  $r$  ગોળા(પરમાણુ)ની ત્રિજ્યા છે, કરણ કે બધા ગોળાઓ વિકર્ષ રીતે એકબીજાને અડકે છે.

તેથી,  $\sqrt{3}a = 4r$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

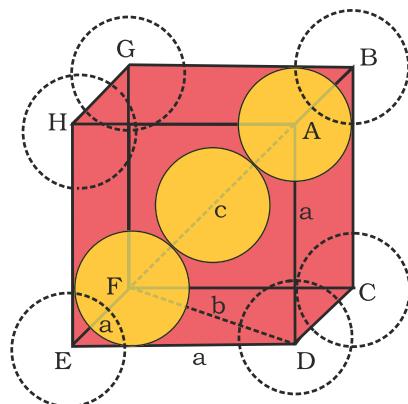
આમ, ધારની લંબાઈ અથવા સમધનની બાજુ ‘ $a$ ’ અને દરેક કણની ત્રિજ્યા  $r$  નીચે પ્રમાણે સંબંધિત છે.

$$a = 2r$$

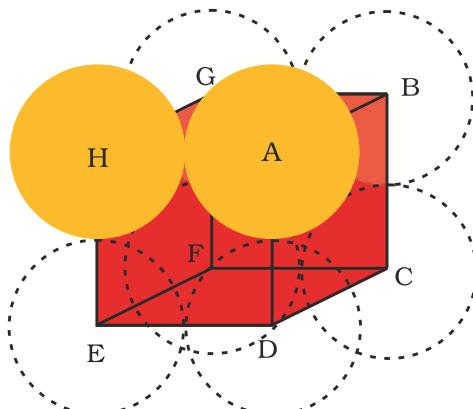
$$\text{સમધન એકમ કોષનું કદ} = a^3 = (2r)^3 = 8r^3$$

સાદો સમધનીય એકમ કોષ 1 જ પરમાણુ ધરાવતો હોઈ,

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



આકૃતિ 1.25 : અંતકેન્દ્રિત સમધનીય એકમ કોષ (અંતઃવિકર્ષ તરફના ગોળા ઘણ હદરેખાઓથી દર્શાવેલ છે).



**આકૃતિ 1.26 :** સાદા સમધનીય એકમ કોષ ખૂણા પરના ગોળાઓ સમધનની ધાર સાથે જોડાયેલા છે.

∴ સંકુલન ક્ષમતા

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

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

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

આમ, આપણે એમ તારવી શકીએ કે ccp અને hcp રચનાને મહત્વમાં પોંકિંગ ક્ષમતા હોય છે.

### 1.8 એકમ કોષ પરિમાણ સમાવિષ્ટ ગણાતરીઓ (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 (એકાડી) પરમાણુના દળનું નિર્ધારણ એવોગેડો 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  $\times$  દરેક પરમાણુનું દળ =  $z \times m$  [અહીંયા Z એક એકમ કોષમાં રહેલા પરમાણુની સંખ્યા છે અને m દરેક એકલ (એકાડી) પરમાણુનું દળ છે.]

એકમ કોષમાં રહેલા પરમાણુનું દળ

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

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

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

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

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

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

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

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

તત્ત્વના 208 g નું કદ

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

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 gમાં કુલ પરમાણુની સંખ્યા =  

$$2 (\text{પરમાણુ} / \text{એકમ કોષ}) \times 12.08 \times 10^{23} \text{ એકમ કોષ}$$
  

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

#### કોયડો 1.4

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

#### ઉકેલ

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

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

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

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

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

#### કોયડો 1.5

સિલ્વર ccp લેટિસ રચે છે અને તેના સ્ફટિકના X-કિરણોનો અભ્યાસ દર્શાવે છે કે એકમ કોષની ધાર લંબાઈ  $408.6 \text{ pm}$  છે. સિલ્વરની ઘનતા ગણો (પરમાણવીય દળ =  $107.9 \text{ u}$ ).

#### ઉકેલ

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

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

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

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

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

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

#### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

1.13 ચોરસ સંવૃત સંકુલિત સ્તરમાં આણુનો દ્વિ-પરિમાણીય સરવર્ગ આંક શું હશે ?

1.14 એક સંયોજન ખટકોણીય સંવૃત સંકુલિત રચના બનાવે છે. તેના  $0.5 \text{ mol}$  માં છિદ્રોની કુલ સંખ્યા કેટલી હશે ? આ પૈકીના કેટલા છિદ્રો સમયતુલ્ખલકીય છે ?

- 1.15 એક સંયોજન બે તત્ત્વો M અને Nથી રચાય છે. તત્ત્વ N ccp રચે છે અને Mના પરમાણુઓ સમયતુલ્લકીય છિદ્રોનો 1/3 ભાગ રોકે છે. સંયોજનનું સૂત્ર શું હશે ?
- 1.16 નીચેનામાંથી કઈ લેટિસને સૌથી વધુ સંકુલન ક્રમતા હશે ? (i) સાધો સમઘનીય (ii) અંતકેન્દ્રિત સુમઘનીય અને (iii) પટ્ટક્ષેપીય 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 પદાર્થમાં અપૂર્ણતા (Imperfections in Solids)

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થમાં ટૂંકાગાળા(વિસ્તાર)ની તેમજ લાંબાગાળા(વિસ્તાર)ના કમની તેમના ઘટક કણોની ગોઠવણી હોય છે તેમ છતાં સ્ફટિકપૂર્ણ હોતા નથી. સામાન્ય રીતે ઘન પદાર્થ નાના સ્ફટિકોની મોટી સંખ્યાનો સમુચ્ચ ધરાવે છે. નાના સ્ફટિકોને પડા ક્ષતિ હોય છે. આવું જ્યારે સ્ફટિકીકરણ પ્રક્રિયા વધુ જરૂરી 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 ગ્રાફ પ્રકારમાં વર્ગીકૃત કરી શકાય. (i) તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ (ii) અશુદ્ધિ ક્ષતિ અને (iii) બિનતત્વયોગમિતિય ક્ષતિ.

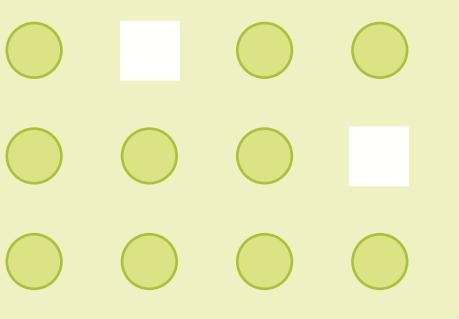
#### (a) તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ

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

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

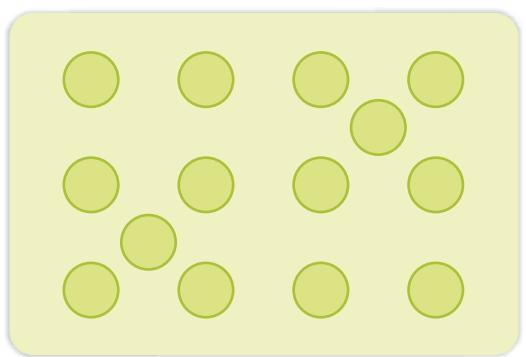
(ii) આંતરાલીય ક્ષતિ : જ્યારે કેટલાક ઘટક કણો (પરમાણુ અથવા આણ) આંતરાલીય સ્થાન મેળવે છે ત્યારે સ્ફટિકને આંતરાલીય ક્ષતિ છે એમ કહેવાય છે (આકૃતિ 1.28). આ ક્ષતિ પદાર્થની ઘનતા વધારે છે.

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



આકૃતિ 1.27 : રિક્ત (ખાલી) ક્ષતિ

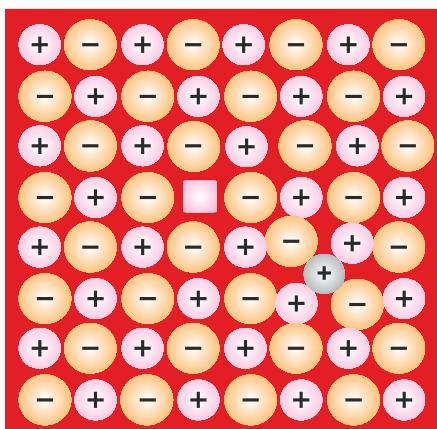
(iii) ફેન્કલ ક્ષતિ : આ ક્ષતિ આયનીય ઘન પદાર્થ દ્વારા દર્શાવાય છે વધુ નાનો આયન (સામાન્ય રીતે ધનાયન) પોતાના સામાન્ય સ્થાનમાંથી અંતરાલય સ્થાનમાં વિસ્થાપન અથવા સ્થાનભ્રંશ (dislocation) થયેલ હોય છે (આકૃતિ 1.29). તે રિક્ત ક્ષતિ તેના મૂળ સ્થાને ઉપજાવે છે અને આ નવા સ્થાને અંતરાલીય ક્ષતિ ઉપજાવે છે.



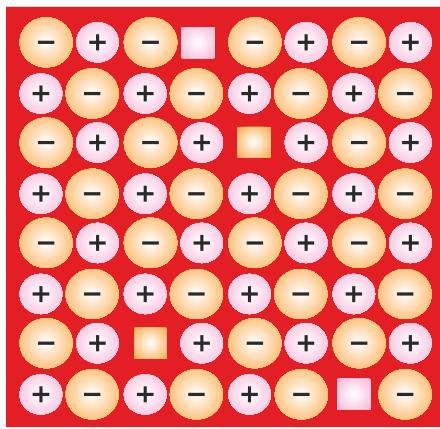
આકૃતિ 1.28 : અંતરાલીય ક્ષતિ

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.

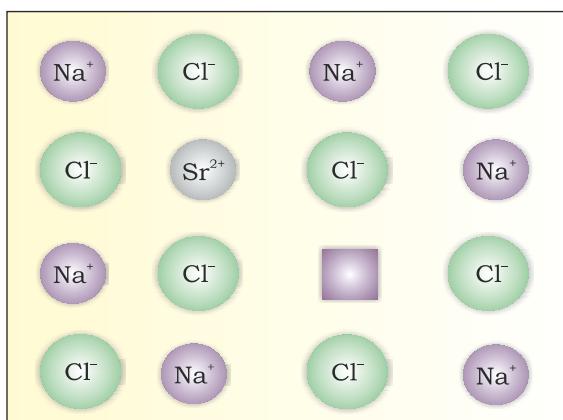
(iv) શૉટ્કી ક્ષતિ : તે મૂળભૂત રીતે આયનીય ઘન પદાર્થમાં રિક્ત ક્ષતિ છે. વિદ્યુતીય તત્ત્વસ્ત્રાંતરીની સંખ્યા સરખી હોય છે (આકૃતિ 1.30).



આકૃતિ 1.29 : ફેન્કલ ક્ષતિ



આકૃતિ 1.30 : શૉટ્કી ક્ષતિ



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

સાદી રિક્ત ક્ષતિની જેમ, શૉટ્કી ક્ષતિ પદાર્થની ઘનતા ઘટાડે છે. આયનીય ઘન પદાર્થમાં આવી ક્ષતિની સંખ્યા અર્થસૂચક હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $NaCl$ માં, આશરે  $10^6$  શૉટ્કી ક્ષતિ પ્રતિ સેમી $^3$  ઓરડાના તાપમાને હોય છે. 1 સેમી $^3$ માં આશરે  $10^{22}$  આયનો હોય છે. આથી દર 10 $^{16}$  આયનોમાં એક શૉટ્કી ક્ષતિ એવા હોય છે. શૉટ્કી ક્ષતિ એવા

આયનીય પદાર્થી 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 શૉટ્કી ક્ષતિ દર્શાવે છે.

#### (b) અશુદ્ધી ક્ષતિ

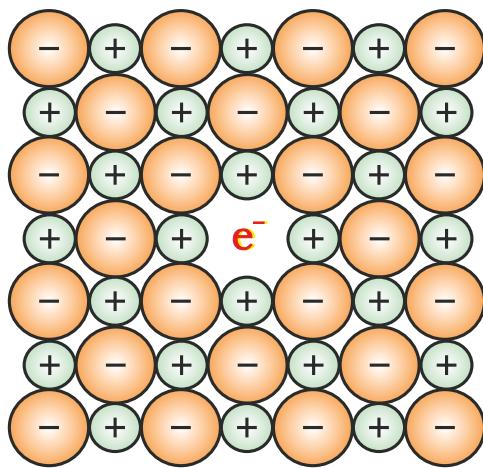
જો પિગલિત  $NaCl$  જેમાં થોડો જથ્થો  $SrCl_2$ નો રહેલો છે અને તેનું સ્ફટિકરણ કરવામાં આવે તો  $Na^+$ ના કેટલાક સ્થાનો  $Sr^{2+}$  આયનો વડે મેળવી લેવાય છે (આકૃતિ 1.31). દરેક  $Sr^{2+}$  બે  $Na^+$  આયનને ફેરબદલે છે. તે એક આયનનું સ્થાન મેળવે છે અને બીજું સ્થાન ખાલી રહે છે. આ રીતે ઉત્પન્ન થયેલી ધનાયનીય રિક્ત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

### (c) બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ

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

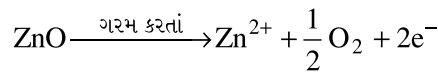
#### (i) ધાતુ વધારો ક્ષતિ

- એનાયનીય (ઋણાયનીય) રિક્ત સ્થાનોને કારણે ધાતુ વધારો ક્ષતિ :  $\text{NaCl}$  અને  $\text{KCl}$  જેવા આલ્કલી ડેલાઈડ આ પ્રકારની ક્ષતિ દર્શાવે છે. જ્યારે સોઝિયમ ક્લોરાઈડના સ્ફટિકને સોઝિયમ બાણ્ણના વાતાવરણમાં ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે સોઝિયમ પરમાણુ સ્ફટિકની સપાટી પર જમા થાય છે.  $\text{Cl}^-$  સ્ફટિકની સપાટીમાં પ્રસરણ પામે છે અને  $\text{Na}^+$  પરમાણુ સાથે સંયોજાય છે અને  $\text{NaCl}$  આપે છે. આ સોઝિયમ પરમાણુમાંથી  $\text{Na}^+$  આયન બનવાથી ગુમાવતા ઈલેક્ટ્રોનને લીધે બને છે. આ છૂટો પેલો ઈલેક્ટ્રોન સ્ફટિકમાં પ્રસરે છે અને એનાયનીય સ્થાન રોડી લે છે (આકૃતિ 1.32). આને પરિણામે સ્ફટિક હવે સોઝિયમનો વધારો ધરાવે છે. અયુભિત ઈલેક્ટ્રોન દ્વારા રોકાયેલ એનાયનીય સ્થાનોને  $\text{F}^-$  કેન્દ્ર (જર્મન શબ્દ Farbenzenter - રંગીન કેન્દ્ર માટે) કહે છે, તે  $\text{NaCl}$ ના સ્ફટિકને પીળો રંગ આપે છે. આ રંગ જ્યારે સ્ફટિક તેના પર પડતા દશ્ય પ્રકારણમાંથી ઊર્જા શોષે છે ત્યારે ઉત્તેજિત થતા આ ઈલેક્ટ્રોનને લીધે હોય છે. તેવી જ રીતે  $\text{LiCl}$ ના સ્ફટિકને વધુ લિથિયમ આઇઓ ગુલાબી રંગ અને  $\text{KCl}$ ના સ્ફટિકને વધુ પોટોશિયમ જાંબલી (અથવા નીલવરણી) બનાવે છે.



આકૃતિ 1.32 : સ્ફટિકમાં  $\text{F}^-$  કેન્દ્ર

- ધાતુ વધારો ઊંઘાપ જે આંતરાલીય સ્થાનો પરના વધારાના ધનાયનને કારણે હોય છે : જિંક ઔક્સાઈડ ઓરડાના તાપમાને રંગે સફેદ હોય છે. તેને ગરમ કરતાં તે ઔક્સિજન ગુમાવે છે અને પીળા રંગમાં ફેરવાય છે.



હવે સ્ફટિકમાં જિંકનો વધારો હોય છે અને તેનું સૂત્ર  $\text{Zn}_{1+x}\text{O}$  બને છે. વધારાના  $\text{Zn}^{2+}$  આયન આંતરાલીય સ્થાન તરફ ખસે છે અને ઈલેક્ટ્રોન પડોશી (નજીકના) આંતરાલીય સ્થાનો તરફ ખસે છે.

#### (ii) ધાતુ ઊંઘાપ ક્ષતિ

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

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

- વાહકો : જે ઘન  $10^4$  થી  $10^7 \text{ ohm}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ના ગાળામાં વાહકતા ધરાવે છે તેમને વાહકો કહે છે. ધાતુઓને વાહકતાનો કમ  $10^7 \text{ ohm}^{-1} \text{ m}^{-1}$  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)

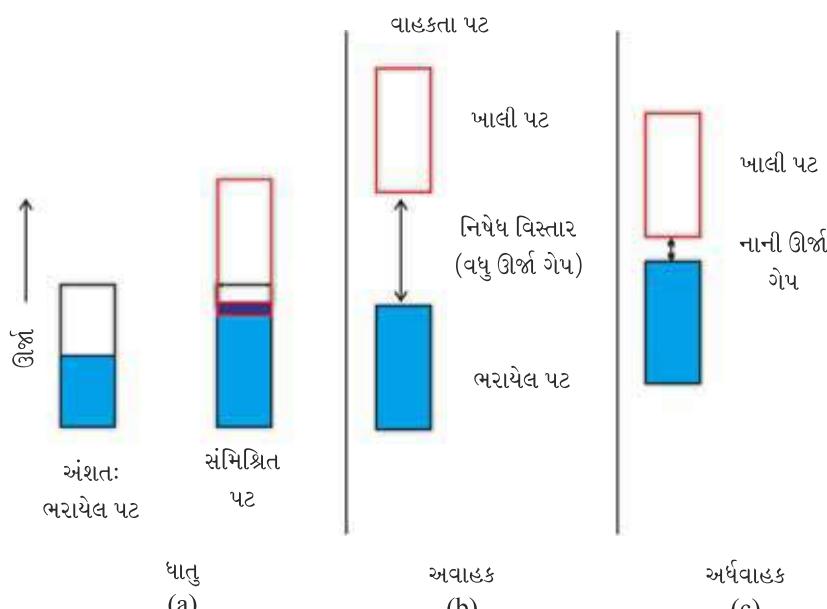
વાહક વિદ્યુતનું વહન ઈલેક્ટ્રોન અથવા આયનોની હિલચાલ (movement) મારફતે કરે છે. ધાત્વીય વાહકોનો પ્રથમ વિભાગમાં અને વિદ્યુતવિભાજ્યોનો બીજા વિભાગમાં સમાવેશ થાય છે.

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

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

અર્ધવાહકોની બાબતમાં સંયોજકતા પટ અને વાહકતા પટ વચ્ચેની જગ્યા ઓછી હોય છે (આકૃતિ 1.33 c). આથી કેટલાક ઈલેક્ટ્રોન વાહકતા પટમાં ફૂદી જઈ શકે છે અને થોડીક (કટલીક) વાહકતા દર્શાવે છે. અર્ધવાહકોની વિદ્યુતીય વાહકતા તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે કારણ કે વધુ ઈલેક્ટ્રોન વાહકતા પટમાં ફૂદીને જઈ શકે છે. સિલિકોન અને જર્મનિયમ 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 જર્મનિયમ જેવા આંતરિક



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

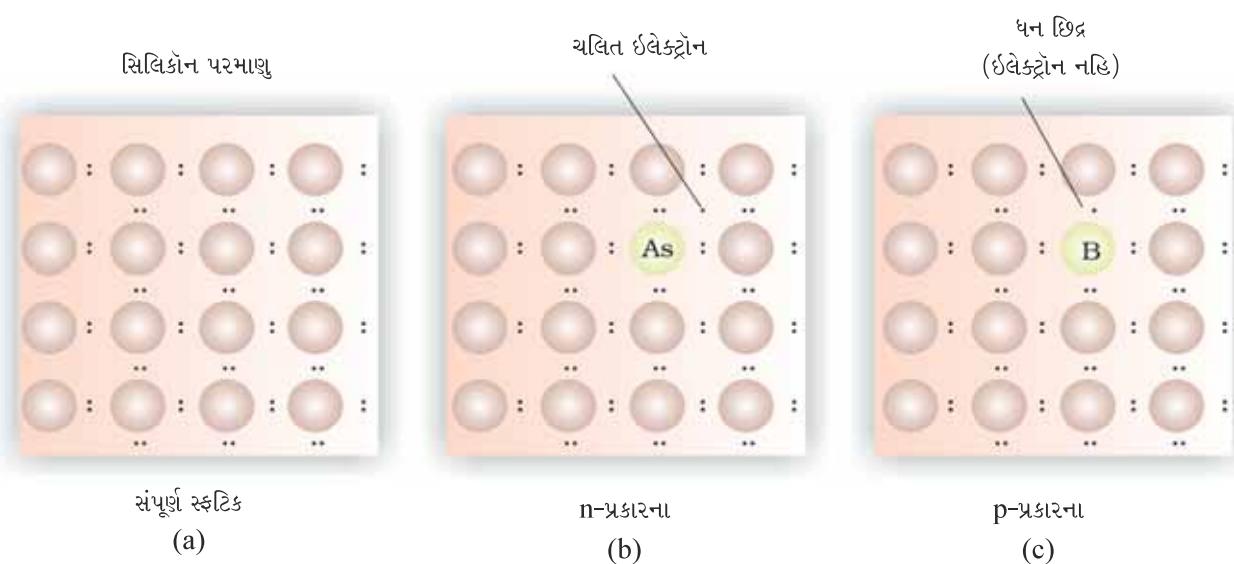
અર્ધવાહક કરતાં વધુ ઈલેક્ટ્રોન સમૃદ્ધિ અથવા ઈલેક્ટ્રોન ઊણપ અશુદ્ધિઓનો ઉપયોગ કરીને કરી શકાય છે. આવી અશુદ્ધિઓ ઈલેક્ટ્રોનીય ક્ષતિ દાખલ કરે છે.

#### (a) ઈલેક્ટ્રોન સમૃદ્ધ અશુદ્ધિ :

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

#### (b) ઈલેક્ટ્રોન - ઊણપ અશુદ્ધિ :

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



આકૃતિ 1.34 : સમૂહ 13 અને 15 ના ઈલેક્ટ્રોનના ડોપિંગથી n-પ્રકાર અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોનું સર્જન

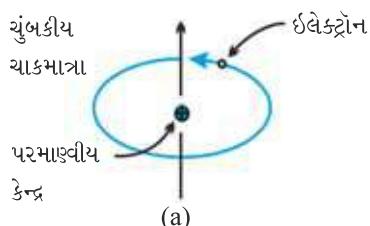
n-પ્રકારના અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોના અનુપ્રયોગો (ઉપયોગો)

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 રેકિટેશનાયર તરીકે વપરાય છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટર એક પ્રકારના અર્ધવાહક બીજા પ્રકારના બે અર્ધવાહક વચ્ચેના સ્તરમાં સેન્ડવિચ (sandwich) કરીને બનાવવામાં આવે છે. npn અને pnp પ્રકારના ટ્રાન્ઝિસ્ટર રેટિયો અથવા ઓફિયો સિનલ(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 રહ્યે છે. વિપુલપ્રકારના ધન 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 ઉદ્દૃપ્ત (stimulate) કરે છે. સમૂહ 13-15ના વિશિષ્ટ સંયોજનો InSb, AlP અને GaAs છે. ગેલિયમ આર્સેનાઈડ (GaAs) અર્ધવાહકો ખૂબ જ ઝડપી પ્રતિક્રિયા (response) આપે છે અને તેમણે અર્ધવાહક સાધનોની (ઉપકરણો) (devices) ડિઝાઇનમાં કાંતિ સર્જ છે. ZnS, CdS, CdSe અને HgTe સમૂહ 12-16ના સંયોજનોના ઉદાહરણ છે. આ સંયોજનોમાં બંધ સંપૂર્ણ સહસંયોજક નથી હોતા અને આયનીય લાક્ષણિકતા બંને તત્ત્વોની વિદ્યુતત્રણાત્મકતા પર આધાર રાખે છે.

એ શીખવું રસપ્રદ છે કે સંકાતિ ધાતુ ઔક્સાઈડ વિદ્યુતીય ગુણધર્મમાં નોંધપાત્ર તફાવત દર્શાવે છે. TiO<sub>2</sub>, CrO<sub>2</sub> અને ReO<sub>3</sub> ધાતુની જેમ વર્તે છે. રૂહેનિયમ ઔક્સાઈડ (ReO<sub>3</sub>) વાહકતા અને દેખાવમાં ધાત્વીય કોપર જેવો છે. બીજા કેટલાક ઔક્સાઈડ જેવા કે VO, VO<sub>2</sub>, VO<sub>3</sub> અને TiO<sub>3</sub> તાપમાન પર આધારિત ધાત્વીય અથવા અવાહકતાના ગુણધર્મ દર્શાવે છે.

## 1.11 ચુંબકીય ગુણધર્મો (Magnetic Properties)



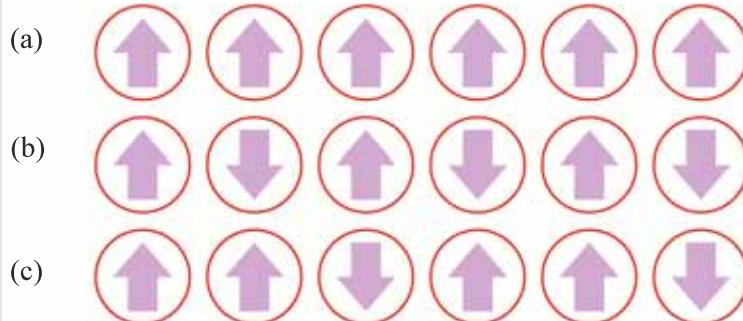
આકૃતિ 1.35 : (a) કક્ષકીય ઇલેક્ટ્રોન અને (b) ભરમણીય ઇલેક્ટ્રોન સાથે સંલગ્ન ચુંબકીય ચાકમાત્રાનું નિર્દશન

દરેક પદાર્થને તેની સાથે સંલગ્ન થોડો ધણો ચુંબકીય ગુણધર્મ હોય છે. આ ગુણધર્મનું ઉદ્ભવસ્થાન ઇલેક્ટ્રોનમાં રહેલ છે. દરેક પરમાણુભૂમાંનો ઇલેક્ટ્રોન એક નાના (tiny) ચુંબક તરીકે વર્તે છે. તેની ચુંબકીય ચાકમાત્રા બે પ્રકારની ગતિમાંથી ઉદ્ભબવે છે. (i) તેની કેન્દ્રની આસપાસની કક્ષકીય 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 કક્ષકીય ચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે. ચુંબકીય ચાકમાત્રાની આ માત્રા ધળી ઓછી હોય છે અને તેને જે એકમાં માપી શકાય તેને બોહ્યર મેનેટોન  $\mu_B$  કહે છે. તેના બરાબર  $9.27 \times 10^{-24} \text{ A m}^2$  છે.

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

(i) અનુચુંબક્તવ : અનુચુંબકીય પદાર્થો ચુંબકીય ક્ષેત્રથી નિર્બળ રીતે આકર્ષાય છે. તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં એકસરખી (સમાન) દિશામાં જ ચુંબકીય બને છે. તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રની ગેરહાજરીમાં તેમનું ચુંબક્તવ ગુમાવે છે. અનુચુંબક્તવ એક અથવા વધારે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોનની હાજરીને કારણે હોય છે જે ચુંબકીય ક્ષેત્રથી આકર્ષાય છે. O<sub>2</sub>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup> 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 ઈલેક્ટ્રોન યુઝિમિત હોય અથવા એક પણ ઈલેક્ટ્રોન અયુઝિમિત ન હોય. ઈલેક્ટ્રોનનું યુગ્મન તેમની ચુંબકીય ચાકમાત્રાને રદ (નાફ) (cancel) કરી દે છે અને તેમનો ચુંબકીય ગુણધર્મ ગુમાવે છે.
- (iii) લોહચુંબકત્વ : કેટલાક પદાર્થો જેવાં કે આર્યન, કોબાલ્ટ, નિકલ, ગોડેવિનિયમ અને  $CrO_2$  ચુંબકીયક્ષેત્રથી ખૂબ જ પ્રબળ રીતે આકર્ષણ 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' (પ્રમાવક્ષેત્ર) કહે છે. આમ દરેક ડોમેઇન એક નાના ચુંબક તરીકે વર્તે છે. લોહચુંબકીય પદાર્થના બિનચુંબકીય ટુકડામાં ડોમેઇન અસ્તિત્વસ્ત રીતે અભિવિન્યાસ (orient) થયેલ હોય છે અને તેમની ચુંબકીય ચાકમાત્રા રદ (નાફ) 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 કમબદ્ધ થવું ચુંબકીયક્ષેત્ર દૂર કરવામાં આવે તોપણ સતત આવૃત્ત (persist) રહે છે અને લોહચુંબકીય પદાર્થ કાયમી ચુંબક બને છે.
- (iv) પ્રતિલોહચુંબકત્વ :  $MnO$  જેવો પદાર્થ જે પ્રતિલોહચુંબકત્વ દર્શાવે છે તેમની ડોમેઇન રચનાઓ લોહચુંબકીય પદાર્થ જેવી જ હોય છે. પણ તેમની ડોમેઇન એકબીજાથી વિરુદ્ધ અભિવિન્યાસ ધરાવે છે અને એકબીજાની ચુંબકીય ચાકમાત્રાને રદ (નાફ) કરે છે (આકૃતિ 1.36b).
- (v) ફેરિમેનેટિઝમ : જ્યારે પદાર્થમાંની અસમાન સંખ્યામાં ડોમેઇનની ચુંબકીય ચાકમાત્રા સમાંતર અને બિનસમાંતર દિશાઓમાં અભિવિન્યાસ ધરાવે છે ત્યારે ફેરિમેનેટિઝમ અવલોકિત કરી શકાય છે (આકૃતિ 1.36c). ફેરિમેનેટિક પદાર્થની સરખામણીમાં તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રથી નિર્ભળ રીતે આકર્ષાયેલ હોય છે.  $Fe_3O_4$  (મેનેટાઈટ)  $MgFe_2O_4$  અને  $ZnFe_2O_4$  જેવા ફેરાઈટ આવા પદાર્થના ઉદાહરણ છે. આ પદાર્થોને ગરમ કરતાં ફેરિમેનેટિઝમ ગુમાવે છે અને અનુચુંબકીય બને છે.



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

## લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

- 1.18 જ્યારે ઘન પદાર્થને ગરમ કરવામાં આવે ત્યારે કેવા પ્રકારની ક્ષતિ ઉદ્ભબે ? તેના લીધે ક્યો જૌતિક ગુણધર્મ અસર પામે છે અને કેવી રીતે ?
- 1.19 નીચેના સંયોજનો ક્યા પ્રકારની તત્ત્વયોગમિત્તિય ક્ષતિ દર્શાવે છે ? (i) ZnS (ii) AgBr
- 1.20 આયનીય ઘન પદાર્થમાં જ્યારે ઊંચી સંયોજકતાવાળો ઘનાયન તેમાં અશુદ્ધ તરીકે દાખલ કરવામાં આવે છે ત્યારે રિક્ત (ખાલી) સ્થાનોમાં કેવી રીતે દાખલ થાય છે ? તે સમજાવો.
- 1.21 આયનીય ઘન પદાર્થ જેમને ઘાતુ વધારો ક્ષતિને કારણે પરમાણવીય રિક્ત સ્થાનો હોય છે તે રંગ દર્શાવે છે. યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે સમજાવો.
- 1.22 સમૂહ-14ના તત્ત્વને યોગ્ય અશુદ્ધ દ્વારા ડોપિંગ કરીને n-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં પરિવર્તિત કરવું છે. આ અશુદ્ધ ક્યા સમૂહમાં સમાવિષ્ટ હોવી જોઈએ ?
- 1.23 ફેરોમેનેટિક અથવા ફેરિમેનેટિક પદાર્થોમાંથી ક્યા 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 કિયા છે. અસ્ફિટિકમય ઘન પદાર્થોમાં ઘટક કણોની ગોઠવણીને ટૂંકાગાળા(અંતર)નો કમ હોય છે અને પરિણામે તે અતિશીત પ્રવાહીની જેમ વર્ત છે, તીવ્ર (નિશ્ચિત) ગલનબિંદુ હોતું નથી અને સ્વભાવે સમસ્થાનિકીય હોય છે. સ્ફિટિકમય ઘનમાં તેમના ઘટક કણોની ગોઠવણી લાંબાગાળા સુધી કમબદ્ધ હોય છે. તેમને તીવ્ર (નિશ્ચિત) ગલનબિંદુ હોય છે, સ્વભાવે વિષમદૈશિક હોય છે અને તેમના કણોને લાક્ષણિક આકાર હોય છે. સ્ફિટિકમય ઘન પદાર્થોના ગુણધર્મો તેમના ઘટક કણો વચ્ચેની પારસ્પરિક કિયાઓના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. આને આધારે તેમને ચાર વિભાગ(કોટગરી)માં વિભાજિત કરવામાં આવે છે. જેમ કે આણવીય, આયનીય, ધાત્વીય અને સહસંયોજક ઘન પદાર્થો. તેઓ તેમના ગુણધર્મોમાં મોટા પ્રમાણમાં અલગ પડે છે.

સ્ફિટિકમય ઘન પદાર્થોમાંના ઘટક કણો નિયમિત ભાતમાં ગોઠવાયેલા હોય છે જે આખા સ્ફિટિકમાં વિસ્તરે છે. આ ગોઠવણ વારંવાર બિંદુઓના ત્રિ-પરિમાણવીય બૂલ (array) રૂપે છે જેને સ્ફિટિક લેટિસ કહે છે. દરેક લેટિસ બિંદુ અવકાશમાં એક કણાનું 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 ત્રાણ ખૂણાઓ દ્વારા લાક્ષણિક બને છે. એકમ કોષ આદિમ જેને કણો તેમના ખૂણાના સ્થાન પર અથવા કેન્દ્રિત હોય છે. કેન્દ્રિત એકમ કોષને વધારાના કણો તેમના અંતઃકેન્દ્ર (અંતઃકેન્દ્રિત) પર દરેક ફલકના કેન્દ્ર પર (ફલક કેન્દ્રિત) અથવા ફલકના બે વિરુદ્ધ કેન્દ્રો પર [અંત (છેડો) કેન્દ્રિત] હોય છે. સાત પ્રકારના આદિમ એકમકોષ હોય છે. કેન્દ્રિત એકમકોષને ધ્યાનમાં લેતા એકંદરે એકમકોષના ચૌદ પ્રકાર છે. જે ચૌદ બ્રેવિસ લેટિસમાં પરિણામે છે.

કણોનું સંવૃત સંકુલન બે ખૂબ જ ક્ષમતાવાળા લેટિસમાં પરિણામે છે. ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન (hcp) અને સમધનીય સંવૃત સંકુલન (ccp). બીજાને ફલક કેન્દ્રિત સમધનીય (fcc) લેટિસ કહે છે. બંનેમાં સંકુલનથી 74 % અવકાશ રોકાય છે. બાકીનો અવકાશ બે પ્રકારના છિંડો - અષ્ટફલકીય છિંડ અને ચતુર્ભલકીય

છિદ્રોથી રોકાયેલ હોય છે. સંકુલનના બીજા પ્રકારના સંવૃત સંકુલન હોતા નથી અને ઓછી ક્ષમતાવાળું, કણો વડેનું સંકુલન હોય છે. અંતઃકેન્દ્રિત સમધનીય લેટિસ (bcc) 68 % અવકાશ રોકાય છે. સાદા સમધનીય 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 ત્રાણ પ્રકારની હોય છે - તત્ત્વયોગભિત્તિય ક્ષતિ, અશુદ્ધિ ક્ષતિ અને બિનતતત્ત્વયોગભિત્તિય ક્ષતિ. રિક્ટ (ખાલી જગ્યા) ક્ષતિ અને આંતરાલીય ક્ષતિ બે પાયાની તત્ત્વયોગભિત્તિય ક્ષતિ છે. આયનીય ઘન પદાર્થોમાં આ ક્ષતિ ફેન્કલ અને શૉટકી ક્ષતિ તરફે 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 રિક્ટતા (ખાલી જગ્યા) ઉદ્ભવે છે. બિનતતત્ત્વયોગભિત્તિય ક્ષતિ - ધાતુ વધારા પ્રકારની અને ધાતુ ઊણપ પ્રકારની હોય છે. કેટલીક વખત ગણતરી કરેલ જથ્થામાં અશુદ્ધ અર્ધવાહકમાં દાખલ કરીને અર્ધવાહકમાં ડેપિંગ કરીને દાખલ કરી શકાય છે અને તેમના વિદ્યુતીય ગુણધર્મો બદલાઈ જાય છે. આવા પદાર્થો ઈલેક્ટ્રોનિક ઉદ્યોગોમાં વિશાળ પ્રમાણમાં ઉપયોગી છે. ઘન પદાર્થો ઘણા પ્રકારના ચુંબકીય ગુણધર્મો દર્શાવે છે જેમ કે અનુયુંબક્ત્વ, પ્રતિયુંબક્ત્વ, લોહયુંબક્ત્વ, પ્રતિલોહયુંબક્ત્વ અને ફેરિમેનેટિઝમ આ ગુણધર્મોનો ઉપયોગ ઓડિયો (શ્રાવ્ય) વીડીયો (દર્શય) અને અન્ય રેકોર્ડિંગ ઉપકરણોમાં વપરાય છે. આ બધા જ ગુણધર્મો તેમના ઈલેક્ટ્રોનીય બંધારણ અથવા રચના સાથે સુસંગત કરી શકાય છે.

## સ્વાધ્યાય

- 1.1 ‘અસ્ફટિકમય’ પર્યાયની વ્યાખ્યા આપો. કેટલાક અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોના ઉદાહરણ આપો.
- 1.2 કાચ, કવાર્ટઝ જેવા ઘન પદાર્થી કેવી રીતે અલગ પડે છે ? કઈ પરિસ્થિતિમાં કવાર્ટઝને કાચમાં પરિવર્તિત કરી શકાય ?
- 1.3 નીચેના ઘન પદાર્થોને આયનીય, ધાત્વીય, આણવીય, જાળીદાર (સહસંયોજક) અથવા અસ્ફટિકમયમાં વર્ગીકૃત કરો :
  - (i) ટેટ્રાફોસ્ફરસ ટેકોક્સાઈડ ( $P_4O_{10}$ ) (vii) ગ્રેફાઈટ
  - (ii) એમોનિયમ ફોસ્ફેટ ( $NH_4)_3PO_4$  (viii) બ્રાસ (પિતળ)
  - (iii) SiC (ix) Rb
  - (iv)  $I_2$  (x) LiBr
  - (v)  $P_4$  (xi) Si
  - (vi) પ્લાસ્ટિક
- 1.4 (i) ‘સર્વર્ગ આંક’ પર્યાયનો અર્થ શું છે ?  
 (ii) પરમાણુઓનો સર્વર્ગ આંક કેટલો છે ?
  - (a) સમધનીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં (b) અંતઃકેન્દ્રિત સમધનીય રચનામાં
- 1.5 જો તમે અશાત ધાતુની ઘનતા અને એકમ કોષના પરિમાણ જાણતા હોય તો તેનું પરમાણવીય દળ કઈ રીતે નક્કી કરી શકો ? સમજવો.
- 1.6 ‘સ્ફટિકની સ્થાયીતા તેના ગલનબિંદુની માત્રામાં પરાવર્તિત થાય છે.’ આલોચના (comment) કરો. ઘન પાણી, ઈથાઈલ આલ્કોહોલ, ડાયર્થાઈલ ઈથર અને મિથેનના ગલનબિંદુ માહિતી પુસ્તકમાંથી મેળવો. આ અણુઓ વચ્ચેના આંતરઆણવીય બણો વિશે તમે શું કહી શકશો ?

- 1.7 નીચેના પર્યાયોની જોડને તમે કેવી રીતે વિભેદિત કરશો ?
- ષટ્કોણીય સંવૃત સંકુલન અને સમધનીય સંવૃત સંકુલન
  - સ્ફટિક લેટિસ અને એકમ કોષ
  - ચતુર્ભલકીય છિદ્ર અને અખ્ટફલકીય છિદ્ર
- 1.8 નીચેના દરેક લેટિસના એક એકમ કોષમાં કેટલા લેટિસ બિંદુ હશે ?
- ફલક કેન્દ્રિત સમધનીય
  - ફલક કેન્દ્રિત ચતુર્ભલકીય
  - અંતકેન્દ્રિત
- 1.9 સમજાવો.
- ધાત્વીય અને આયનીય સ્ફટિકો વચ્ચે સમાનતા અને બિન્નતાના આધારો.
  - આયનીય ઘન પદાર્થો સખત અને બરડ છે.
- 1.10 નીચેના કિસ્સામાં ધાતુ સ્ફટિકમાં સંકુલન ક્ષમતા ગણો.
- સાઢો સમધનીય
  - અંતકેન્દ્રિત સમધનીય
  - ફલક કેન્દ્રિત સમધનીય (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 પરમાણવીય દળ ગણો.
- 1.12 એક સમધનીય ઘન પદાર્થ બે તત્ત્વો P અને Qનો બનેલો છે. Qના પરમાણુ સમધનના ખૂંડા પર છે અને P અંતકેન્દ્ર પર છે. સંયોજનનું સૂત્ર શું હશે ? P અને Qના સર્વર્ગ આંક કેટલા હશે ?
- 1.13 નિયોભિયમ અંતકેન્દ્રિત સમધનીય રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. જો ઘનતા  $8.55 \text{ g cm}^{-3}$  હોય, તો નિયોભિયમનું પરમાણવીય દળ 93 માંથી તેની પરમાણવીય ત્રિજ્યા ગણો.
- 1.14 જો અખ્ટફલકીય 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 અસ્થિત્વ ધરાવે છે ?
- 1.17 અર્ધવાહક શું છે ? બે મુખ્ય પ્રકારના અર્ધવાહકોનું વર્ણન કરો અને તેમની વાહકતા કિયાવિધિઓમાં વિરોધાભાસ જણાવો.
- 1.18 બિનતત્વયોગમિતિય 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 અખ્ટફલકીય 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 (પરમાણુલીય 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) શૉટકી ક્ષતિ (ii) ફેન્કલ ક્ષતિ (iii) આંતરાલીય ક્ષતિ અને (iv) F-કેન્દ્રો
- 1.24 એલ્યુમિનિયમ સમધનીય સંવૃત સંકુલિત રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે. તેની ધાત્વીય ત્રિજ્યા 125 pm છે.  
 (i) એકમ કોષની ધારની લંબાઈ કેટલી છે ?  
 (ii) એલ્યુમિનિયમના  $1.00 \text{ cm}^3$  કદમાં કેટલા એકમ કોષ રહેલા છે ?
- 1.25 જે  $\text{NaCl}$ ને  $10^{-3}$  mol %  $\text{SrCl}_2$  વડે ડોપ કરવામાં આવે, તો ધનાયન અવકાશ(vacancies)ની સાંક્રતા શું હશે ?
- 1.26 યોગ્ય ઉદાહરણ સાથે નીચેના શબ્દો સમજાવો :  
 (i) લોહચુંબકત્વ  
 (ii) અનુચુંબકત્વ  
 (iii) ફિરિમેનેટિઝમ  
 (iv) પ્રતિલોહચુંબકત્વ  
 (v) 12 - 16 અને 13 - 15 સમૂહના સંયોજનો.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નોના જવાબો

- 1.13 4
- 1.14 છિદ્ર(void)ની કુલ સંખ્યા =  $9.033 \times 10^{23}$   
 સમયતુલ્લકીય છિદ્રોની સંખ્યા =  $6.022 \times 10^{23}$
- 1.15  $\text{M}_2\text{N}_3$
- 1.17 ccp

એકમ

# 2

## દ્રાવણો (Solutions)

### હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

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

લગભગ શરીરમાં થતી બધી જ પ્રક્રિયાઓ પ્રવાહી દ્રાવણોના કોઈક પ્રકાર મારફત 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 (પિતળ) (જે કોપર અને જિંકનું મિશ્રણ છે) ગુણધર્મો, જર્મન સિલ્વર (કોપર, જિંક અને નિકલનું મિશ્રણ છે) અથવા બ્રોઝના (કાંસુ) (જે કોપર અને ટિનનું મિશ્રણ છે) ગુણધર્મથી તદ્દન જુદા હોય છે. પાણીમાં 1 પાર્ટ પર મિલિયન (ppm) ફલોરાઇડ આયન દાંતનો ક્ષય રોકે છે; જ્યારે 1.5 ppm દાંત પર ડાધા પાડે છે અને ફલોરાઇડની વધારે સાંક્રતા એરી નીવકે છે (ઉદાહરણ તરીકે સોડિયમ ફલોરાઇડ ઉદર માટે એર તરીકે વર્તે છે). નસમાં અપાતા ઈંજેક્શન હંમેશાં અમુક આયનીય સાંક્રતાએ ક્ષાર ધરાવતા પાણીમાં ઓગળેલા હોય છે જે લોહીમાંના ખાજમાની સાંક્રતા સાથે સુમેળ સાથે છે.

આ એકમમાં આપણે મુખ્યત્વે પ્રવાહી દ્રાવણોને અને તેમની બનાવટને ધ્યાનમાં લઈશું. આ બાબતોને દ્રાવણોના ગુણધર્મો જેવાં કે બાધ્યકારી અને સંઘાતમક ગુણધર્મોના અભ્યાસ દ્વારા અનુસરીશું. આપણે દ્રાવણોના પ્રકારથી શરૂઆત કરીશું અને પછી પ્રવાહી દ્રાવણોમાં રહેલા દ્રાવ્યની સાંક્રતાને 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 સમજાએ છીએ કે તેમનું સંઘટન અને ગુણધર્મો સમગ્ર મિશ્રણમાં એકસરખાં હોય છે. સામાન્ય રીતે જે ઘટક સૌથી વધારે પ્રમાણમાં હોય તે દ્રાવક તરીકે ઓળખાય છે. દ્રાવણ જે ભૌતિક અવસ્થામાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે તે દ્રાવક નક્કી કરે છે. દ્રાવક સિવાયના એક અથવા વધારે ઘટકો જે દ્રાવણમાં હાજર હોય છે તેમને દ્રાવ્યો કહે છે. આ એકમમાં આપણે માત્ર દ્વિઅંગી દ્રાવણોને (એટલે કે બે ઘટકો ધરાવતા) ધ્યાનમાં લઈશું.

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

### કોષ્ટક 2.1 દ્રાવણા પ્રકાર

દ્રાવણાનો પ્રકાર	દ્રાવ્ય	દ્રાવક	સામાન્ય ઉદાહરણો
વાયુમય દ્રાવણો	વાયુ	વાયુ	ઓક્સિજન અને નાઈટ્રોજન વાયુઓનું મિશ્રણ
	પ્રવાહી	વાયુ	નાઈટ્રોજન વાયુ સાથે મિશ્ર કરેલ કલોરોફોર્મ
	ધન	વાયુ	નાઈટ્રોજન વાયુમાં કપૂર
પ્રવાહી દ્રાવણો	વાયુ	પ્રવાહી	પાણીમાં દ્રાવ્ય થયેલ ઓક્સિજન
	પ્રવાહી	પ્રવાહી	પાણીમાં દ્રાવ્ય થયેલ ઈથેનોલ
	ધન	પ્રવાહી	પાણીમાં દ્રાવ્ય થયેલ ગ્લુકોઝ
ધન દ્રાવણો	વાયુ	ધન	પેલેટિયમાં હાઇડ્રોજનનું દ્રાવણ
	પ્રવાહી	ધન	સોડિયમ સાથે પારાનો સંરસ
	ધન	ધન	ગોલ્ડમાં(સોનનું) દ્રાવ્ય થયેલ કોપર

## 2.2 દ્રાવણની સાંક્રતાની અભિવ્યક્તિ (Expressing Concentration of Solutions)

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

દ્રાવણની સાંક્રતા જથ્થાત્મક રીતે વર્ણવી શકીએ તે માટે ધણી રીતો છે.

- (i) દળ ટકાવારી (w/w) : દ્રાવણના ઘટકની દળ ટકાવારી આ પ્રમાણો વ્યાખ્યાપિત કરી શકાય.

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

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 બન્ન્યું છે. દળ ટકાવારી વડે દર્શાવાયેલ સાંક્રતા સામાન્ય રીતે ઔદ્યોગિક રાસાયણિક અનુપ્રમોગમાં ઉપયોગી છે. ઉદાહરણ તરીકે, બજારુ બ્લીન્ચિંગ દ્રાવણ 3.62 દળ ટકા સોડિયમ હાઇપોક્લોરાઇટ પાણીમાં ધરાવે છે.

- (ii) કદ ટકાવારી (V/V) : કદ ટકાવારી આ પ્રમાણો વ્યાખ્યાપિત 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) ઈથોલીન જ્લાયકોલનું દ્રાવણ જે એક પ્રતિહિમ (હિમનિરોધી) છે તે કારમાં (મોટરોમાં) એજિનના શીતળ માટે વપરાય છે. આ સાંક્રતા એ પ્રતિહિમ પાણીનું દારણબિંદુ ઘટાડીને 255.4 K (-17.6 °C) લાવે છે.

- (iii) દળ / કદ ટકાવારી (w/V) : અન્ય 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) પાર્ટ્સ પર મિલિયન : જ્યારે દ્રાવ્ય અતિઅલ્પ (trace) જથ્થામાં હોય ત્યારે તેની સાંક્રતા પાર્ટ્સ પર મિલિયન(ppm)માં દર્શાવવી વધુ અનુકૂળ રહે છે અને તેને આ પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય.  
પાર્ટ્સ પર મિલિયન

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

ટકાવારીમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સાંક્રતા પાર્ટ્સ પર મિલિયનને દળથી દળ, કદથી કદ અને દળથી કદમાં પણ દર્શાવવી શકાય. એક લિટર દરિયાનું પાણી (જેનું વજન 1030 g છે.)  $6 \times 10^{-3}$  g દ્રાવ્ય ઓક્સિજન ( $O_2$ ) ધરાવે છે. આટલી ઓછી સાંક્રતાને 5.8 g પ્રતિ  $10^6$  g (5.8 ppm) દરિયાના પાણી તરીકે અભિવ્યક્ત કરી શકાય. પાણીમાં અથવા વાતાવરણમાં પ્રદૂષકોની સાંક્રતા સામાન્ય રીતે  $\mu\text{g mL}^{-1}$  અથવા ppm પર્યાયમાં અભિવ્યક્ત કરાય છે.

- (v) મોલ અંશ : મોલ અંશ માટે સામાન્ય રીતે વપરાતી સંઝા  $x$  છે અને  $x$ ની જમણી બાજુ દર્શાવતો 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 અનુકૂળે  $n_A$  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 દર્શાવવી 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 ટેટલાક બૌતિક ગુણધર્મને સંબંધિત કરવામાં ઘણો ઉપયોગી છે. જેમ કે દ્રાવણની સાંક્રતા અને બાધ્યદાખાજ અને વાયુમિશ્રણો સમાવિષ્ટ દ્રાવણની સાંક્રતાનું વર્ણન કરવામાં ઘણો જ ઉપયોગી છે.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ઉદાહરણ તરીકે 0.25 mol L<sup>-1</sup> (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.

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

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

સમીકરણ (2.8)નો ઉપયોગ કરીને

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

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

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

(vii) મોલાલિટી : મોલાલિટી (m) આ રીતે વ્યાખ્યાપિત 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  $1.00 \text{ mol kg}^{-1}$  (અથવા  $1.00 \text{ m}$ ) KClનું દ્રાવણ એટલે  $1 \text{ મોલ KCl (74.5 g)}$   $1 \text{ kg}$  પાણીમાં ઓગાળેલ છે.

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

### કોયડો 2.3

$75 \text{ g}$  બેન્જિનમાં  $2.5 \text{ g}$  ઈથેનોઇક ઓસિડ ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )ની મોલાલિટી ગણો.

#### ઉકેલ

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

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

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

$$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{ની મોલાલિટી} = \frac{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{ના મોલ}}{\text{બેન્જિનના kg}} = \frac{0.0417 \text{ mol} \times 1000 \text{ g kg}^{-1}}{75 \text{ g}}$$

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

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 2.1 જો  $22 \text{ g}$  બેન્જિન ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )  $122 \text{ g}$  કાર્ਬન ટેટ્રાક્લોરાઈડ ( $\text{CCl}_4$ )માં ઓગાળવામાં આવે તો બેન્જિન અને કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડની દળ ટકાવારી ગણો.
- 2.2  $30 \%$  દળથી બેન્જિન ધરાવતા કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઈડ દ્રાવણમાં બેન્જિનનો મોલ અંશ ગણો.
- 2.3 નીચેના દરેક દ્રાવણની મોલારિટી ગણો : (a)  $4.3 \text{ L}$  દ્રાવણમાં  $30 \text{ g}$   $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (b)  $30 \text{ mL}$   $0.5 \text{ M}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$ નું મંદન કરી  $500 \text{ mL}$  બનાવવામાં આવ્યું.
- 2.4  $2.5 \text{ kg}$   $0.25 \text{ મોલલ યૂરિયા}$  ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ )નું દ્રાવણ બનાવવા માટે યૂરિયાનું દળ ગણો.
- 2.5 જો  $20 \%$  (દળ / દળ) જલીય KI દ્રાવણની ઘનતા  $1.202 \text{ g mL}^{-1}$  હોય, તો KIની (a) મોલાલિટી (b) મોલારિટી અને (c) મોલ અંશ ગણો.

### 2.3 દ્રાવ્યતા (Solubility)

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

### 2.3.1 ધનની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા (Solubility of a Solid in a Liquid)

દરેક પદાર્થ આપેલ પ્રવાહીમાં ઓગળતો નથી. સોડિયમ કલોરાઇડ અને ખાંડ જડપથી પાણીમાં ઓગળે છે. જ્યારે નેથેલીન અને એન્થ્રેસીન ઓગળતાં નથી. બીજુ પર નેથેલીન અને એન્થ્રેસીન બેન્જિનમાં ઓગળે છે પણ સોડિયમ કલોરાઇડ 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, દ્રાવકમાં ઓગળશે, જો આંતરઆણવીય પારસ્પરિક કિયાઓ બંનેમાં સરખી હશે તો અથવા આપણે કદ્દી શકીએ કે સરખા (like), સરખા(like)માં ઓગળે છે.

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



આ તબક્કે દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની સાંક્રતા આપેલ શરતોએ (તાપમાન અને દબાણ) અચળ રહેશે. આ જ પ્રમાણેની પ્રક્રિયા જ્યારે વાયુને પ્રવાહી દ્રાવકમાં ઓગળીએ ત્યારે બને છે. એવું દ્રાવણ કે જેમાં આપેલ તાપમાન અને દબાણ વધુ દ્રાવ્યને ઓગળીની શકાય નહિ તેને સંતૃપ્ત દ્રાવણ કહે છે. અસંતૃપ્ત દ્રાવણ એને કહે છે જેમાં એ જ તાપમાને વધુ દ્રાવ્ય ઓગળીની 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 સાંક્રતા તેની દ્રાવ્યતા છે.

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

**તાપમાનની અસર :**

ધનની 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 ઉભાષોપક છે ( $\Delta_{\text{sol}} H > 0$ ), તો તાપમાનના વધારા સાથે દ્રાવ્યતા વધશે અને જો પ્રક્રિયા ઉભાષોપક હશે, તો ( $\Delta_{\text{sol}} H < 0$ ) દ્રાવ્યતા ઘટશે. આ વલાણાનું પ્રાયોગિક રીતે અવલોકન કરી શકાય.

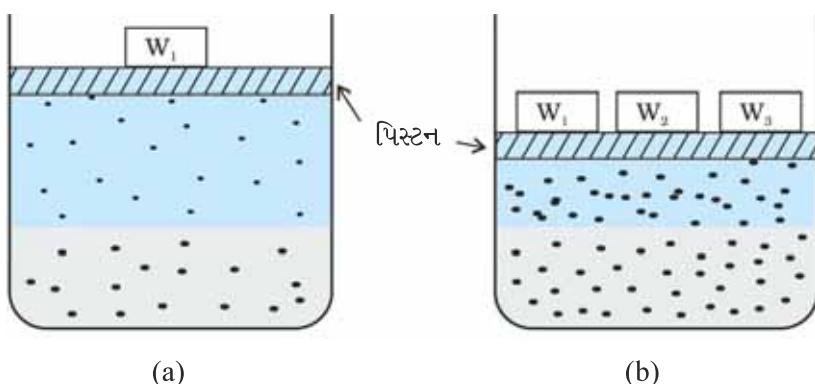
**દબાણની અસર :**

દબાણની ધનની દ્રાવ્યતા પર કોઈ સૂચક અસર હોતી નથી. આ એટલા માટે કે ધન 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)

ધણા વાયુઓ પાણીમાં ઓગળે છે. ઓક્સિજન પાણીમાં ધણી ઓછી માત્રામાં ઓગળે છે. આ એ ઓગળેલો ઓક્સિજન છે જે જ જળયરના જીવનને ટકાવી રાખે છે. બીજુ પર હાઇટ્રોજન કલોરાઇડ (HCl) પાણીમાં ખૂબ જ દ્રાવ્ય છે. વાયુની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા દબાણ અને તાપમાનથી વધારે અસર પામે છે. વાયુની દ્રાવ્યતા

દ્વારા વધારા સાથે વધે છે. પ્રવાહી દ્રાવકમાં વાયુના દ્રાવણ માટે આકૃતિ 2.1 (a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણેની પ્રજાળી લઈએ. નીચેનો ભાગ દ્રાવણ છે અને ઉપરનો ભાગ P દ્વારા અને T તાપમાને વાયુમય પ્રજાળીનો ભાગ છે. આ પ્રજાળીને 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 દ્વારા 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 દ્વારા વધશે અને તેથી દ્રાવ્યતા વધશે.



આકૃતિ 2.1 : વાયુની દ્રાવ્યતા પર દ્વારા વધારની અસર. ઓગળેલા વાયુની સંક્રતા દ્રાવણ પરના વાયુના દ્વારા સમપ્રમાણમાં હોય છે.

હેન્રી (Henry) સૌપ્રથમ વૈજ્ઞાનિક હતા. જેમણે દ્વારા 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 દ્વારા સમપ્રમાણમાં હોય છે. ડાલ્ટન જે હેન્રીનો સમકાલીન હતો તેણે પણ સ્વતંત્ર રીતે તારથું હતું કે પ્રવાહી દ્રાવણમાં વાયુની દ્રાવ્યતા વાયુના આંશિક દ્વારા અવયવ (factor) છે. જો આપણે દ્રાવણમાંના વાયુના મોલ અંશનો ઉપયોગ માપન તરીકે કરીએ, તો એમ કહી શકાય કે, દ્રાવણમાંના વાયુના

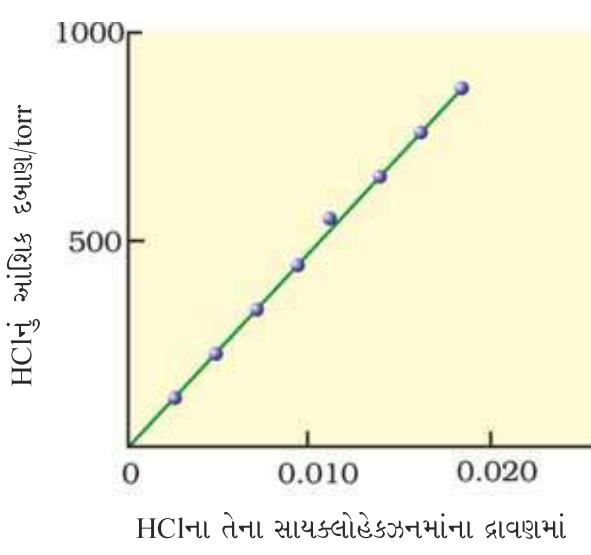
મોલ અંશ દ્રાવણ ઉપરના વાયુના આંશિક દ્વારાને સમપ્રમાણ હોય છે. હેન્રીના નિયમનું ખૂબ જ સામાન્ય રીતે વપરાતું સ્વરૂપ નિવેદિત કરે છે કે ‘બાધ્ય કલામાં વાયુનું આંશિક દ્વારા (p) દ્રાવણમાંના વાયુના મોલ અંશ (x)ને સમપ્રમાણ હોય છે.’ અને તેને આ પ્રમાણે અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

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

અહીંથી  $K_H$  હેન્રીના નિયમનો અચળાંક છે. જો આપણે વાયુના આંશિક દ્વારા 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 દ્વારા  $K_H$ નું ઊંચું મૂલ્ય પ્રવાહીમાં વાયુની ઓછી દ્રાવ્યતા સૂચવે છે. કોઈક 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



આકૃતિ 2.2 : 293 K તાપમાને HCl વાયુની સાયકલોહેક્ઝનમાં દ્રાવ્યતા માટેના પ્રાયોગિક પરિણામ. રેખાનો ટાળ હેન્રીના નિયમનો અચળાંક  $K_H$  છે.

## કોષ્ટક 2.2 : કેટલાક પસંદ કરેલા વાયુના પાણીમાં હેત્રી નિયમના અચળાંકના મૂલ્યો

વાયુ	તાપમાન/K	$K_H / \text{kbar}$	વાયુ	તાપમાન/K	$K_H / \text{kbar}$
He	293	144.97	આર્ગાન	298	40.3
H <sub>2</sub>	293	69.16	CO <sub>2</sub>	298	1.67
N <sub>2</sub>	293	76.48	ફોર્માલિથાઇડ	298	$1.83 \times 10^{-5}$
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	વિનાઈલ એસિટેટ	298	0.611

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

**કોષ્ટક 2.4** જો નાઈટ્રોજન 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> 0.987 bar 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 અવગાજ્ય ગણીએ છીએ કારણ કે તે << 55.5 છે.)

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

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

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

- હળવા પીણા અને સોડાવોટરમાં CO<sub>2</sub>ની સાંક્રતા 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 સાંક્રતા 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 નાઈટ્રોજનના પરપોટા પેદા કરે છે. આ કેશનણીઓને બંધ (block) કરે છે અને વૈદકીય રીતે જાળીતી પરિસ્થિતિ બેન્ડ્સ (bends) રચે છે જે પીડાકારી અને જીવનને ભયરૂપ હોય છે.

આવા બેન્ડસને દૂર રાખવા અને લોહીમાં નાઈટ્રોજનની ઊંચી સાંક્રતાની વિધાલુ અસરોને પણ દૂર રાખવા માટે સ્ક્રૂબા 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 ઉત્ક (પેશી) (tissue)માં ઓક્સિજનની ઓછી સાંક્રતા તરફ દોરી જાય છે. ઓછો રક્ત ઓક્સિજન પર્વતારોહકો માટે નભળા 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 ઓગળોલા હોય છે ત્યારે વાયુના અણુઓ પ્રવાહી કલામાં હોય છે અને વિલયનની પ્રક્રિયાને સંઘનન (condensation) સાથે સરખાવી શકીએ અને આ પ્રક્રિયામાં ઉખા ઉદ્ભવે છે. આપણે છેલ્લા વિભાગમાં અભ્યાસ કર્યો કે વિલયન પ્રક્રિયા ગતિશીલ સંતુલનને સમાવિષ્ટ કરે છે અને તેથે લ શેટેલીયરના નિયમને અનુસરવું જોઈએ. વિલયન ઉખાબેપક પ્રક્રિયા હોવાથી તાપમાનના વધારા સાથે દ્રાવ્યતા ઘટવી જોઈએ.

#### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 2.6  $H_2S$  એક વિધાલુ વાયુ જે સરેલા ઠીડા જેવી વાસ ધરાવે છે તેનો ઉપયોગ ગુણાત્મક પૃથક્કરણમાં કરવામાં આવે છે. જો  $H_2S$ ની પાણીમાં દ્રાવ્યતા STP એ 0.195 m હોય, તો હેત્રી અચળાંકની ગણતરી કરો.
- 2.7 પાણીમાં  $CO_2$  માટેનો હેત્રીનો અચળાંક 298 K તાપમાને  $1.67 \times 10^8 \text{ Pa}$  છે. 298 K તાપમાને 2.5 atm  $CO_2$  દબાણ હેઠળ સંકુલિત કરેલા 500 mL સોડાવોટરમાંના  $CO_2$ ના જથ્થાની ગણતરી કરો.

#### 2.4 પ્રવાહી દ્રાવણોના બાધ્ય દબાણ (Vapour Pressure of Liquid Solutions)

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

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

આપણે બે બાધ્યશીલ પ્રવાહીના દ્વિઅંગી દ્રાવણને ધ્યાનમાં લઈએ અને બે ઘટકોને 1 અને 2 તરીકે દર્શાવીએ. જો બંધ પાત્રમાં લઈએ તો બંને ઘટકો બાધ્યીભવન પામશે અને સંજોગવશાત્ર બાધ્યકલા અને પ્રવાહીકલા વચ્ચે સંતુલન સ્થપાશે. આ તબકે ધારો કે કુલ બાધ્યદબાણ  $P_{\text{total}}$  છે અને  $P_1$  અને  $P_2$  ઘટક 1 અને 2ના અનુક્રમે આંશિક બાધ્યદબાણ હોય. આ બંને આંશિક બાધ્યદબાણ ઘટક 1 અને 2ના મૌલ અંશ અનુક્રમે  $x_1$  અને  $x_2$  સાથે સંબંધિત છે.

ફેન્ચ રસાયણશાસ્ત્રી ફેન્ડોઇસ માર્ટ રાઉલ્ટ (Francois Marte Raoult) (1886) તેમની વચ્ચે જથ્થાત્મક સંબંધ દર્શાવ્યો. આ સંબંધને રાઉલ્ટનો નિયમ કહે

છે જે નિવેદિત કરે છે કે બાયશીલ પ્રવાહીના દ્રાવકના માટે દ્રાવકણા દરેક ઘટકનું આંશિક બાયદભાષા દ્રાવકણમાં રહેલા તેના મોલ અંશના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આથી ઘટક 1 માટે,

$$p_1 \propto x_1 \\ \text{અને} \quad p_1 = p_1^0 x_1 \quad (2.12)$$

જ્યાં  $p_1^0$  શુદ્ધ ઘટક 1નું બાયદભાષા તે જ તાપમાને છે. એ જ પ્રમાણે ઘટક 2 માટે,

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

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

ડાયના આંશિક દ્રાવકણા નિયમ પ્રમાણે, પાત્રમાંની દ્રાવકણ કલાનું કુલ દ્રાવકણ ( $p_{\text{total}}$ ) દ્રાવકણા બંને ઘટકોના બાયદભાષાના સરવાળા બરાબર થશે અને તેને આ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

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

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

$$p_{\text{total}} = x_1 p_1^0 + x_2 p_2^0 \\ = (1 - x_2) p_1^0 + x_2 p_2^0 \quad (2.15)$$

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

(2.16) સમીકરણ પરથી નીચેનાં તારણો કાઢી શકાય.

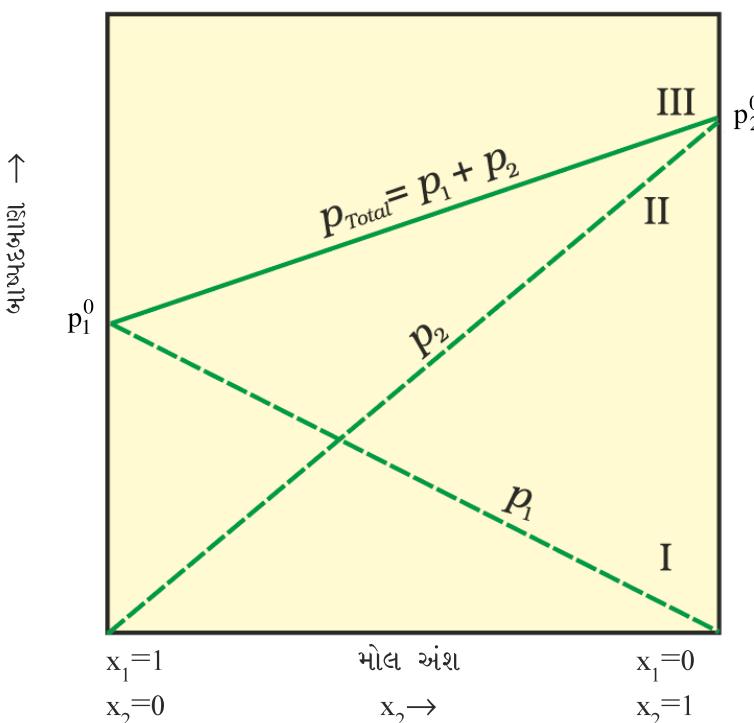
(i) દ્રાવકણ પરનું કુલ બાય દ્રાવકણ ગમે તે એક ઘટકના મોલ અંશની સાથે સંબંધિત છે.

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

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

દ્રાવકણ માટે  $p_1$  અથવા  $p_2$ નો મોલ અંશ  $x_1$  અને  $x_2$  વિરુદ્ધ આલોખ 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 આલોખ (રેખા III) પણ રેખિય છે (આકૃતિ 2.3).  $p_{\text{total}}$  નું નિભન્તમ મૂલ્ય  $p_1^0$  છે અને મહત્તમ મૂલ્ય  $p_2^0$  છે, એમ ધારીને કે ઘટક 1 ઘટક 2 કરતાં ઓછો બાયશીલ છે એટલે કે  $p_1^0 < p_2^0$ .

દ્રાવકણ સાથે સંતુલનમાં રહેલી બાયકલાનું સંઘટન ઘટકોના આંશિક દ્રાવકણથી નક્કી કરી શકાય છે. જો  $y_1$  અને  $y_2$



આકૃતિ 2.3 : અથળ તાપમાને આદર્શ દ્રાવકણા બાયદભાષા અને મોલ અંશનો આલોખ. તૂટક રેખા I અને II ઘટકોના આંશિક દ્રાવકણ દર્શાવે છે (આલોખમાંથી જોઈ શકાય છે કે  $p_1$  અને  $p_2$  અનુક્રમે  $x_1$  અને  $x_2$ ને સમપ્રમાણમાં છે) કુલ બાયદભાષા આકૃતિમાં III વડે ચિહ્નિત કરેલ રેખા દ્રારા દર્શાવેલ છે.

ઘટક 1 અને 2ના અનુક્રમે બાખ્યકલામાં મોલ અંશ છે, તો ડાલ્ટનના આંશિક દભાળના 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

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

### ક્રોયડો 2.5

298 K તાપમાને કલોરોફોર્મ ( $\text{CHCl}_3$ ) અને ડાયક્લોરોમિથેન ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ )ના બાખ્યદભાળ 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 બજાવેલા વાવણનું બાખ્યદભાળ ગણો અને (ii) બાખ્યકલામાં દરેક ઘટકનો મોલ અંશ ગણો.

#### ઉકેલ

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

$$\text{CHCl}_3 \text{નું મોલર દળ} = 12 \times 1 + 1 \times 1 + 35.5 \times 3 = 119.5 \text{ g mol}^{-1}$$

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

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

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

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

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

સમીકરણ (2.16)-નો ઉપયોગ કરીને

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

(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 બાખ્યશીલ છે [ $p_{\text{CH}_2\text{Cl}_2}^0 = 415 \text{ mm Hg}$  અને

$p_{\text{CHCl}_3}^0 = 200 \text{ mm Hg}$ ] અને બાખ્યકલા 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 જો ઘટક વધુ બાખ્યશીલ હશે તેના વડે બાખ્યકલા હુંમેશાં સમૃદ્ધ થશે.

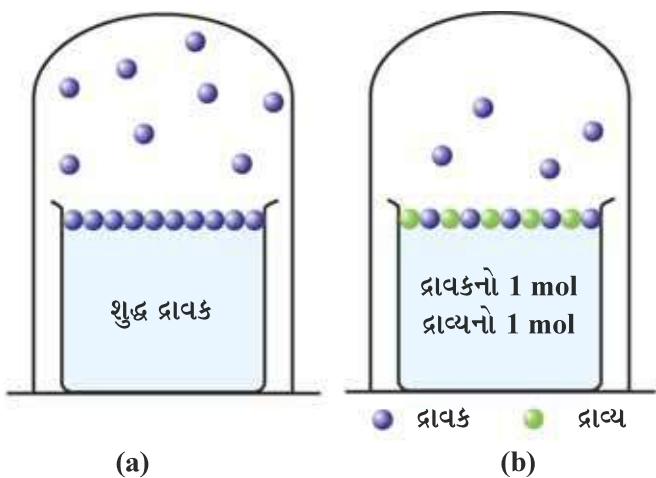
2.4.2 હેન્રીના નિયમના વિશિષ્ટ  
કિસ્સા તરીકે રાઉલ્ટનો  
નિયમ (Raoult's Law  
as a Special Case of  
Henry's Law)

રાઉટના નિયમ પ્રમાણે, આપેલ દ્રાવકમાં બાધ્યશીલ ઘટકનું બાધ્યદબાણ  $p_1 = x_1 p_1^0$  તરીકે દર્શાવી શકાય. પ્રવાહીમાં વાયુના દ્રાવકમાં એક ઘટક બાધ્યશીલ છે એટલે કે જે વાયુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે અને આપણે જોઈ ગયા છીએ કે દ્રાવ્યતા હેત્રીના નિયમ જે નીચે પ્રમાણે નિવેદિત કરેલ છે તે મુજબ આપી શકાય.

$$p = K_H x.$$

જો આપણે રાઉલ્ટનો નિયમ અને હેત્રીનો નિયમ સરખાવીએ, તો જોઈ શકાશે કે બાળશરીલ ઘટક અથવા વાયુનું આંશિક દ્વારા દ્વારા માંના મોલ અંશના સમપ્રમાણમાં હોય છે. માત્ર સમપ્રમાણતા અચળાંક  $p_1^0$  માંથી  $K_H$  માં જ ફેરવાય છે. આમ રાઉલ્ટનો નિયમ હેત્રીના નિયમનો વિશિષ્ટ કિસ્સો થાય છે જેમાં  $K_H$  બરાબર  $p_1^0$  થાય છે.

### 2.4.3 પ્રવાહીમાં ઘનના દ્રાવકણના બાસ્પદભાષા (Vapour Pressure of Solutions of Solids in Liquids)



**આકૃતિ 2.4 :** દ્રાવ્યની દ્રાવકમાં હાજરોને લીધે દ્રાવકના બાધદાળામાં થતો ઘટાડો (a) દ્રાવકની સપાઠી પરથી તેના આણુઓનું બાધીભવન  વડે દર્શાવેલ છે. (b) દ્રાવકમાં, દ્રાવ્યના કષ્ટોને  વડે દર્શાવેલ છે અને તે સપાઠીના સ્થોત્રફળનો કેટલોક ભાગ રોકે છે.

રોને લૈયે દ્વાકના  
a) દ્વાકની સપાટી પરથી  
ન ● વડે દર્શાવેલ છે.  
ને ● વડે દર્શાવેલ છે

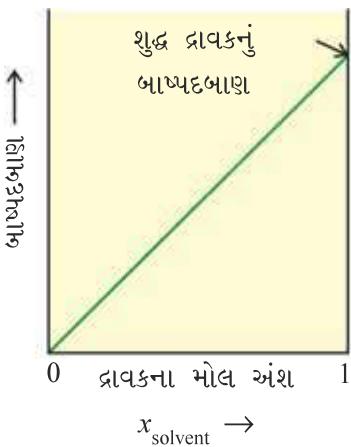
પર આધાર રાખે છે. ઉદાહરણ તરીકે  $1.0 \text{ mol}$  સુકોઝ  
એક kg પાણીમાં ઉમેરવાથી થતો બાષ્પદબાણમાં ઘટાડે,  
 $1.0 \text{ mol}$  યૂરિયા સરખા જથ્થાના પાણીમાં સમાન તાપમાને  
ઉમેરતાં મળતા ઘટાડ જેટલો હોય છે.

સામાન્ય રૂપમાં રાઉલ્ટનો નિયમ નિવેદિત કરી શકાય કે કોઈ પણ દ્રાવણ માટે, દ્રાવણમાંના દરેક કાંક બાધ્યદબાણ તેના મોલ અંશને સમપ્રમાણ હોય છે.

દ્વિઅંગી ગ્રાવાળમાં આપણે ગ્રાવકને 1 અને ગ્રાવને 2 તરીકે દર્શાવીએ. જ્યારે ગ્રાવ અભાષ્પશીલ હોય ત્યારે માત્ર ગ્રાવકના અણુઓ જ બાષ્પકલામાં હોય છે અને તે બાષ્પદભાળામાં ફાળો આપે છે. ધારો કે  $P_1$  ગ્રાવકનું બાષ્પદભાળ છે,  $x_1$  તેનો મોલ અંશ છે,  $p_1^0$  શરૂ અવસ્થામાં તેનું બાષ્પદભાળ છે, તો રાઉટના નિયમ

### આકૃતિ 2.5 :

જો દ્રાવક બધી જ સાંક્રતા 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.

સાંક્રતાના સંપૂર્ણ ગાળા દરમિયાન જે દ્રાવણો રાઉલ્ટના નિયમનું પાલન કરે છે તેમને આદર્શ દ્રાવણો કહે છે. આદર્શ દ્રાવણોને બીજા બે ગુણધર્મો હોય છે. દ્રાવક બનાવવા માટે શુદ્ધ ઘટકોની મિશ્રાણની એન્થાલ્પી શૂન્ય હોય છે અને મિશ્રાણનું 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 ઉભા શોખાતી પણ નથી અને ઉત્પન્ન પણ થતી નથી. વળી દ્રાવણનું કદ બંને ઘટકોના કદના સરવાળા બરાબર થશે. આણવીય સતરે, દ્રાવણની આદર્શ વર્તણૂક બે ઘટકો A અને Bને ધ્યાનમાં લઈને સમજાવી શકીએ. શુદ્ધ ઘટકોમાં આંતરઆણવીય આકર્ષણ પારસ્પરિક કિયા A-A અને B-B પ્રકારની હશે. જ્યારે દ્વિઅંગી દ્રાવણમાં આ બંને પારસ્પરિક પ્રક્રિયા ઉપરાંત A-B પ્રકારની પારસ્પરિક કિયા પણ હાજર હશે. જો A-A અને B-B વચ્ચેના આંતરઆણવીય આકર્ષણ બળો લગભગ A-B જેટલા જ હશે, તો તે આદર્શ દ્રાવણની રચનામાં પરિણામશે. સંપૂર્ણ આદર્શ દ્રાવણ દુર્લભ છે. પરંતુ જેટલાક દ્રાવણો વર્તણૂકમાં લગભગ આદર્શ હોય છે. n-હેક્ઝેન અને n-ઇટેન, બ્રોમોઇથેન અને ક્લોરોઇથેન, બેન્જિન અને ટોલ્યુઇન વગેરેના દ્રાવણો આ વિભાગમાં સમાવિષ્ટ થાય છે.

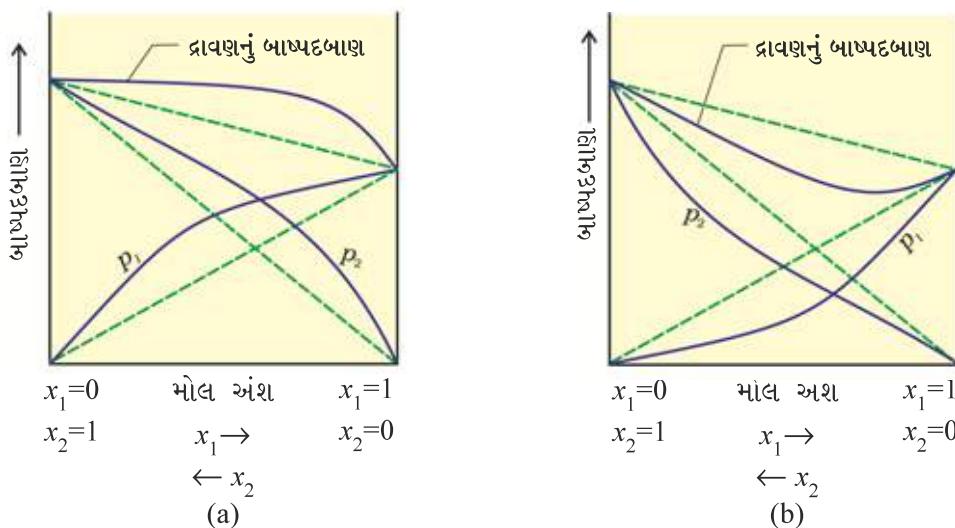
### 2.5.2 બિનઆદર્શ દ્રાવણો (Non-ideal Solutions)

જ્યારે દ્રાવણો સાંક્રતાના 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 ઓદૃષ્ટ હોય છે. જો તે વધારે હોય તો દ્રાવક ધન વિચલન દર્શાવે છે અને જો ઓદૃષ્ટ હોય તો રાઉલ્ટના નિયમથી ઋણ વિચલન દર્શાવે છે. આવા દ્રાવણોના બાષ્પદબાણને મોલ અંશના ફલક તરીકેના આલેખ આકૃતિ 2.6માં દર્શાવ્યા છે.

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

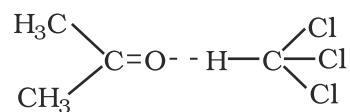
### આકૃતિ 2.6 :

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 પરિણામશે. ઈથેનોલ અને એસિટોનના મિશ્રણ આ રીતે વર્ત્ત છે. શુદ્ધ ઈથેનોલમાં અણુઓ હાઈડ્રોજન બંધિત હોય છે એસિટોન ઉમેરવાથી તેના અણુઓ યજમાન અણુઓની વચ્ચે ગોઠવાય છે અને તેમની વચ્ચેના કેટલાક હાઈડ્રોજન બંધ તોડી નાંબે છે. પારસ્પરિક કિયા નબળી થવાને લીધે દ્રાવણ રાઉલ્ટના નિયમથી ધન વિચલન દર્શાવે છે [આકૃતિ 2.6 (a)]. કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડને એસિટોનમાં (ઉમેરતાં બનતા દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય-દ્રાવક વચ્ચેની દિપ્રુવીય પારસ્પરિક કિયા દ્રાવ્ય-દ્રાવ્ય અને દ્રાવક-દ્રાવક અણુઓ વચ્ચેની અનુવર્તી પારસ્પરિક કિયા કરતાં નબળી પડે છે. આ દ્રાવણ ધન વિચલન દર્શાવે છે.

રાઉલ્ટના નિયમથી ઋણ વિચલનના ડિર્સામાં A-A અને B-B વચ્ચેના આંતરઆણવીય આકર્ષણ બળો A-B વચ્ચેના આંતરઆણવીય 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 ડિર્સામાં ફીનોલિક પ્રોટોન અને એનીલીનના નાઈડ્રોજનના અયુભિત ઈલેક્ટ્રોન યુંમ વચ્ચેના આંતરઆણવીય હાઈડ્રોજન બંધ, એક J પ્રકારના અણુઓ વચ્ચેના આંતરઆણવીય હાઈડ્રોજન બંધ કરતાં વધુ પ્રબળ હોય છે. આ J પ્રમાણે કલોરોફોર્મ અને એસિટોનનું મિશ્રણ એવું દ્રાવણ બનાવે છે જે રાઉલ્ટના નિયમથી ઋણ વિચલન દર્શાવે છે. આનું કારણ એ છે કે કલોરોફોર્મ 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 એજિયોટ્રોપ રચે છે જે દ્વિઅંગી મિશ્રણ છે જેમાં પ્રવાહી અને બાષ્પ અવસ્થાના સંઘટન સરખા હોય છે અને અચળ તાપમાને ઉકળે છે. આવા ડિર્સામાં વિભાગીય નિયંત્રણથી ઘટકો અલગ કરવાનું શક્ય નથી. બે પ્રકારના એજિયોટ્રોપ હોય છે. જેને નિમત્તમ ઉત્કળન એજિયોટ્રોપ અને મહત્તમ ઉત્કળન એજિયોટ્રોપ કહે છે. દ્રાવણો જે રાઉલ્ટના નિયમથી વધુ ધન વિચલન દર્શાવે

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

જે દ્રાવણો રાઉલના નિયમથી વધુ ઝણા વિચલન દર્શાવે છે તે વિશિષ્ટ સંઘટને મહત્તમ ઉત્કલન એજિયોટ્રોપ રચે છે. નાઈટ્રિક ઓસિડ અને પાણી આ વર્ગના એજિયોટ્રોપનું ઉદાહરણ છે. આ એજિયોટ્રોપને આશરે સંઘટન દળથી 68 % નાઈટ્રિક ઓસિડ અને 32 % પાણી હોય છે જેનું ઉત્કલન બિંદુ 393.5 K છે.

## લખાણ સંબંધિત પ્રેશન

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

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

### 2.6.1 બાધ્યદબાણમાં સાપેક્ષ ઘટાડો (Relative Lowering of Vapour Pressure)

આપણો વિભાગ 2.4.3માં અભ્યાસ કર્યો કે જ્યારે અભાધશીલ દ્રાવ્ય બાધ્યશીલ દ્રાવકમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે દ્રાવણનું બાધ્યદબાણ ઘટે છે. દ્રાવણના ઘણા બધા ગુણધર્મો બાધ્યદબાણના ઘટાડા સાથે સંકળાયેલા છે આ છે (1) દ્રાવકના બાધ્યદબાણમાં સાપેક્ષ ઘટાડો (2) દ્રાવકના દારાબિંદુમાં અવનયન (3) દ્રાવકના ઉત્કલનાબિંદુમાં ઉન્યાન અને (4) દ્રાવણનું અભિસરણ (પરાસરણ) દબાણ. આ બધા જ ગુણધર્મો દ્રાવણમાં રહેલા કણોની કુલ સંખ્યા તથા દ્રાવ્ય કણોની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે નહિ કે દ્રાવ્ય કણોના સ્વભાર પર. આવા ગુણધર્મોને સંઘ્યાત્મક ગુણધર્મો કહે છે. (Colligative: લેટિનમાંથી cōnો અર્થ એક સાથે(together), ligareનો અર્થ બાંધવું હવે પછીના વિભાગોમાં આપણો એક પછી એક આ ગુણધર્મોની ચર્ચા કરીશું.

આપણો વિભાગ 2.4.3માં શીખ્યા કે દ્રાવણમાં દ્રાવકનું બાધ્યદબાણ શુદ્ધ દ્રાવકના બાધ્યદબાણ કરતાં ઓછું હોય છે. રાઉલ્ટે પ્રસ્થાપિત કર્યું કે બાધ્યદબાણમાં ઘટાડો ફક્ત દ્રાવ્યોની સાંક્રતા પર આધાર રાખે છે અને તેમની ઓળખથી(identity) સ્વતંત્ર હોય છે. વિભાગ 2.4.3માં આપેલ સમીકરણ (2.20) દ્રાવણનું બાધ્યદબાણ, મોલ અંશ અને દ્રાવકના બાધ્યદબાણ સાથે સંબંધ પ્રસ્થાપિત કરે છે. એટલે કે,

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

દ્રાવકના બાધ્યદબાણમાં 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 બાધ્યશીલ દ્રાવ્ય ધરાવતા દ્રાવણમાં બાધ્યદબાણમાં 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 બાષ્પદભાણનો સાપેક્ષ ઘટાડો છે અને તે દ્રાવ્યના મોલ અંશ બરાબર થાય છે. ઉપરનું સમીકરણ આ પ્રમાણે લખી શકાય.

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

અહીંથી  $n_1$  અને  $n_2$  અનુકૂળ દ્રાવકના હાજર દ્રાવક અને દ્રાવ્યના મોલ છે. મંદ દ્રાવકનો માટે  $n_2 \ll n_1$ , આથી છેદમાં  $n_2$ ને અવગણતા આપણને મળશે.

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

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

અહીંથી  $w_1$  અને  $w_2$  અનુકૂળ દ્રાવક અને દ્રાવ્યના દળ છે અને  $M_1$  અને  $M_2$  અનુકૂળ દ્રાવક અને દ્રાવ્યના મોલર દળ છે.

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

**કોયડો 2.6** અમૃક તાપમાને શુદ્ધ બેન્જિનનું બાષ્પદભાણ 0.850 bar છે. એક અભાષ્પશીલ, અવિદ્યુતવિભાજ્ય ધનના 0.5 g વજન પદાર્થને 39.0 g બેન્જિનમાં (મોલર દળ 78 g mol<sup>-1</sup>) ઉમેરવામાં આવ્યો. દ્રાવણનું બાષ્પદભાણ 0.845 bar જણાયું. ધન પદાર્થનું મોલર દળ કેટલું હશે?

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

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

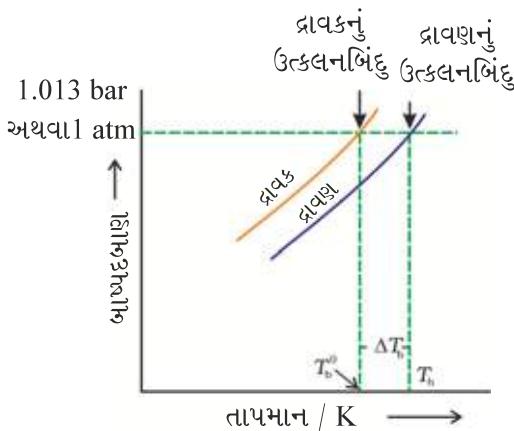
સમીકરણ (2.28)માં આ મૂલ્યો મૂકતાં આપણને મળશે.

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

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

## 2.6.2 ઉત્કલનબિંદુનું ઉન્નયન (Elevation of Boiling Point)

આપણે ધોરણ XIAમાં એકમ 5માં અભ્યાસ કર્યો કે, પ્રવાહીનું બાષ્પદભાણ તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે. તે એ તાપમાને ઉકેલ છે જ્યારે તેનું બાષ્પદભાણ વાતાવરણના દ્રાવણ જેટલું થાય છે ત્યારે. ઉદાહરણ તરીકે, પાણી 373.15 K (100°C) તાપમાને ઉકેલ છે કારણ કે, આ તાપમાને પાણીનું બાષ્પદભાણ 1.013 bar (1 વાતાવરણ) હોય છે. આપણે છેલ્લા વિભાગમાં એ પણ શીજ્યા કે દ્રાવકનું બાષ્પદભાણ અભાષ્પશીલ દ્રાવ્યની હાજરીથી ઘટે છે. આકૃતિ 2.7 શુદ્ધ દ્રાવક અને દ્રાવણના બાષ્પદભાણનો ફેરફાર તાપમાનના વિધેય (function) તરીકે દર્શાવે છે. (આકૃતિ 2.7) ઉદાહરણ તરીકે સુકોઝનું જલીય દ્રાવણનું બાષ્પદભાણ 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 દ્રાવણ કરવું પડે.



**આકૃતિ 2.7 :** દ્રાવકના બાય્ધદભાગનો વક શુદ્ધ દ્રાવકના બાય્ધદભાગ વકની નીચે છે. આકૃતિ દર્શાવે છે કે  $\Delta T_b$  દ્રાવકમાં દ્રાવકના ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન દર્શાવે છે.

આમ આકૃતિ 2.7માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે શુદ્ધ દ્રાવકના ઉત્કલનબિંદુ કરતા તેમાંથી બનાવેલા દ્રાવકનું ઉત્કલનબિંદુ ઊંચુ થશે. બાય્ધદભાગ અવનયનની જેમ ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન પણ દ્રાવક કણોના સ્વભાવ પર નહિ પણ તેમની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે. 1 mol સુકોઝનું 1000 g પાણીમાં દ્રાવક 373.52 K તાપમાને એક વાતાવરણ દખાણે ઉકળે છે.

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

પ્રયોગોએ દર્શાવ્યું છે મંદ દ્રાવક માટે ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન ( $\Delta T_b$ ) દ્રાવકમાંના દ્રાવકની મોલલ સાંક્રતાના સમપ્રમાણમાં છે. આથી

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

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

અહીંથા m (મોલાલિટી) 1 kg દ્રાવકમાં ઓગાળેલા દ્રાવકના મોલની સંખ્યા છે અને સમપ્રમાણતા અચળાંકને ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન અચળાંક અથવા મોલલ ઉન્નયન અચળાંક (ક્વથનાંક અચળાંક) કહે છે.  $K_b$  નો એકમ K kgmol<sup>-1</sup> છે. કેટલાક સામાન્ય દ્રાવકો માટેના  $K_b$ ના મૂલ્યો કોઈક 2.3માં આપેલ છે. જો મોલલ દળ M<sub>2</sub> દ્રાવકના w<sub>2</sub> ગ્રામને w<sub>1</sub> ગ્રામ દ્રાવકમાં ઓગાળવામાં આવે તો દ્રાવકની 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 મૂક્તાં

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

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

આથી દ્રાવકનું મોલલ દળ M<sub>2</sub> નક્કી કરવા માટે દ્રાવકના 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 ગલુકોજ (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) 1 kg પાણીમાં એક પાત્રમાં ઓગાળેલ છે. 1.013 bar દખાણે પાણી કયા તાપમાને ઉકળશે? પાણી માટે K<sub>b</sub> 0.52 K kg mol<sup>-1</sup> છે.

### ઉક્ળેદિ

$$\text{ગલુકોજના મોલ} = 18 \text{ g} / 180 \text{ g mol}^{-1} = 0.1 \text{ mol}$$

$$\text{દ્રાવકના કિલોગ્રામની સંખ્યા} = 1 \text{ kg}$$

$$\text{આથી ગલુકોજ દ્રાવકની મોલાલિટી} = 0.1 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$\text{પાણી માટે ઉત્કલનબિંદુમાં ફેરફાર}$$

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

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

**કોયડો 2.8** બેન્જિનનું ઉત્કલનબિંદુ 353.23 K છે. જ્યારે 1.80 g અભાષ્પશીલ દ્રાવક 90 g બેન્જિનમાં ઓગાળવામાં આવ્યો, ત્યારે ઉત્કલનબિંદુ વધીને 354.11 K થયું. દ્રાવકનું મોલર દળ ગણો. બેન્જિન માટે  $K_b = 2.53 \text{ K kg mol}^{-1}$  છે.

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

આ મૂલ્યને સમીકરણ (2.33)માં મૂકતાં આપણને મળશે.

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

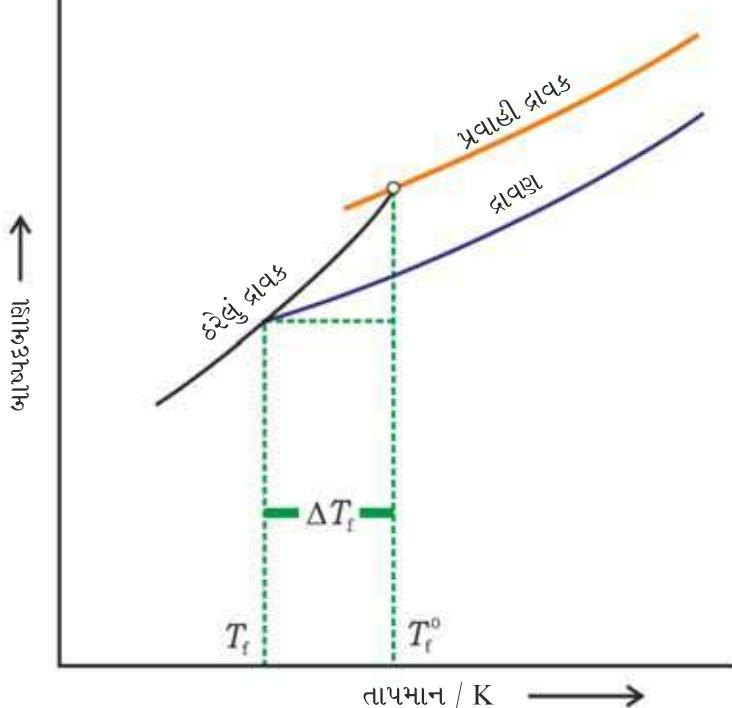
આથી, દ્રાવકનું મોલર દળ  $M_2 = 58 \text{ g mol}^{-1}$

**2.6.3 ઠારબિંદુનું અવનયન** દ્રાવકના બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો શુદ્ધ દ્રાવકની સરખામણીમાં દ્રાવકના ઠારબિંદુના ઘટાડમાં પરિણામે છે (આકૃતિ 2.8). આપણે જાણીએ છીએ કે પદાર્થનાં ઠારબિંદુએ

ઘન કલા પ્રવાહી કલા સાથે ગતિશીલ સંતુલનમાં હોય છે. આથી પદાર્થના ઠારબિંદુની વ્યાખ્યા આપી શકાય કે જે તાપમાને પદાર્થનું તેની પ્રવાહી અવસ્થામાં બાષ્પદબાણ ઘન કલાના બાષ્પદબાણને બરાબર હોય છે તે તેનું ઠારબિંદુ છે. આકૃતિ 2.8માંથી સ્પષ્ટ થાય છે કે કોઈ દ્રાવક ત્યારે ઠારદા પામશે જ્યારે તેનું બાષ્પદબાણ શુદ્ધ ઘન દ્રાવકના બાષ્પદબાણ બરાબર થશે ત્યારે. રાઉલ્ટના નિયમ પ્રમાણે જ્યારે અભાષ્પશીલ 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 અભાષ્પશીલ દ્રાવકને 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 દ્રાવક (આર્દ્ધ દ્રાવક) માટે ઠારબિંદુ અવનયન ( $\Delta T_f$ ) દ્રાવકની મોલાલિટીના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આમ,



**આકૃતિ 2.8 :** દ્રાવકમાં દ્રાવકના ઠારબિંદુનું અવનયન  
 $\Delta T_f$  દર્શાવતી આકૃતિ

$$\Delta T_f \propto m$$

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

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

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

જો  $w_1$  ગ્રામ દ્રાવકમાં  $M_2$  મોલર દળ ધરાવતા દ્રાવ્યના  $w_2$  ગ્રામ ઓળાળતા 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 આપણાને 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).

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

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

અહીંથી સંજ્ઞાઓ  $R$  અને  $M_1$  અનુકૂળ વાયુ અચળાંક અને દ્રાવકનું આર્જવીય દળ દર્શાવે છે.  $T_f$  અને  $T_b$  અનુકૂળ દ્રાવકના ઠારબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ કેલ્વિનમાં દર્શાવે છે. વળી,  $\Delta_{fus} H$  અને  $\Delta_{vap} H$  અનુકૂળ દ્રાવકની ગલન અન્યાન્ય અનુકૂળ દર્શાવે છે.

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

દ્રાવક	ઉત્કલનબિંદુ/K	$K_b/K \text{ kg mol}^{-1}$	ઠારબિંદુ/K	$K_f/K \text{ kg mol}^{-1}$
પાણી	373.15	0.52	273.0	1.86
ઇથેનોલ	351.5	1.20	155.7	1.99
સાયક્લોહેક્ઝન	353.74	2.79	279.55	20.00
બેન્જિન	353.3	2.53	278.6	5.12
ક્લોરોફોર્મ	334.4	3.63	209.6	4.79
કાર્ਬન ટેટ્રાક્લોરાઇડ	350.0	5.03	250.5	31.8
કાર્બન ડાયસફ્રેઇડ	319.4	2.34	164.2	3.83
ડાયથાઇલ ઈથર	307.8	2.02	156.9	1.79
એસિટિક એસિડ	391.1	2.93	290.0	3.90

**ક્રોયડો 2.9** 45 g ઈથીલીન જ્વાયકોલ ( $C_2H_6O_2$ ) 600 g પાણી સાથે મિશ્ર કરવામાં આવ્યું. (a) ઠારબિંદુ અવનયન અને (b) દ્રાવકનું ઠારબિંદુ ગણો.

**ઉકેલ :** ઠારબિંદુમાં અવનયન મોલાલિટી સાથે સંબંધિત છે માટે, ઈથીલીન જ્વાયકોલના સંદર્ભમાં દ્રાવકની મોલાલિટી

$$= \frac{\text{ઈથીલીન જ્વાયકોલના મોલ}}{\text{પાણીનું કિલોગ્રામમાં દળ}}$$

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

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

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

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

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

**ક્રોયડો 2.10** 1.0 g અવિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવ્ય જે 50 g બેન્જિનમાં ઓગાળેલ છે તે બેન્જિનના ઠારબિંદુમાં 0.40 Kનો ઘટાડો દર્શાવે છે. બેન્જિનનો ઠારબિંદુ અવનયન અચળાક  $5.12 \text{ K kg mol}^{-1}$  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 દ્રબ્ધા

(Osmosis and Osmotic Pressure)

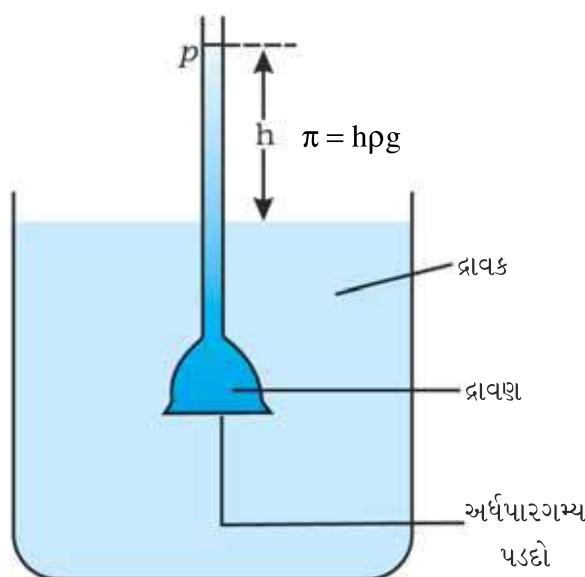
આપણો ઘણી પરિઘટનાઓ ફુદરતમાં અને ઘરમાં જોઈએ છીએ. ઉદાહરણ તરીકે, કાચી કેરી જ્યારે બ્રાઇન(ક્ષારનું પાણી)માં આથીએ (pickling) છીએ ત્યારે, તે સંકોચાઈ (shrived) જાય છે; કરમાયેલા (wilted) ફૂલો તાજા પાણીમાં મૂકવામાં આવે, તો નવજીવન પ્રાપ્ત (revived) થાય છે, લોહીના કોષને ક્ષારીય પાણીમાં મૂકવામાં આવે

ત્યારે ક્ષીણ થઈ જાય છે (collapsed) વગેરે.

આ આપણો 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 ફુદરતી પડદા જેવા કે ભૂંઝનું મૂત્રાશય (bladder) અથવા પાર્ચમેન્ટ અથવા સાંશ્લોષિક જેવા કે સેલોફેન પણ હોય છે. આ પડદા સતત (સંંગ) શીટ (sheet) અથવા ફિલ્મ (film) જેવા દેખાય છે. આમ છતાં પણ તે એવી જાળીદાર રચના ધરાવે છે જે ઉપસૂક્ષ્મીય (submicroscopic) કાણાં

આંકૃતિક 2.9 :

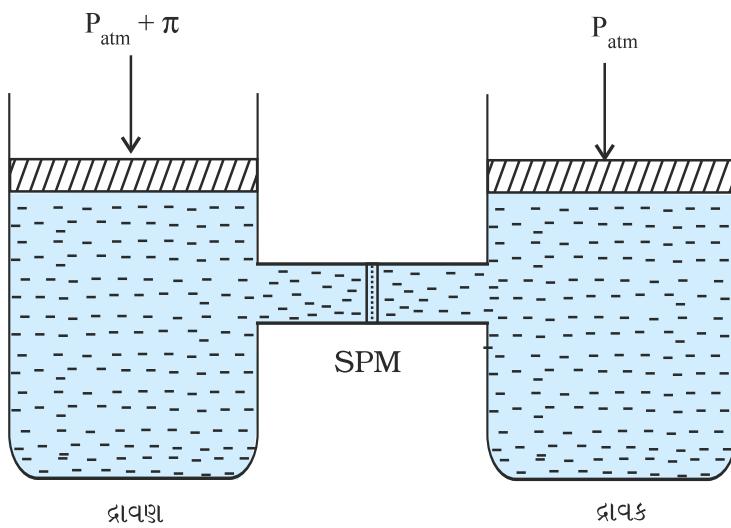
દ્રાવકના અભિસરણને કારણે દ્રાવકનું સ્તર થીસલ ગળજીમાં ઉંચે ચુંચે છે.



અથવા છિદ્રો 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(પ્રકમ)ને અભિસરણ કહે છે.

આ પ્રવાહ સંતુલન પ્રાપ્ત થશે ત્યાં સુધી ચાલુ રહેશે. જે 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 સાંક્રાન્તિક દ્રાવક તરફ દ્રાવકનો પ્રવાહ અભિસરણને કારણે હોય છે. અગત્યનો મુદ્દો જે ધ્યાનમાં રાખવા જેવો છે તે એ છે કે દ્રાવક કણો હંમેશાં દ્રાવણની ઓછી સાંક્રતાથી વધારે સાંક્રતા તરફ વહે છે. અભિસરણ દબાણ દ્રાવણની સાંક્રતા પર આધાર રાખે છે તેમ જણાયું છે.



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 કારણા કે તે દ્રાવક 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, Cને સમપ્રમાણ છે. આથી,

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

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

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

અહીંથાં, V દ્રાવ્યના  $n_2$  મોલ ઓળખાંલ દ્રાવણનું કદ છે. જો અણુભાર  $M_2$  ધરાવતા દ્રાવ્યના  $w_2$  ગ્રામ દ્રાવક 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 લાભદાર્યી છે કારણ કે ઓરડાના તાપમાનની આસપાસ દબાણનું માપન અને મોલાલિટીને બદલે દ્રાવણની મોલારિટીનો ઉપયોગ થાય છે. અન્ય સંઘ્યાત્મક 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) સોઝિયમ કલોરાઈડના દ્રાવણ જેને સામાન્ય (normal) શારીર (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 સોઝિયમ કલોરાઈડ ધરાવતા દ્રાવણમાં મૂકીએ તો પાણી કોષની બહાર નીકળી જાય અને કોષ સંકોચાવા માંડે. આવા દ્રાવણને અતિઅભિસારી (hypertonic) કહે છે. જો શારની સાંકૃતા 0.9 % (દળ/કદ)થી ઓછી હોય તો, દ્રાવણને અલ્ફઅભિસારી (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 :** આપણાને 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  $2.42 \text{ માં આ મૂલ્યો મૂકૃતાં}$ .

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

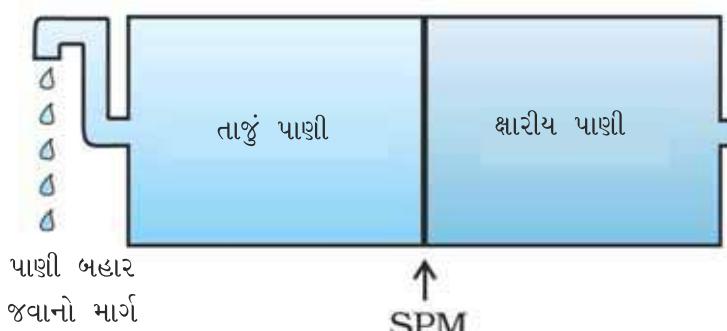
આ વિભાગની શરૂઆતમાં નિર્દેશ કરેલી પરિઘટના અભિસરણના આધારે સમજાવી શકાય. શારના દ્રાવણમાં આથેલી કાચી કેરી અભિસરણને કારણે પાણી ગુમાવે છે અને પાણીમાં સંકોચાઈ જાય છે. કરમાયેલા ફૂલ જ્યારે તાજ પાણીમાં મૂકવામાં આવે છે ત્યારે નવપલિત થાય છે. ગાજર કે જે પાણી ગુમાવવાને કારણે નરમ પડી ગયું હોય છે તેને પાણીમાં રાખતાં ફરી પાછું કડક થઈ જાય છે. તેના કોષમાં અભિસરણ દ્વારા પાણી દાખલ થશે. 0.9 % (દળ/કદ)થી ઓછો શાર 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 ફુલાવવાને શોથ (edema) કહે

છે. જમીનમાંથી પાણીનું વૃક્ષના મૂળમાં જવું અને ત્યારબાદ વૃક્ષના ઉપરના ભાગમાં જવું તે અંશતઃ રીતે અભિસરણને કારણો હોય છે. ક્ષારથી માંસનું પરિરક્ષણ અને ફળોમાં ખાંડ ઉમેરવાથી તે બેક્ટેરિયાની અસર સામે રક્ષણ આપે છે. અભિસરણ પ્રક્રિયાની મારફત ક્ષાર લગાડેલ માંસ અથવા શર્કરારસિત 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 ઉલ્લંઘન (Reverse) શકાય છે એટલે કે, હવે શુદ્ધ દ્રાવણમાંથી અર્ધપારગમ્ય પડદા મારફત બહાર વહે છે. આ પરિષ્ટનાને પ્રતિ (પ્રતીપ) અભિસરણ કરે છે અને તેની ઘણી જ બહવારિક ઉપયોગિતા છે પ્રતિ અભિસરણ દરિયાઈ પાણીમાંથી ક્ષાર દૂર કરવા માટે વપરાય છે. આ પ્રકમ માટે આકૃતિ 2.11માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે આયોજન ગોઠવી શકાય છે. જ્યારે અભિસરણ દબાણ કરતાં વધારે

↓  
પિસ્ટન  
દબાણ >  $\pi$   
નીચોવાઈ (squeeze) જાય છે. આ હેતુ માટે પોલિમર પડદાની અનેક જાતો પ્રાપ્ત છે.



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

પ્રતિ અભિસરણ માટે ઘણું ઊંચું દબાણ જરૂરી હોય છે. સામાન્ય રીતે વપરાતો છિદ્રાળુ પડદો યોગ્ય આધાર પર ગોઠવેલ સેલ્યુલોજ એસિટેની ફિલ્મ હોય છે. સેલ્યુલોજ 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.

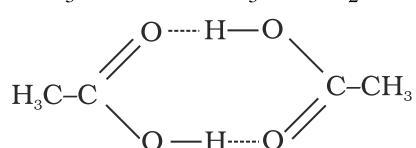
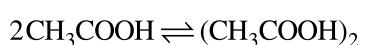
### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 2.9 298 K તાપમાને શુદ્ધ પાણીનું બાઘદબાણ 23.8 mm Hg છે. 50 g યૂરિયા ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) 850 g પાણીમાં ઓગાળેલ છે. આ દ્રાવણ માટે પાણીનું બાઘદબાણ અને તેનો સાપેક્ષ ઘટાડો ગણો.
- 2.10 750 mm Hg દબાણે પાણીનું ઉત્કલનબિંદુ 99.63 °C છે. 500 g પાણીમાં કેટલો સુકોજ ઉમેરવો જોઈએ કે જેથી તે 100 °C તાપમાને ઉકળે ?
- 2.11 75 g એસિટિક એસિડમાં ઉમેરવા પડતા એસ્ટોર્બિક 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  $\text{KCl}$ નો 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  $\text{KCl}$  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.



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

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

1880માં વોન્ટ હોફ (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.

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

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

$$= \frac{\text{સુયોજન} / \text{વિયોજન પદ્ધતિના કણોના મોલની કુલ સંખ્યા}}{\text{સુયોજન} / \text{વિયોજન} \quad \text{અ ગાઉના કણોના મોલની કુલ સંખ્યા}}$$

અહીંયા અસામાન્ય મોલર દળ પ્રાયોગિક રીતે નક્કી કરેલું મોલર દળ હોય છે અને ગણતરી કરેલ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મ અભાષ્યશીલ દ્રાવ્ય સુયોજન અથવા વિયોજન પાંચો નથી એમ ધારીને ગણવામાં આવે છે. સુયોજનના ડિસ્સામાં તંતું મૂલ્ય એક કરતાં ઓછું હોય છે અને વિયોજન માટે એક કરતાં વધારે હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે, જલીય KCl દ્રાવણ માટે તંતું મૂલ્ય 2ની નજીક હોય છે જ્યારે બેન્જિનમાં ઇથેનોઈક ઓસિડ માટે લગભગ 0.5 હોય છે.

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

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

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

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

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

કોષ્ટક 2.4માં કેટલાક પ્રબળ વિદ્યુત વિભાજ્યોના વોન્ટ હોફ અવયવની દર્શાવ્યા છે. KCl, NaCl, MgSO<sub>4</sub> માટે જેમ દ્રાવણ વધુ મંદ બને ત્યારે વિભાગ 2ની નજીક પહોંચે છે. અપેક્ષા પ્રમાણે K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> માટે ઇનું 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 સાંક્રતાએ વોન્ટ હોફ અવયવ ઇન્ના મૂલ્યો

કાર	*ઇન્ના મૂલ્યો			દ્રાવણ સંપૂર્ણ વિયોજન માટે વોન્ટ હોફ અવયવ ની
	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 મૂલ્યો રજૂ કરે છે.

### કોષ્ટક 2.12

25 g બેન્જિનમાં ઓગાળેલ 2 g બેન્જોઈક એસિડ (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH), દારબંદુમાં અવનયન બરાબર 1.62 K દર્શાવે છે. બેન્જિન 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 ?

### ઉક્તા

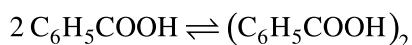
આપેલ રાશિઓ છે w<sub>2</sub> = 2 g, K<sub>f</sub> = 4.9 K kg mol<sup>-1</sup>, w<sub>1</sub> = 25 g, ΔT<sub>f</sub> = 1.62 K

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 બેન્જિનમાં બેન્જોઈક એસિડનું પ્રાયોગિક મોલર દળ = 241.98 g mol<sup>-1</sup>

હવે એસિડ માટે નીચેનું સંતુલન ધ્યાનમાં લો.



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

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 ની બરાબર થશે.

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

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

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

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

आथी, बेन्जिनमां बेन्जोईक ऑसिडनुं सुयोजन 99.2 %

- क्रेयडे 2.13** 1.06 g mL<sup>-1</sup> धनता धरावता 0.6 mL एसिटिक ऑसिड ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )ने 1 लिटर पाणीमां ओगाळवामां आव्यो. ठारबिंदुमां अवनयन  $0.0205^{\circ}\text{C}$  अवलोकित करवामां आव्यु. वोन्ट होळ अवयव अने ऑसिडनो वियोजन अचणांक गाणो.

$$\text{उकेल : } \text{एसिटिक ऑसिडना मोलनी संभ्या} = \frac{0.6 \text{ mL} \times 1.06 \text{ g mL}^{-1}}{60 \text{ g mol}^{-1}}$$

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

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

सभीकरण (2.35)नो उपयोग करीने

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

$$\text{वोन्ट होळ अवयव (i)} = \frac{\text{अवलोकित ठारबिंदु}}{\text{गाणतरी करेल ठारबिंदु}} = \frac{0.0205 \text{ K}}{0.0197 \text{ K}} = 1.041$$

एसिटिक ऑसिड निर्भज विद्युत विभाज्य छे अने ते एसिटिक ऑसिडना दरेक अणुटीठ ऑसिटेट अने हाईड्रोजन आयन एम बे आयनोमां वियोजित थशे. पारो के एसिटिक ऑसिडनो वियोजन अंश  $x$  छे, तो आपणी पासे  $n(1-x)$  अवियोजित एसिटिक ऑसिडना मोल अने  $nx \text{ mol } \text{CH}_3\text{COO}^-$  अने  $nx \text{ mol } \text{H}^+$  आयन भण्हे.



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

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

आथी कणोना कुल मोल भराभर  $n(1-x+x+x) = n(1+x)$  थशे.

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

आथी, एसिटिक ऑसिडनो वियोजन अंश  $= x = 1.041 - 1.000 = 0.041$

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

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

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

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

## સારાંશ

દ્રાવણ બે કે વધારે પદાર્થોનું સમાંગ મિશ્રણ છે. દ્રાવણને ઘન, પ્રવાહી અને વાયુમય દ્રાવણો તરીકે વર્ગીકૃત કરવામાં આવ્યા છે. દ્રાવણની સાંક્રતા મોલ અંશ, મોલારિટી, મોલાલિટી અને ટકાવારીના પર્યાયોમાં દર્શાવાય છે. પ્રવાહીમાં વાયુનું વિલયન હેત્રીના નિયમથી અંકુશિત (governed) છે. જેના પ્રમાણો આપેલ તાપમાને વાયુની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતા વાયુના આંશિક દભાણના સમપ્રમાણમાં હોય છે. દ્રાવણમાં અભાષ્પશીલ દ્રાવ્યની હાજરીથી દ્રાવકનું બાષ્પદભાણ ઘટે છે અને આ બાષ્પદભાણમાં ઘટાડો રાઉલ્ટના નિયમથી અંકુશિત છે. તેના પ્રમાણો દ્રાવણ પરના દ્રાવકનો સાપેક્ષ બાષ્પદભાણ ઘટાડો દ્રાવણમાં રહેલા અભાષ્પશીલ 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  $p_{\text{total}} = p^0 x_1 + p^0 x_2$  પ્રમાણો નિવેદિત કરી શકાય છે. જે દ્રાવણો સાંક્રતાના 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 એઝીયોટ્રોપ 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 બાષ્પદભાણમાં ઘટાડો, ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન, ઠારિબિંદુમાં અવન્યન અને અભિસરણ દભાણ છે. અભિસરણ દભાણ પ્રકમને ઉલટાવી શકાય જો દ્રાવણ પર અભિસરણ દભાણ કરતાં વધારે દભાણ 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 અંથી અભિવ્યક્ત કરાય છે. આ અવયવની વ્યાખ્યા આપો 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 ઉદાહરણાસહ ટૂંકમાં લખો.
- 2.2 એક એવા ઘન દ્રાવણનું ઉદાહરણ આપો જેમાં દ્રાવ્ય વાયુ હોય.
- 2.3 નીચેના પર્યાયોને વ્યાખ્યાપિત કરો :
  - (i) મોલ અંશ
  - (ii) મોલાલિટી
  - (iii) મોલારિટી
  - (iv) દળ ટકાવારી
- 2.4 પ્રયોગશાળા કાર્યમાં વપરાતો સાંક્રનાઈટ્રિક ઑસિડ દળથી 68 % નાઈટ્રિક ઑસિડ તરીકે જલીય દ્રાવણમાં છે. જો દ્રાવણની ઘનતા  $1.504 \text{ g mL}^{-1}$  હોય, તો ઑસિડના આવા નમૂનાની મોલારિટી કેટલી હશે ?

- 2.5 પાણીમાં ગલુકોજના 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 પદાર્થનો સમમોલર જથ્થો ધરાવતા  $1 \text{ g}$  મિશ્રણને સંપૂર્ણ પણે પ્રક્રિયા કરવા માટે  $0.1 \text{ M HCl}$ ના કેટલા  $\text{mL}$ ની જરૂર પડશે ?
- 2.7 દળથી 25 % દ્રાવણના  $300 \text{ g}$  અને 40 % દ્રાવણના દળથી  $400 \text{ g}$  મિશ્ર કરીને એક દ્રાવણ બનાવવામાં આવ્યું. પરિણામતા દ્રાવણના દળની ટકાવારી ગણો.
- 2.8 એક પ્રતિહીમ (antifreeze) દ્રાવણ  $222.6 \text{ g}$  ઈથીલીન ગ્લાયકોલ ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ) અને  $200 \text{ g}$  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 સંદૂધિત થયેલો જણાયો છે જેને કેન્સરજન્ય ધારવામાં આવ્યો છે. સંદૂધણનું સ્તર (પ્રમાણ)  $15 \text{ ppm}$  (દળથી) જણાયું છે.
- આને દળથી ટકાવારીમાં દર્શાવો.
  - પાણીના નમૂનામાં ક્લોરોફોર્મની મોલાલિટી નક્કી કરો.
- 2.10 આલ્કોહોલ અને પાણીના દ્રાવણમાં આંશિય પારસ્પરિક કિયા શું ભાગ ભજવે છે ?
- 2.11 શા માટે વાયુઓ હુંમેશાં જેમ તાપમાન વધારવામાં આવે છે તેમ પ્રવાહીમાં ઓછા દ્રાવ્ય થવાનું વલણ ધરાવે છે ?
- 2.12 હેચ્રીના નિયમનું નિવેદન કરો અને તેના કેટલાક અગત્યના અનુપ્રયોગ (applications) જણાવો.
- 2.13  $6.56 \times 10^{-3} \text{ g}$  ઈથેન ધરાવતા દ્રાવણનું આંશિક બાઘ્યદભાષા દ્રાવણની ઉપર  $1 \text{ bar}$  છે. જો દ્રાવણ  $5.00 \times 10^{-2} \text{ g}$  ઈથેન ધરાવતું હોય, તો વાયુનું આંશિક દ્રબ્ધાણ કેટલું થશે ?
- 2.14 રાઉલ્ટના નિયમથી ધન અને ઋણ વિચલનનો અર્થ શું થાય છે અને રાઉલ્ટના નિયમથી થતાં ધન અને ઋણ વિચલન  $\Delta_{\text{mix}}$   $\text{H}_{\text{f}}$  સંશો સાથે કેવી રીતે સંબંધિત છે ?
- 2.15 2 % અબાઘ્યશીલ દ્રાવ્ય ધરાવતું જલીય દ્રાવણ સામાન્ય ઉત્કલનબિંદુએ  $1.004 \text{ bar}$  દ્રબ્ધાણ કરે છે. દ્રાવ્યનું મોલર દળ કેટલું હશે ?
- 2.16 હેટ્ટેન અને ઓક્ટેન આર્દ્ધ દ્રાવણ બનાવે છે.  $373 \text{ K}$  તાપમાને બંને પ્રવાહી ઘટકોના બાઘ્યદભાષા અનુક્રમે  $105.2 \text{ kPa}$  અને  $46.8 \text{ kPa}$  છે.  $26.0 \text{ g}$  હેટ્ટેન અને  $35 \text{ g}$  ઓક્ટેન ધરાવતા મિશ્રણનું બાઘ્યદભાષા કેટલું થશે ?
- 2.17 પાણીનું બાઘ્યદભાષા  $300 \text{ K}$  તાપમાને  $12.3 \text{ kPa}$  છે. તેના અબાઘ્યશીલ દ્રાવ્યના  $1 \text{ મોલલ દ્રાવણ માટે બાઘ્યદભાષા ગણો.}$
- 2.18 અબાઘ્યશીલ દ્રાવ્ય (મોલર દળ  $40 \text{ g mol}^{-1}$ )નું દળ ગણો જેને  $114 \text{ g}$  ઓક્ટેનમાં ઓગાળવામાં આવે, તો બાઘ્યદભાષા  $80 \%$  જેટલું ધટી જાય.
- 2.19  $90 \text{ g}$  પાણીમાં  $30 \text{ g}$  અબાઘ્યશીલ દ્રાવ્ય ધરાવતા દ્રાવણનું  $298 \text{ K}$  તાપમાને બાઘ્યદભાષા  $2.8 \text{ kPa}$  છે. આગળ જતાં  $18 \text{ g}$  પાણી દ્રાવણમાં ઉમેરવામાં આવ્યું અને નવું બાઘ્યદભાષા  $298 \text{ K}$  તાપમાને  $2.9 \text{ kPa}$  થયું. ગણતરી કરો : (i) દ્રાવ્યનું મોલર દળ (ii)  $298 \text{ K}$  તાપમાને પાણીનું બાઘ્યદભાષા.
- 2.20 ખાંડના 5 % દ્રાવણ(દળથી)નું દારબિંદુ  $271 \text{ K}$  છે. જો શુદ્ધ પાણીનું દારબિંદુ  $273.15 \text{ K}$  હોય, તો પાણીમાં 5 % ગલુકોજ ધરાવતા દ્રાવણનું દારબિંદુ ગણો.
- 2.21 બે તત્ત્વો A અને B,  $\text{AB}_2$  અને  $\text{AB}_4$  સૂત્ર ધરાવતા સંયોજનનો બનાવે છે.  
તેમને  $20 \text{ g}$  બેન્જિન ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )માં ઓગાળતાં  $\text{AB}_2$ નો  $1 \text{ g}$  દારબિંદુમાં  $2.3 \text{ K}$ નો ઘટાડો કરે છે જ્યારે  $\text{AB}_4$ નો  $1 \text{ g}$   $1.3 \text{ K}$ નો ઘટાડો કરે છે. બેન્જિનનો મોલલ અવનયન અચળાંક  $5.1 \text{ K kg mol}^{-1}$  છે. A અને Bના પરમાણુવીય દળ ગણો.

- 2.22 300 K તાપમાને 36 g ગ્લુકોજ ધરાવતા તેના દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ 4.98 bar છે. જો તે 7 તાપમાને કોઈ દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ 1.52 bar હોય તો તેની સાંક્રતા કેટલી હશે ?
- 2.23 નીચેની જોડમાં સૌથી અગત્યના પ્રકારની આંતરઆઇવીય આકર્ષણીય પારસ્પરિકતા (આંતરકિયા) સૂચવો :
- n-હેક્ટેન અને n-ઓક્ટેન
  - I<sub>2</sub> અને CCl<sub>4</sub>
  - NaClO<sub>4</sub> અને પાણી
  - મિથેનોલ અને એસિટોન
  - એસિટોનાઇટ્રાઇલ (CH<sub>3</sub>CN) અને એસિટોન (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O).
- 2.24 દ્રાવ્ય-દ્રાવક પારસ્પરિક કિયાના આધારે નીચેનાને તેમની n-ઓક્ટેનમાં દ્રાવ્યતાના ચઢતા કમમાં ગોડવો અને સમજાવો.
- સાયક્લોહેક્ટેન, KCl, CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>3</sub>CN
- 2.25 નીચેના સંયોજનોમાંથી પાણીમાં અદ્રાવ્ય, અંશતઃ દ્રાવ્ય અને અતિદ્રાવ્યને ઓળખી બતાવો :
- ફિનોલ
  - ટોલ્યુઇન
  - 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  $6 \times 10^{-16}$  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>CN માં ઓગાળવામાં આવે, તો એસ્પિરિનની એસિટોનાઇટ્રાઇલમાં દળથી ટકવારી 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  $1.5 \times 10^{-3}$  m જલીય દ્રાવણ માટેનું દળ ગણો.
- 2.30 250 mL 0.15 M બેન્જોઈક 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 દારબિંદુ અવનયન (ઘટાડો) ઉપર જણાવેલા કમમાં 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 દારબિંદુ અવનયન ગણો. K<sub>a</sub> =  $1.4 \times 10^{-3}$ , 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 દારબિંદુનું અવનયન 1.0 °C નોંધાયું છે. ફ્લોરોએસિટિક એસિડનો વિયોજન અચળાંક અને વોન્ટ હોફ અવયવ ગણો.
- 2.34 293 K તાપમાને પાણીનું બાઘદબાણ 17.535 mm Hg છે. 293 K તાપમાને જ્યારે 450 g પાણીમાં 25 g ગ્લુકોજ ઓગાળવામાં આવ્યો ત્યારે બાઘદબાણ ગણો.
- 2.35 298 K તાપમાને બેન્જિનમાં મિથેનની મોલારિટી માટે હેત્રી અચળાંકનું મૂલ્ય  $4.27 \times 10^5$  mm Hg છે. 760 mm દબાણ હેઠળ 298 K તાપમાને મિથેનની બેન્જિનમાં 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 બાઘદબાણ 500 torr જણાયું. શુદ્ધ પ્રવાહી Aનું બાઘદબાણ ગણો અને જો દ્રાવણનું કુલ દબાણ 475 torr હોય, તો તેનું દ્રાવણમાં બાઘદબાણ ગણો.

2.37 શુદ્ધ એક્સિટોન અને ક્લોરોફોર્મના બાય્પદબાણ 328 K તાપમાને અનુકમે 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  $p_{\text{એક્સિટોન}}$  નો  $x_{\text{એક્સિટોન}}$  ના વિધેય (function) તરીકે આલેખ દોરો. મિશ્રણના જુદા જુદા સંઘટન માટે અવલોકિત કરેલી પ્રાયોગિક માહિતી નીચે પ્રમાણે છે.

$100 \times x_{\text{એક્સિટોન}}$	0	11.8	23.4	36.0	50.8	58.2	64.5	72.1
$p_{\text{એક્સિટોન}}/\text{mm Hg}$	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 ઝાણ વિચલન છે તેનું સૂચન કરો.

2.38 બેન્જિન અને ટોલ્યુઈન સંઘટનના સંપૂર્ણ ગાળા દરમિયાન આદર્શ દ્રાવણ બનાવે છે. 300 K તાપમાને શુદ્ધ બેન્જિન અને ટોલ્યુઈનના બાય્પદબાણ અનુકમે 50.71 mm Hg અને 32.06 mm Hg છે. જો 80 g બેન્જિન અને 100 g ટોલ્યુઈન મિશ્રણ કરવામાં આવ્યા હોય, તો બેન્જિનનો બાય્ય અવસ્થામાં મોલ અંશ ગણો.

2.39 હવા ઘણા વાયુઓનું મિશ્રણ છે. 298 K તાપમાને મુખ્ય ઘટકો ઓક્સિજન અને નાઈટ્રોજનનું લગભગ પ્રમાણ કદથી અનુકમે 20 % અને 79 % છે. 10 atm દબાણો પાણી હવા સાથે સંતુલનમાં છે. હેત્રી નિયમ અચળાંક ઓક્સિજન અને નાઈટ્રોજન માટે 298 K તાપમાને અનુકમે  $3.30 \times 10^7 \text{ mm}$  અને  $6.51 \times 10^7 \text{ mm}$  હોય, તો પાણીમાં આ વાયુઓનું સંઘટન (પ્રમાણ) ગણો.

2.40 27°C તાપમાને 0.75 atm અભિસરણ દબાણ દર્શાવે તેવા કેલિયમ 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

એકમ

# 3

## વિદ્યુતરસાયણીવિજ્ઞાન (Electrochemistry)

### હેતુઓ

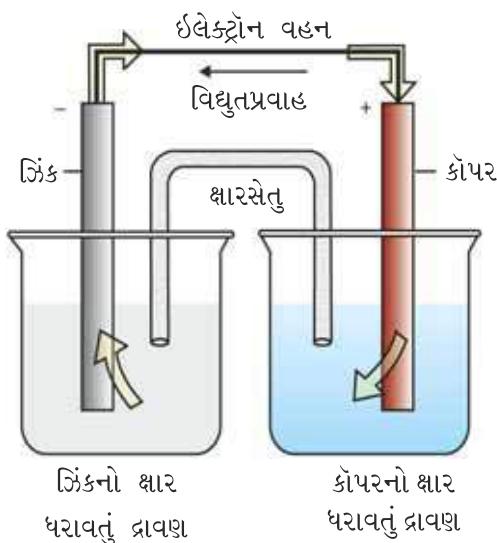
આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- વિદ્યુતરસાયણીક કોષનું વર્ણન કરી શકશો અને ગેલ્વેનિક તથા વિદ્યુતવિભાજનીય કોષ વચ્ચે બેદ દર્શાવી શકશો.
- ગેલ્વેનિક કોષનો ઈ.એમ.એફ. નન્સ્ટના સમીકરણનો ઉપયોગ કરીને ગણી શકશો અને કોષનો પ્રમાણિત પોટોન્શિયલ વાખ્યાયિત કરી શકશો.
- કોષનો પ્રમાણિત પોટોન્શિયલ, કોષ પ્રક્રિયાની ગિબ્સ ઊર્જા અને સંતુલન અચળાંક વચ્ચે સંબંધ ઉપજાવી શકશો.
- આયનીય દ્રાવકણા અવરોધકતા ( $p$ ), વાહકતા (k) અને મોલર વાહકતા ( $\Lambda_m^0$ )ની વાખ્યા આપી શકશો.
- આયનીય (વિદ્યુતવિભાજનીય) અને ઈલેક્ટ્રોનીય વાહકતા વચ્ચે બેદ પાડી શકશો.
- વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવકણોની વાહકતાના માપન માટેની પદ્ધતિને વર્ણવી શકશો અને તેમની મોલર વાહકતા પણ ગણી શકશો.
- વાહકતા અને મોલર વાહકતાનો તેમના દ્રાવકણોની સાંક્રતા સાથેના ફેરફારને વાજબી ઠેરવી શકશો અને  $\Lambda_m^0$  (શૂન્ય સાંક્રતા અથવા અનંત મંદને મોલર વાહકતા) વાખ્યાયિત કરી શકશો.
- કોહલરોશ નિયમને પ્રતિશાપિત (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 વિદ્યુતરસાયણીક પ્રક્રિયા તરીકે સમજવી શકશો.

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

વિદ્યુતરસાયણીવિજ્ઞાન સ્વયંસ્કૃત રાસાયણિક પ્રક્રિયા દરમિયાન મુક્ત થયેલ ઊર્જાથી વિદ્યુત ઉત્પન્ન કરવાનો અને વિદ્યુતીય ઊર્જાનો અસ્વયંસ્કૃત રાસાયણિક પ્રક્રિયાને પાર પાડવા (કરવા) માટે થતા ઉપયોગનો અભ્યાસ છે. આ વિષય બંને સૈદ્ધાંતિક અને પ્રાયોગિક ગણતરીઓના આધારે અગત્યનો છે. મોટી સંખ્યામાં ધાતુઓ, સોલિયમ હાઇડ્રોક્સાઈડ, કલોરિન, ફલોરિન અને બીજા ધણા રાસાયણો વિદ્યુતરસાયણિક પદ્ધતિઓથી પેદા કરી શકાય છે. બેટરી અને બળતણ કોષ રાસાયણિક ઊર્જાનું વિદ્યુતીય ઊર્જામાં પરિવર્તન કરે છે અને મોટા પાયે તેનો ઉપયોગ ધણાં બધાં સાધનો અને ઉપકરણો (ડીવાઈસ)માં થાય છે. વિદ્યુતરસાયણિક રીતે કરેલી પ્રક્રિયાઓ ઊર્જા સક્ષમ અને ઓછી પ્રદૂષક છે. આથી પર્યાવરણ મૈત્રીકૃપ (ecofriendly) નવી ટેકનોલોજીના સર્જન માટે વિદ્યુતરસાયણનો ઉપયોગ ધણો અગત્યનો છે. સંવેદી સંકેતોનું મગજમાં કોષો મારફતે સંચરણ અને તેથી ઊલટું પણ અને કોષોની વચ્ચે સંદેશાબ્દવહાર વગેરે વિદ્યુતીય રાસાયણિક મૂળ (ઉદ્ગમસ્થાન) ધરાવે છે. વિદ્યુતરસાયણીવિજ્ઞાન એટલા માટે જ ધણો વિશાળ અને આંતરવિખ્યક (interdisciplinary) વિષય છે. આ એકમમાં આપણે તેની માત્ર કેટલીક પ્રાથમિક બાબતોનો સમાવેશ કરીશું.

### 3.1 વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ (Electrochemical Cell)



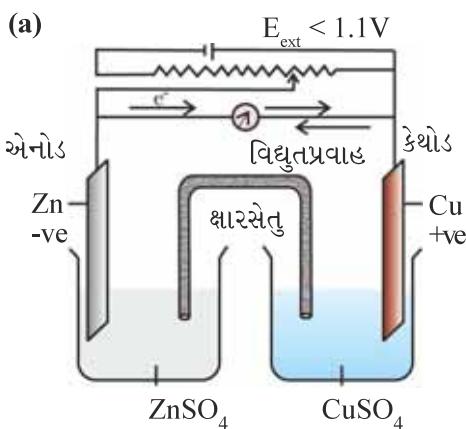
**આકૃતિ 3.1 :** ડેનિયલ કોષ જેમાં ઝિંક અને કોપરના વિદ્યુતધૂવો અનુક્રમે તેમના ક્ષારના દ્રાવણમાં રૂબાંલા છે.

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

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

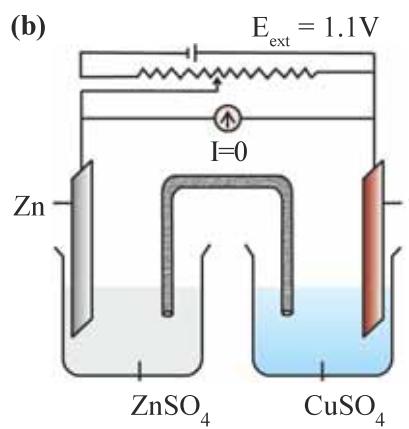
અને જ્યારે  $\text{Zn}^{2+}$  અને  $\text{Cu}^{2+}$  આયનોની સાંક્રતા એક એકમ (unity) ( $1 \text{ mol dm}^{-3}$ ) \* હોય ત્યારે તેનો વિદ્યુતીય પોટોન્શિયલ 1.1 V જેટલો હોય છે. આવા ઉપકરણને ગેલ્વેનિક અથવા વોલ્ટેઇક કોષ કહે છે.

જો ગેલ્વેનિક કોષ (આકૃતિ 3.2 (a))માં બાબુ વિરુદ્ધ પોટોન્શિયલ લાગુ પાડીએ તો અને ધીમે ધીમે વધારતા જઈએ તો આપણાને જણાશે કે જ્યાં સુધી બાબુ વિરુદ્ધ પોટોન્શિયલ 1.1 V (આકૃતિ 3.2 (b)) થશે નહિએ ત્યાં સુધી પ્રક્રિયા ચાલુ રહે અને પ્રક્રિયા સંપૂર્ણ રીતે બંધ થશે નહિએ અને કોષમાંથી પ્રવાહ વહેવાનો બંધ થશે નહિએ. બાબુ પોટોન્શિયલમાં 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 અસ્વયંસ્કૃત રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ થવા માટે વપરાશે. બંને પ્રકારના કોષ ઘણા અગત્યના છે અને આપણે હવે પણીના પાનાઓ(pages)માં તેમની કેટલીક વિશિષ્ટ બાબતો શીખશું.

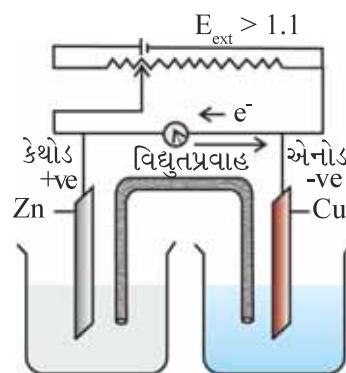


- જ્યારે  $E_{\text{ext}} < 1.1 \text{V}$
- (i) ઈલેક્ટ્રોન ઝિંકના સણિયા પરથી કોપરના સણિયા પર વહે છે, તેથી વિદ્યુત પ્રવાહ Cu થી Zn તરફ વહેશે.
  - (ii) એનોડ પર ઝિંક ઓગળે છે અને કેથોડ પર કોપર નિક્ષેપિત (જમા) થાય છે.

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



- જ્યારે  $E_{\text{ext}} = 1.1 \text{V}$
- (i) ઈલેક્ટ્રોન કે વિદ્યુત પ્રવાહ વહેશે નહિએ.
  - (ii) રાસાયણિક પ્રક્રિયા થશે નહિએ.



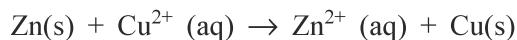
- જ્યારે  $E_{\text{ext}} > 1.1 \text{V}$
- (i) ઈલેક્ટ્રોન Cu થી Zn તરફ વહે છે અને વિદ્યુત પ્રવાહ Zn થી Cu તરફ વહે છે.
  - (ii) ઝિંક ધાતુ ઝિંક વિદ્યુતધૂવ પર નિક્ષેપિત થશે અને કોપર વિદ્યુતધૂવ પર કોપર ઓગળશે.

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

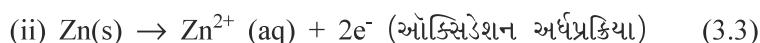
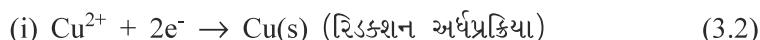
### 3.2 ગેલ્વેનિક કોષો (Galvanic Cells)

અગાઉ (ધોરણ XI એકમ 8) દર્શાવ્યા પ્રમાણે ગેલ્વેનિક કોષ એવો વિદ્યુતરસાયણિક કોષ છે જે સ્વયંસ્ફૂર્તિત રેઝેક્શન પ્રક્રિયાની રાસાયણિક ઊર્જા વિદ્યુતીય ઊર્જામાં પરિવર્તિત કરે છે. આ ઉપકરણમાં સ્વયંસ્ફૂર્તિત રેઝેક્શન પ્રક્રિયાની ગિબ્સઓર્જાનું વિદ્યુતીય કાર્યમાં રૂપાંતર થાય છે, જેનો ઉપયોગ મોટર ચલાવવા અથવા ડીટર, પંખો, ગીજર વગેરે જેવા વિદ્યુતીય સાધનોમાં કરી શકાય.

દેનિયલ કોષ અગાઉ ચર્ચા કરી છે તેવો કોષ છે જેમાં નીચેની રેઝેક્શન પ્રક્રિયા થાય છે.



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



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

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

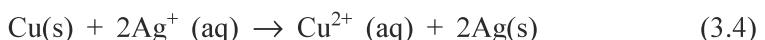
દરેક વિદ્યુતધ્રુવ-વિદ્યુતવિભાજય આંતરસપાઠી પર ધાતુ આયન દ્રાવણમાંથી વિદ્યુતધ્રુવ પર નિક્ષેપિત થવાનું વલણ ધરાવે છે અને તેને ધનવીજભારિત બનાવવાનો પ્રયત્ન કરે છે. આ જ સમયે, વિદ્યુતધ્રુવના ધાતુ પરમાણુઓને આયન તરીકે દ્રાવણમાં જવાનું વલણ હોય છે અને વિદ્યુતધ્રુવ પર ઈલેક્ટ્રોન છોડી જાય છે જેથી તેને ઝાણ વીજભારિત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

ગેલ્વેનિક કોષના બંને વિદ્યુતપ્રુવો વચ્ચેના પોટેન્શિયલ તફાવતને કોષ પોટેન્શિયલ કહે છે અને તેને વોલ્ટમાં મપાય છે. કેથોડ અને એનોડના વિદ્યુતપ્રુવ 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 કોષને તેમાંની ધાતુ અને વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્વારા વચ્ચે એક ઊભી રેખા દોરીને દર્શાવાય છે અને શારસેતુ 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,

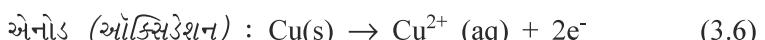
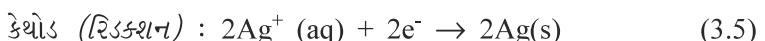
$$E_{\text{cell}} = E_{\text{right}} - E_{\text{left}}$$

આને નીચેના ઉદાહરણથી દર્શાવી શકાય :

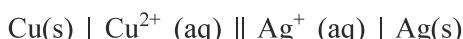
કોષ પ્રક્રિયા :



અર્ધકોષ પ્રક્રિયાઓ :

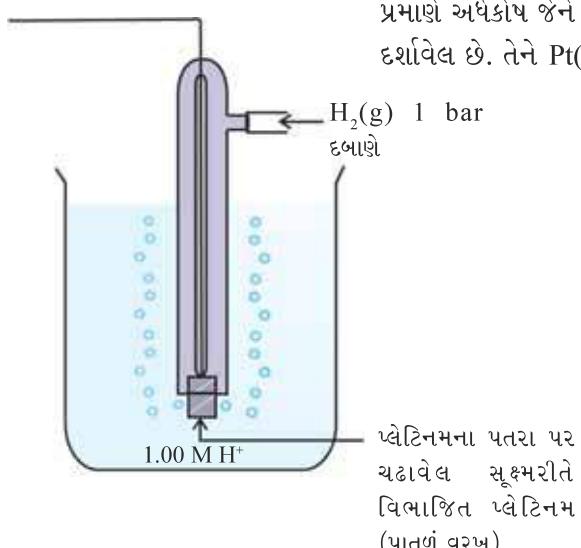


એ જોઈ શકાય છે કે (3.5) અને (3.6)નો સરવાળો કોષમાં કુલ પ્રક્રિયા (3.4) તરફ દોરે છે અને સિલ્વર વિદ્યુતપ્રુવ કેથોડ તરીકે અને કોપર વિદ્યુતપ્રુવ એનોડ તરીકે વર્ત્ત છે. આને આ રીતે ૨જી કરી શકાય :



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

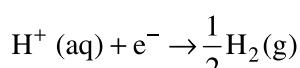
### 3.2.1 વિદ્યુતપ્રુવ પોટેન્શિયલનું માપન (Measurement of Electrode Potential)



આકૃતિ 3.3 : પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વિદ્યુતપ્રુવ (SHE)

વ્યક્તિગત અર્ધકોષનો પોટેન્શિયલ માપી શકાય નહિ. આપણે બે અર્ધકોષ પોટેન્શિયલ વચ્ચેનો તફાવત માપી શકીએ છીએ જે આપણને કોષનો ઈ.એમ.એફ. આપે છે. જો આપણે ઇછાધીન (મનસ્વી) રીતે કોઈ એક અર્ધકોષનો પોટેન્શિયલ પસંદ કરીએ તો આપણે આના સંદર્ભમાં બીજા અર્ધકોષનો પોટેન્શિયલ નક્કી કરી શકીએ. પ્રણાલિકા પ્રમાણે અર્ધકોષ જેને પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વિદ્યુતપ્રુવ કહે છે અને જે (આકૃતિ 3.3)માં દર્શાવેલ છે. તેને Pt(s) | H<sub>2</sub>(g) | H<sup>+</sup> (aq) તરીકે દર્શાવાય છે અને તેનો પોટેન્શિયલ

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



પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વિદ્યુતપ્રુવ પ્લેટિનમ બ્લેકનું પડ ચઢાવેલ પ્લેટિનમ વિદ્યુતપ્રુવ છે. વિદ્યુતપ્રુવને ઓસિડના દ્રાવણમાં દૂબાડવામાં આવે છે અને શુદ્ધ હાઇડ્રોજન વાયુ તેમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે. હાઇડ્રોજનના રિડક્શન પામેલા અને ઓક્સિડેશન પામેલા બંને સ્વરૂપોની સાંક્રતા એક જળવાઈ રહે છે (આકૃતિ 3.3). આ એમ સૂચવે છે કે હાઇડ્રોજન વાયુનું દબાણ 1 bar છે અને દ્રાવણમાં હાઇડ્રોજન આયનની સાંક્રતા એક મોલર છે.

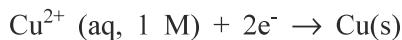
298 K તાપમાને પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવને એનોડ (સંદર્ભ અર્ધકોષ) તરીકે અને બીજો અર્ધકોષ કેથોડ તરીકે લઈને રહ્યાતો કોષ પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ અર્ધકોષ || બીજો અર્ધકોષ. ઈ.એમ.એફનું મૂલ્ય બીજા અર્ધકોષના રિડક્શન પોટોન્શિયલનું મૂલ્ય આપે છે. જો ઓક્સિડેશન પામેલી અને રિડક્શન પામેલી સિપ્સીજના સ્વરૂપ જમણી બાજુના અર્ધકોષમાં એક એકમ હોય તો કોષ પોટોન્શિયલ પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ 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  $\text{Pt(s)} | \text{H}_2(\text{g}, 1 \text{ bar}) | \text{H}^+(\text{aq}, 1 \text{ M}) \parallel \text{Cu}^{2+}(\text{aq}, 1 \text{ M}) | \text{Cu}^\text{n}$  માપન કરેલ ઈ.એમ.એફ. 0.34 V છે અને તે નીચેની પ્રક્રિયાને અનુરૂપ અર્ધકોષના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલના મૂલ્ય બરાબર થશે.



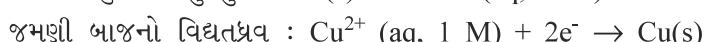
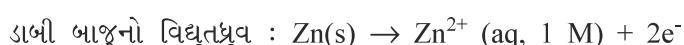
એ જ પ્રમાણે,

કોષ  $\text{Pt(s)} | \text{H}_2(\text{g}, 1 \text{ bar}) | \text{H}^+(\text{aq}, 1 \text{ M}) \parallel \text{Zn}^{2+}(\text{aq}, 1 \text{ M}) | \text{Zn}$  નો માપન કરેલો કોષ પોટોન્શિયલ -0.76V છે જે અર્ધપ્રક્રિયા

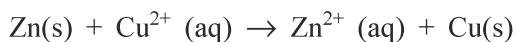
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}, 1 \text{ M}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn(s)}$  માટેનો પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલને અનુરૂપ થશે.

પ્રથમ ડિસામાં ધન વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ સૂચવે છે કે  $\text{Cu}^{2+}$  આયન  $\text{H}^+$  આયન કરતાં વધારે સહેલાઈથી રિડક્શન પામે છે. પ્રતિગામી પ્રક્રિયા થઈ શકશે નહિ એટલે કે હાઈડ્રોજન આયન  $\text{Cu}^\text{n}$  ઓક્સિડેશન નહિ કરી શકે (અથવા વૈકલ્પિક રીતે આપણે કહી શકીએ કે ઉપર દર્શાવેલ પ્રમાણિત શરતોમાં હાઈડ્રોજન વાયુ કોપરનું રિડક્શન કરી શકે.) આમ  $\text{Cu}$  ધાતુ  $\text{HCl}$ માં ઓગળતી નથી. નાઈટ્રિક ઓક્સિડમાં તે નાઈટ્રેટ આયન વડે ઓક્સિડેશન પામે છે અને હાઈડ્રોજન આયન વડે નહિ. બીજા ડિસામાં ઝડપ પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ સૂચવે છે કે હાઈડ્રોજન આયન જિંકનું ઓક્સિડેશન કરી શકશે (અથવા જિંક હાઈડ્રોજન આયનનું રિડક્શન કરી શકે).

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



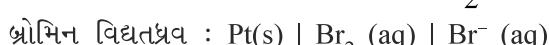
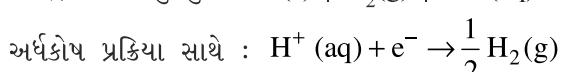
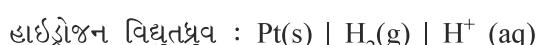
કુલ પ્રક્રિયા ઉપરની બે પ્રક્રિયાઓનો સરવાળો છે અને તે આ સમીકરણથી મેળવી શકીએ.

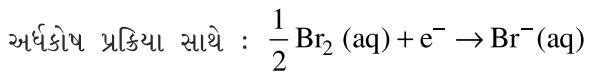


$$\text{કોષનો ઈ.એમ.એફ.} = E^\ominus_{\text{cell}} = E^\ominus_R - E^\ominus_L$$

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

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





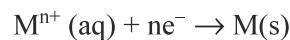
પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ ધણા અગત્યના છે અને આપણે તેમાંથી ધણી બધી ઉપયોગી માહિતી નિર્જર્ષિત કરી શકીએ. કેટલીક પસંદ કરેલી અર્ધકોષ્પ પ્રક્રિયા માટેના પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલના મૂલ્યો કોષ્ટક 3.1માં દર્શાવેલ છે. જો વિદ્યુતધ્રુવનો પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ શુન્ય કરતાં વધારે હોય તો તેનું રિડક્શન પામેલું સ્વરૂપ હાઈડ્રોજન વાયુ કરતાં વધારે સ્થાયી છે. એ જ પ્રમાણે જો પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ ઝાણ હોય તો હાઈડ્રોજન સ્પિસીઝના રિડક્શન પામેલા સ્વરૂપ કરતાં વધારે સ્થાયી છે, એ જોઈ શકાય છે કે ફ્લોરિનનો પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ કોષ્ટકમાં સૌથી ઊંચો છે જે સૂચવે છે, કે, ફ્લોરિન વાયુ ( $F_2$ )ને ફ્લોરાઈડ આયન ( $F^-$ )માં રિડક્શન પામવાનું મહત્તમ વલાણ છે. તેથી જ ફ્લોરાઈડ આયન સૌથી પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે અને ફ્લોરાઈડ આયન સૌથી નિર્બળ રિડક્શનકર્તા છે. લિથિયમને સૌથી ઓછો વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ 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 વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ ઘટે છે. આની સાથે પ્રક્રિયાની ડાબીબાજુની સ્પિસીઝની ઓક્સિડેશનશક્તિ ઘટે છે. પ્રક્રિયાની જમણીબાજુની સ્પિસીઝની રિડક્શનશક્તિ વધે છે. વિદ્યુતરાસાયણિક કોષોનો વિશાળ પણ પર ઉપયોગ, દ્રાવણની pH નક્કી કરવામાં, દ્રાવ્યતા ગુણાકાર, સંતુલન અચળાંક અને અન્ય ઉભાગતિકીય ગુણધર્મો અને પોટોન્શ્યોમેટ્રિક (વિભવમાપી) અનુમાપનોમાં પણ ઉપયોગી છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 3.1 તમે  $Mg^{2+}$  / Mg પ્રણાલીનો પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ કેવી રીતે નક્કી કરશો ?
- 3.2 તમે જિંકના પાત્રમાં કોપર સલ્ફેટનું દ્રાવણ ભરી રાખી શકો ?
- 3.3 પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ માટેના કોષ્ટકનો ઉપયોગ કરો અને એવા ત્રણ પદાર્થો સૂચવો જે યોગ્ય પરિસ્થિતિમાં ફેરસ આયનનું ઓક્સિડેશન કરી શકે ?

### 3.3 નન્સ્ટ સમીકરણ (Nernst Equation)

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



વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયા માટે પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવના સંદર્ભમાં કોઈ પણ સાંક્રતાએ વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ માપી શકીએ.

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

પરંતુ ઘન પદાર્થની સાંક્રતા M એક એકમ લઈએ છીએ અને તેથી આપણાને મળશે.

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

$E^\ominus_{M^{n+}/M}$  ને આપણે વ્યાખ્યાયિત કરી ચૂક્યા છીએ R વાયુ અચળાંક ( $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ) છે. F ફેરાડે અચળાંક ( $96487 \text{ C mol}^{-1}$ ), T તાપમાન કેલ્વિનમાં અને  $[M^{n+}]$  સ્પિસીઝ  $M^{n+}$ ની સાંક્રતા છે.

### કોષ્ટક 3.1 : 298 K તાપમાને પ્રમાણિત વિદ્યુતધૂવ પોટોન્શિયલ

આધ્યાત્મિક જલીય સ્પેસીઝ તરીકે હાજર છે અને  $H_2O$  પ્રવાહી તરીકે, વાયુઓ અને ધનને અનુક્રમે g અને s તરીકે દર્શાવ્યા છે.

પ્રક્રિયા (ઓક્સિડેશન પામેલું સ્વરૂપ + $ne^-$ ) → રિડક્શન પામેલ સ્વરૂપ	$E^\ominus/V$
$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-$	2.87
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	1.81
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1.78
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1.51
$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au(s)$	1.40
$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	1.36
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1.33
$O_2(g) + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1.23
$MnO_2(s) + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1.23
$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	1.09
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO(g) + 2H_2O$	0.97
$2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}$	0.92
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag(s)$	0.80
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	0.77
$O_2(g) + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	0.68
$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	0.54
$Cu^+ + e^- \rightarrow Cu(s)$	0.52
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	0.34
$AgCl(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + Cl^-$	0.22
$AgBr(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + Br^-$	0.10
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0.00
$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb(s)$	-0.13
$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn(s)$	-0.14
$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni(s)$	-0.25
$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	-0.44
$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr(s)$	-0.74
$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	-0.76
$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0.83
$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al(s)$	-1.66
$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg(s)$	-2.36
$Na^+ + e^- \rightarrow Na(s)$	-2.71
$Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca(s)$	-2.87
$K^+ + e^- \rightarrow K(s)$	-2.93
$Li^+ + e^- \rightarrow Li(s)$	-3.05

- જો  $E^\ominus$ નો અર્થ થાય છે કે રેઝેક્શન યુગલ (couple)  $H^+/H_2$  યુગલ કરતાં વધારે પ્રબળ રિડક્શનકર્તા છે.
- ધન  $E^\ominus$ ના અર્થ એમ થાય છે કે રેઝેક્શન યુગલ  $H^+/H_2$  યુગલ કરતાં વધારે નિર્બળ રિડક્શનકર્તા છે.

એનિયલ કોષમાં  $Cu^{2+}$  અને  $Zn^{2+}$  આયનની આપેલ જોઈ પણ સાંક્રતા માટે વિદ્યુતધ્રુવ પોટોનિયલ માટે લખી શકીએ.

કેથોડ માટે :

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

અનોડ માટે :

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

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

$$= E_{(Cu^{2+}/Cu)}^\ominus - \frac{RT}{2F} \ln \left[ \frac{1}{[Cu^{2+}(aq)]} \right] - E_{(Zn^{2+}/Zn)}^\ominus + \frac{RT}{2F} \ln \left[ \frac{1}{[Zn^{2+}(aq)]} \right]$$

$$= E_{(Cu^{2+}/Cu)}^\ominus - E_{(Zn^{2+}/Zn)}^\ominus - \frac{RT}{2F} \ln \left[ \frac{1}{[Cu^{2+}(aq)]} \right] - \ln \left[ \frac{1}{[Zn^{2+}(aq)]} \right]$$

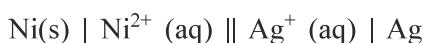
$$E_{(cell)} = E_{(cell)}^\ominus - \frac{RT}{2F} \ln \left[ \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} \right] \quad (3.11)$$

એ જોઈ શકાય છેકે  $E_{(cell)}$  બંને  $Cu^{2+}$  અને  $Zn^{2+}$  આયનોની સાંક્રતા પર આધાર રાખે છે. તે  $Cu^{2+}$  આયનની સાંક્રતામાં વધારા સાથે તથા  $Zn^{2+}$  આયનોની સાંક્રતામાં ઘટાડા સાથે વહે છે.

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

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

આપણે બંને ધ્રુવો માટે સરખી સંઘાના ઈલેક્ટ્રોનનો (n) ઉપયોગ કરવો જોઈએ અને આથી નીચેના કોષ



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

નન્સ્ટ સમીકરણ આ પ્રમાણે લખી શકાય.

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

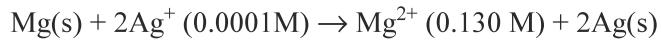
અને  $a A + b B \xrightarrow{ne^-} c C + d D$  પ્રકારની સામાન્ય વિદ્યુતરાસાયણિક પ્રક્રિયા માટે, નન્સ્ટ સમીકરણ આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$E_{(cell)} = E_{(cell)}^\ominus - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

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

### ક્રોયડો 3.1

એ કોષ દર્શાવો જેમાં નીચેની પ્રક્રિયા થાય છે.



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

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

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

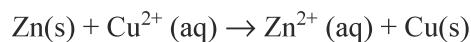
$$= 3.17 \text{ V} - \frac{0.059\text{V}}{2} \log \frac{0.130}{(0.0001)^2} = 3.17 \text{ V} - 0.21\text{V} = 2.96 \text{ V.}$$

### 3.3.1 નન્સ્ટ સમીકરણમાંથી

#### સંતુલન અચળાંક

(Equilibrium Constant from Nernst Equation)

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



થાય છે અને જેમ સમય પસાર થાય છે તેમ ઝન્ન્ટ આયનની સાંક્રતા વધતી જાય છે અને  $\text{Cu}^{2+}$  આયનની સાંક્રતા 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 સાંક્રતામાં 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.

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

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

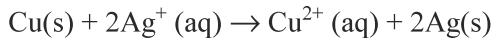
$$298 \text{ K તાપમાને } K_C = 2 \times 10^{37}$$

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 વિદ્યુતધ્યુવ પોટોન્શિયલ છે. આમ પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક અન્ય રીતે માપવો મુશ્કેલ હોય ત્યારે કોષના અનુરૂપ  $E^\ominus$  મૂલ્યો પરથી ગણી શકાય છે.

### ક્રોયડો 3.2



પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક ગણો.

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

### ઉક્તાની:

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

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

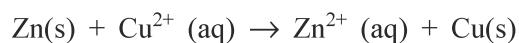
$$K_C = 3.92 \times 10^{15}$$

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

એક સેકન્ડમાં થયેલ વિદ્યુતીય કાર્ય વિદ્યુતીય પોટોન્શિયલ અને પસાર થયેલ કુલ વિદ્યુતભારના ગુણાકાર બરાબર છે. જો આપણે ગેલ્વેનિક કોષમાંથી મહત્તમ કાર્ય મેળવું 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 ઇ.એમ.એફ E હોય અને nF પસાર કરેલ વિદ્યુતભાર હોય, તો  $\Delta_r G$  પ્રક્રિયાની ગિબ્સ-ઊર્જા છે. આથી,

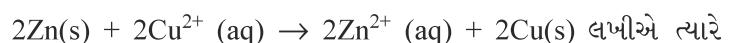
$$\Delta_r G = -nFE_{(\text{cell})}^\ominus \quad (3.15)$$

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



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

પણ આપણે જ્યારે પ્રક્રિયા



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

જો બધી જ પ્રક્રિયા કરતી સ્પિસીઝની સાંક્રતા 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 ઉભાગતિકીય 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.

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

### ક્રોયડો 3.3

દેનિયલ કોષ માટે પ્રમાણિત વિદ્યુતધૂવ પોટોન્શિયલ 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.

### ઉક્તાની:

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

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

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

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

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

## લખાણ સંબંધી પ્રશ્નો

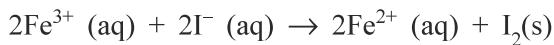
3.4 pH = 10 વાળા દ્રાવણ સાથે સંપર્કમાં રહેલા હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધૂવનો પોટોનિશિયલ ગણો.

3.5 નીચેની પ્રક્રિયા થતી હોય તેવા કોષનો ઈ.એમ.અફ. ગણો.



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

3.6 એક કોષ જેમાં નીચેની પ્રક્રિયા થાય છે.



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

### 3.4 વિદ્યુતવિભાજ્ય

દ્રાવણોની વાહકતા  
(Conductance of  
Electrolytic  
Solutions)

વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણોમાંથી વિદ્યુતની વાહકતાના અભ્યાસ પહેલાં આપણે કેટલાક પર્યાયોને વ્યાખ્યાપિત કરવા જરૂરી છે. વિદ્યુતીય અવરોધને સંશા ‘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 બૌતિકવિજ્ઞાનના 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,

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

સમપ્રમાણતાનો અચળાંક  $\rho$  ને (ગ્રીક શબ્દ રૂહો(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. બૌતિક 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,

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

અવરોધના વ્યસ્ત (inverse)ને વાહકતા G કહે છે અને આપણાને 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 સંશા 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 સંશા K (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 K 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 Sm <sup>-1</sup>	પદાર્થ	વાહકતા Sm <sup>-1</sup>
વાહકો		જલીય દ્રાવકો	
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
આર્યન્	$1.0 \times 10^3$	0.1 M HAc	0.047
ગ્રેફાઈટ	$1.2 \times 10$	0.01 M HAc	0.016
અવાહકો		અર્ધવાહકો	
કાચ	$1.0 \times 10^{-16}$	CuO	$1 \times 10^{-7}$
ટેફલોન	$1.0 \times 10^{-18}$	Si	$1.5 \times 10^{-2}$
		Ge	2.0

કોષ્ટક 3.2 પરથી જોઈ શકાય છે કે વાહકતાની માત્રા વિશ્લેષણ પ્રમાણમાં ચલિત થાય છે અને તે પદાર્થના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખે છે. વળી તે તાપમાન અને દબાજા 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. ટેલ્લિક અધાતુઓ જેવી કે કાર્બન બ્લેક, ગ્રેફાઈટ અને કેટલાક કાર્બનિક પોલિમર\* પણ ઈલેક્ટ્રોનીય વાહક છે. કાચ, સિરેમિક વગેરે પદાર્થો જેમને ઘણી ઓછી વાહકતા હોય છે તે અવાહકો તરીકે ઓળખાય છે. સિલિકોન, ડોઝિંગ કરેલ સિલિકોન અને ગેલિયમ આર્સેનાઈડ જેમની વાહકતા વાહકો અને અવાહકોની વચ્ચે હોય છે તેમને અર્ધવાહકો કહે છે અને તે ઉપયોગી ઈલેક્ટ્રોનીય 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 જાહીતા હતા પરંતુ હવે અસંખ્ય સિરેમિક પદાર્થો અને મિશ્ર ઓક્સાઈડ 150 K જેટલા ઊંચા તાપમાને અતિવાહકતા દર્શાવે છે.

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

- (i) ધાતુનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) અને બંધારણ
- (ii) સયોજકતા ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા પ્રતિ પરમાણુ
- (iii) તાપમાન (તે તાપમાનના વધારા સાથે ઘટે છે.)

\* ઈલેક્ટ્રોનીય વાહકતાવાળા પોલિમર-1977માં મેક ડાયમિડ (Mac Diamid), હીજર (Heeger) અને શીરાકાવા (Shirakawa) એ શોધી કાઢવું કે ઓસ્સિટિલીનનું પોલિમરાઈઝેશન (બહુલીકરણ) કરીને પોલિઓસ્સિટિલીન તરીકે ઓળખાતો પોલિમર જ્યારે આયોડિનની બાખ્યમાં રાખવામાં (exposed) આવે છે. ત્યારે ધાત્વીય ચણકાટ અને વાહકતા પ્રાપ્ત કરે છે. ત્યારબાદ ઘણા કાર્બનિક વાહક પોલિમર જેવા કે પોલિઅનીલીન, પોલિપાયરોલ અને પોલિથાયોફિન બનાવાયા છે. આ કાર્બનિક ધાતુઓ સૂંપણ્ણપણે કાર્બન, હાઇડ્રોજન અને પ્રસંગોપાત નાઈટ્રોજન ઓક્સિસેન અથવા સલ્ફરના બનેલા હોય છે તે સામાન્ય ધાતુઓ કરતાં ઘણા હલકાં હોય છે અને તેમનો ઉપયોગ હલકા વજનની બેંટ્રી બનાવવામાં થાય છે. વળી, તેમનો પોલિમરના યાંત્રિક ગુણધર્મો જેવાં કે લચક (નભ્રતા) તેથી ઈલેક્ટ્રોનીય ઉપકરણો જેવાં કે ટ્રાન્ઝિસ્ટર, જે ખાસ્ટિકની જેમ વાળી શકાય છે તે પણ બનાવી શકાય. વાહકતા પોલિમરની શોધ માટે મેક ડાયમિડ, હીજર અને શીરાકાવાને 2000માં રસાયણવિજ્ઞાનનું નોંબેલ પારિતોષિક પુરસ્કૃત કરવામાં આવેલું.

ઇલેક્ટ્રોન એક છેદેથી દાખલ થઈને બીજા છેદેથી બહાર નીકળી જય છે તેથી ધાત્વીય વાહકતાનું સંઘટન બદલાયા વગરનું રહે છે. અર્ધવાહકમાંથી વાહકતાની કિયાવિધિ ધણી જ જટિલ છે.

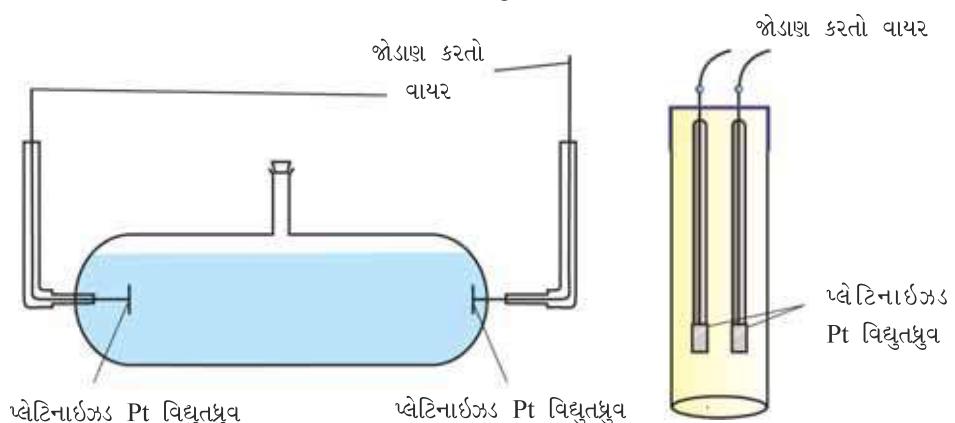
આપણે એ જાણીએ જ ધીએ (ધોરણ XI, એકમ 7) કે અતિશુદ્ધ પાણીમાં પણ ઓછા પ્રમાણમાં હાઇડ્રોજન અને હાઇડ્રોક્લિયલ આયન ( $\sim 10^{-7} \text{ M}$ ) હોય છે જે તેને ધણી ઓછી વાહકતા ઉંધીની (lend) આપે છે ( $3.5 \times 10^{-5} \text{ S m}^{-1}$ ). જ્યારે વિદ્યુત વિભાજયને પાણીમાં ઓગાળવામાં આવે છે ત્યારે તેમના પોતાના આયનો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

- (i) ઉમેરેલા વિદ્યુતવિભાજયનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ)
- (ii) નીપજેલા આયનોનું કદ અને તેમનું દ્રાવક્યોજન (solvation)
- (iii) દ્રાવકનો સ્વભાવ અને તેની સ્થિરતા
- (iv) વિદ્યુતવિભાજયની સાંક્રતા
- (v) તાપમાન (તે તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે.)

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

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

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



**આફ્ટિ 3.4 :** બે જુદા જુદા પ્રકારના વાહકતા કોષો મૂળભૂત રીતે તે બે ખેટિનમ ધ્રુવો જેના પર ખેટિનમ બ્લેકનું પડ હોય છે (સૂક્ષ્મ વિભાજિત ધાત્વીય Pt પર વિદ્યુતરસાયણિક 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 / અને આડછેદ ક્ષેત્રફળ A થાય છે. દ્રાવણના આવા કોલમનો અવરોધ નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય :

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

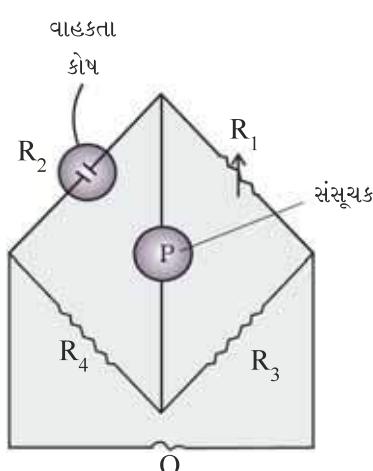
$$\frac{l}{A} \text{ રાશિને કોષ અચળાંક કહે છે. અને તેને સંજ્ઞા } G^* \text{ વડે દર્શાવાય છે.}$$

તેનો આધાર બંને ધ્રુવો વચ્ચેના અંતર અને તેમના આડછેદ ક્ષેત્રફળ પર રહે છે. તેના પરિમાણ લંબાઈ / હોય છે અને જો / અને A જાણતા હોઈએ તો ગણી શકાય. / અને Aના માપન સગવડ ભરેલા નથી એટલું જ નહિ પરંતુ અવિશ્વસનીય હોય છે. કોષ અચળાંકનું માપન સામાન્ય રીતે જેની વાહકતા જાણતા હોઈએ તેવું દ્રાવક ધરાવતા કોષનો અવરોધ માપીને કરી શકીએ છીએ. આ હેતુ માટે સામાન્ય રીતે આપણે KClનું દ્રાવક વાપરીએ છીએ જેની વાહકતા જુદી જુદી સાંક્રતાએ અને જુદા જુદા તાપમાને ચોકસાઈપૂર્વક જાણીતી હોય છે (કોષક 3.3). કોષ અચળાંક  $G^*$  નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય.

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

**કોષક 3.3 : 298.15 K તાપમાને KCl દ્રાવકણોની વાહકતા અને મોલર વાહકતા**

સાંક્રતા /	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	$111.3 \times 10^{-4}$
0.100	100.0	0.0129	1.29	129.0	$129.0 \times 10^{-4}$
0.010	10.00	0.00141	0.141	141.0	$141.0 \times 10^{-4}$



**આફ્ટિ 3.5 :** વિદ્યુતવિભાજયના દ્રાવકણો અવરોધ નક્કી કરવા માટેની ગોઠવણા

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

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

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

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

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

એક જ દ્રાવકમાં જુદા જુદા વિદ્યુતવિભાજયોના દ્રાવકણો અને આપેલ તાપમાને વાહકતાના મૂલ્યો જુદા પડે છે. તેનું દ્રાવક આયનના ભાર અને કદ જેમાં તે વિયોજિત

થાય છે. આયનની સાંક્રતા અથવા આપેલ પોટોન્શિયલ દ્રવણતા ડેટણ આયન જેટલી સરળતાથી ધૂમે છે તે છે. આથી એ જરૂરી બને છે કે એક ભौતિક દિસ્ટિન્ચન્સ વધુ અર્થપૂર્ણ રાશિ જેને મોલર વાહકતા કહે છે અને સંશા  $\Lambda_m$  (ગ્રીક, લાભડા) વડે દર્શાવાય છે તેને વ્યાખ્યાયિત કરીએ. તે દ્રવણની 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 સાંક્રતા  $c$ ને  $\text{mol m}^{-3}$ માં દર્શાવાય છે. આથી  $\Lambda_m$ ના એકમ  $\text{Sm}^2 \text{ mol}^{-1}$  થશે. એ નોંધવું જોઈએ કે  $1 \text{ mol m}^{-3} = 1000 (\text{L/m}^3) \times \text{મોલારિટી} (\text{mol/L})$  અને તેથી

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

જો આપણે  $\kappa$  માટે એકમ  $\text{S cm}^{-1}$  અને સાંક્રતાને 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.

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

સાહિત્યમાં બને પ્રકરના એકમ વપરાય છે અને તેઓ એકબીજા સાથે નીચેના સમીકરણોથી સંબંધિત છે.

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

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

**કોષ્ટકો 3.4**  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  KCl દ્રવણ ભરેલા એક વાહકતા કોષ્ણનો અવરોધ 100  $\Omega$  છે. તે જ કોષ્ણને જો  $0.02 \text{ mol L}^{-1}$  KCl દ્રવણ વડે ભરીએ તો અવરોધ 520  $\Omega$  છે.  $0.02 \text{ M}$  KCl દ્રવણની વાહકતા અને મોલર વાહકતા ગણો.  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  KCl દ્રવણની વાહકતા 1.29 S/m છે.

**ઉકેલ :** કોષ અચળાંક આ સમીકરણથી આપી શકાય :

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

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

$$0.02 \text{ mol L}^{-1} \text{ KCl દ્રવણની વાહકતા} = \text{કોષ અચળાંક} / \text{અવરોધ}$$

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

$$\begin{aligned} \text{સાંક્રતા} & c = 0.02 \text{ mol L}^{-1} \\ & = 1000 \times 0.02 \text{ mol m}^{-3} \\ & = 20 \text{ mol m}^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{મોલર વાહકતા} & = \Lambda_m = \frac{\kappa}{c} \\ & = \frac{248 \times 10^{-3} \text{ S m}^{-1}}{20 \text{ mol m}^{-3}} \\ & = 1.24 \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{વૈકલ્પિક રીતે, } \kappa &= \frac{1.29 \text{ cm}^{-1}}{520 \Omega} \\ &= 0.248 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{અને } \Lambda_m = \kappa \times 1000 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1} \text{ મોલારિટી}^{-1}$$

$$= \frac{0.248 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1} \times 1000 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}}{0.02 \text{ mol L}^{-1}}$$

$$= 124 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

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

**ઉકેલ :** A = π r<sup>2</sup> = 3.14 × 0.5<sup>2</sup> cm<sup>2</sup> = 0.785 cm<sup>2</sup> = 0.785 × 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>

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

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

$$= 87.135 \Omega \text{ cm}$$

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

$$= 0.01148 \text{ S cm}^{-1}$$

$$\text{મોલર વાહકતા } \Lambda_m = \frac{\kappa \times 1000}{c} \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$$

$$= \frac{0.01148 \text{ S cm}^{-1} \times 1000 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}}{0.05 \text{ mol L}^{-1}}$$

$$= 229.6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

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

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

$$= \frac{5.55 \times 10^3 \Omega \times 0.785 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{0.5 \text{ m}}$$

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

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

$$\text{અને } \Lambda_m = \frac{\kappa}{c} = \frac{1.148 \text{ S m}^{-1}}{50 \text{ mol m}^{-3}}$$

$$= 22.96 \times 10^{-4} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}$$

#### 3.4.2 વાહકતા અને મોલર વાહકતાનું સાંક્રતા સાથે વિચરણ

#### (Variation of Conductivity and Molar Conductivity with Concentration)

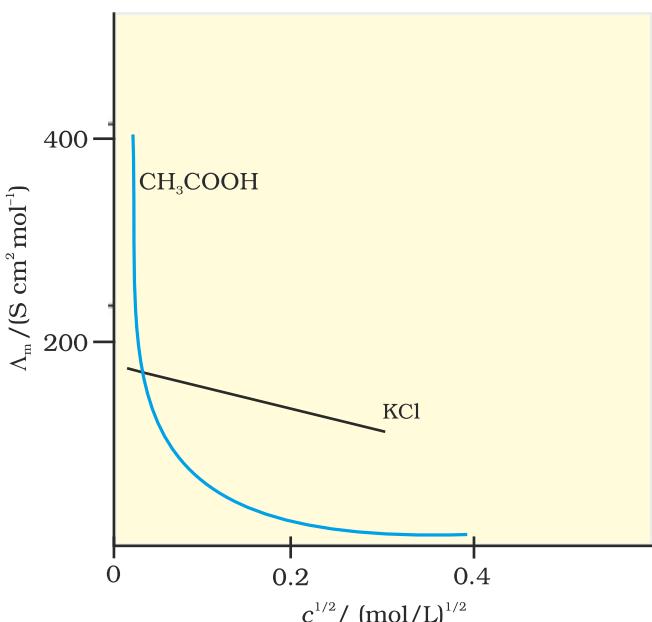
વિદ્યુત વિભાજ્યની સાંક્રતા સાથે વાહકતા અને મોલર વાહકતા બંને બદલાય છે. નિર્બણ અને પ્રબળ બંને વિદ્યુત વિભાજ્યો માટે સાંક્રતાના ઘટાડા સાથે વાહકતા હંમેશાં ઘટે છે આને એ હકીકિત વડે સમજાવી શકાય કે દ્રાવજાનું મંદન કરતાં પ્રતિ એકમ કદમાં આયનોની સંખ્યા જે પ્રવાહને લઈ જાય છે તે ઘટે છે. કોઈ પણ આપેલ

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

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

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

$$\Lambda_m = \frac{\kappa A}{l} = \kappa \\ l = 1 \text{ અને } A = V \quad (1 \text{ મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવતું કદ) \\ \Lambda_m = \kappa V \quad (3.22)$$



**આકૃતિ 3.6 :** એસિટિક ઓસિડના (નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય) મોલર વાહકતા વિનુદ્ધ  $c^{1/2}$  આલેખ એસિટિક ઓસિડ (નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય) અને પોટોશિયમ ક્લોરાઇડ (પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યના પાણીમાં દ્રાવણ)

મોલર વાહકતા સાંક્રતામાં ઘટાડા સાથે વધે છે આનું કારણ એ છે કે 1 મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવતા દ્રાવણનું કુલ કદ V પણ વધે છે. એ જણાયું છે કે દ્રાવણના મંદને કારણે  $\Lambda_m^0$  માં ઘટાડો તેના કદમાં થયેલા વધારાને સરાબર કરતાં વધારે હોય છે. ભૌતિક રીતે, એનો અર્થ એમ થાય છે કે આપેલ સાંક્રતાએ  $\Lambda_m^0$  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 સાંક્રતા શૂન્ય તરફ જાય છે ત્યારે મોલર વાહકતા સીમિત મોલર વાહકતા તરીકે ઓળખાય છે અને તેને સંઝા  $\Lambda_m^0$  તરીકે દર્શાવાય છે. ચલની સાંક્રતા સાથેના ફેરફાર પ્રબળ અને નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે અલગ હોય છે (આકૃતિ 3.6).

#### પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યો

પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે  $\Lambda_m^0$  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)  $\Lambda_m$  વિનુદ્ધ  $c^{1/2}$ 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 દ્રાવકની જુદી જુદી સાંક્રતાની મોલર વાહકતા નીચે આપેલી છે.

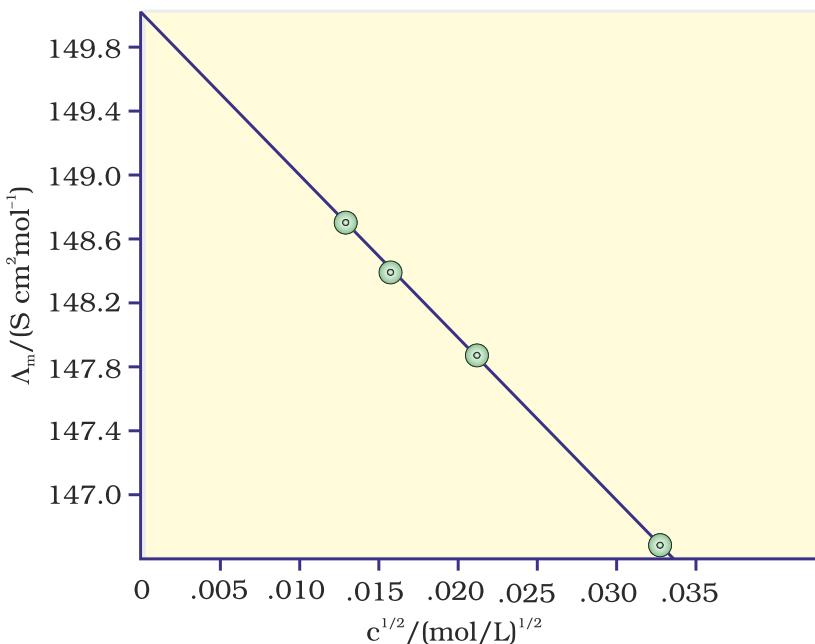
c/mol L <sup>-1</sup>	$\Lambda_m^0 / S \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$
0.000198	148.61
0.000309	148.29
0.000521	147.81
0.000989	147.09

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

**ઉકેલ :** સાંક્રતાનું વર્ગમૂળ લેતાં આપણાને મળશે.

$c^{1/2} / (\text{mol L}^{-1})^{1/2}$	$\Lambda_m^0 / S \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$
0.01407	148.61
0.01758	148.29
0.02283	147.81
0.03145	147.09

$\Lambda_m^0$  (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 આપણાને મળશે.  $\Lambda_m^0 = 150.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  અને A = - દાળ  
 $= 87.46 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} / (\text{mol L}^{-1})^{1/2}$



**આકૃતિ 3.7 :**  $\Lambda_m^0$  વિનુદ્ધ  $c^{1/2}$  નું વિચરણ

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

$$\Lambda_{m(\text{KCl})}^0 - \Lambda_{m(\text{NaCl})}^0 = \Lambda_{m(\text{KBr})}^0 - \Lambda_{m(\text{NaBr})}^0$$

$$= \Lambda_{m(\text{KI})}^0 = \Lambda_{m(\text{NaI})}^0 \approx 23.4 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

અને તે જ પ્રમાણે શોધ્યું હતું કે,

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

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 સોઝિયમ અને કલોરાઈડ આયનની સીમિત મોલર વાહકતા હોય તો સોઝિયમ કલોરાઈડની મોલર વાહકતા નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય.

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

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 કોઈક 3.4માં આપ્યા છે.

**કોઈક 3.4 : 298 K તાપમાને કેટલાક આયનોની પાણીમાં સીમિત મોલર વાહકતા**

આયન	$\lambda^0 / (\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1})$	આયન	$\lambda^0 / (\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1})$
$\text{H}^+$	349.6	$\text{OH}^-$	199.1
$\text{Na}^+$	50.1	$\text{Cl}^-$	76.3
$\text{K}^+$	73.5	$\text{Br}^-$	78.1
$\text{Ca}^{2+}$	119.0	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	40.9
$\text{Mg}^{2+}$	106.0	$\text{SO}_4^{2-}$	160.0

### નિર્બણ વિદ્યુતવિભાજ્યો

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

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

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

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

$$K_a = \frac{c\alpha^2}{(1-\alpha)} = \frac{c\Lambda_m^2}{\Lambda_m^{02} \left(1 - \frac{\Lambda_m}{\Lambda_m^0}\right)} = \frac{c\Lambda_m^2}{\Lambda_m^0 (\Lambda_m^0 - \Lambda_m)} \quad (3.27)$$

### 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 ઓસિડ જેવા નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યનો વિયોજન અચળાંક જો  $\Lambda_m^0$  અને આપેલ સાંક્રતાએ  $\Lambda_m$  ના મૂલ્યો પરથી ગણી શકાય.

**કોષ્ટક 3.7** કોઈક 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

$$\begin{aligned} \Lambda_{m(\text{CaCl}_2)}^0 &= \lambda_{\text{Ca}^{2+}}^0 + 2\lambda_{\text{Cl}^-}^0 = 119.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} + 2(76.3) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ &= (119.0 + 152.6) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ &= 271.6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ \Lambda_{m(\text{MgSO}_4)}^0 &= \lambda_{\text{Mg}^{2+}}^0 + \lambda_{\text{SO}_4^{2-}}^0 = 106.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} + 160.0 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ &= 266 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$

**કોષ્ટક 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.

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

**કોષ્ટક 3.9**  $0.001028 \text{ mol L}^{-1}$  એસિટિક ઓસિડની વાહકતા  $4.95 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$  જો એસિટિક ઓસિડ માટે  $\Lambda_m^0$  390.5  $\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  હોય, તો તેનો વિયોજન અચળાંક ગણો.

$$\begin{aligned} \text{ઉકેલ : } \Lambda_m &= \frac{\kappa}{c} = \frac{4.95 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}}{0.001028 \text{ mol L}^{-1}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{L} = 48.15 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ \alpha &= \frac{\Lambda_m}{\Lambda_m^0} = \frac{48.15 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{390.5 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 0.1233 \\ \kappa &= \frac{c\alpha^2}{(1-\alpha)} = \frac{0.001028 \text{ mol L}^{-1} \times (0.1233)^2}{(1-0.1233)} = 1.78 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \end{aligned}$$

## લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

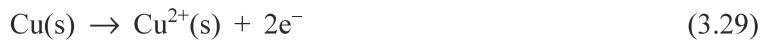
- 3.7 દ્રાવણની વાહકતા મંદન સાથે શા માટે ધટે છે ?
- 3.8 પાણી માટે  $\Lambda_m^0$  નું મૂલ્ય નક્કી કરવાનો માર્ગ સૂચવો.
- 3.9  $0.025 \text{ mol L}^{-1}$  મિથેનોઈક એસિડની મોલર વાહકતા  $46.1 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  છે. વિયોજન અંશ અને વિયોજન અચળાંક ગણો.  $\lambda^0(\text{H}^+) = 349.6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  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 બાધ્ય સોતના વોલ્ટેજનો ઉપયોગ રાસાયણિક પ્રક્રિયા કરવા માટે થાય છે. વિદ્યુતરાસાયણિક પ્રકમો પ્રયોગશાળામાં તેમજ રાસાયણિક ઉદ્ઘોગમાં ખૂબ જ ઉપયોગી હોય છે. વિદ્યુતવિભાજય કોષમાંનો સૌથી સાદો કોષ કોપર સર્ફેટના જલીય દ્રાવણમાં ડૂબાડેલી બે કોપરની પદ્ધતિઓ ધરાવે છે. જો બંને પ્રુવોને સીધો પ્રવાહ (DC) લાગુ પાડવામાં આવે તો કેથોડ (ત્રાણભારિત) 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 (રિડક્શન પામે છે) નિક્ષેપિત થાય છે. આ ઔદ્યોગિક પ્રકમ 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  $\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}$  વગેરે વિદ્યુતરાસાયણિક તેમના અનુરૂપ આયનોનું રિડક્શન કરીને વિશાળ પાયા પર પેદા કરવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિ કોઈ યોગ્ય રાસાયણિક રિડક્શનકર્તા આ હેતુ માટે મળતો નથી ત્યારે ખૂબ ઉપયોગી છે.

સોલિયમ અને મોનેશિયમ ધાતુ તેમના પિગલિત કલોરાઈડના અને એલ્યુમિનિયમ (ધોરણ XII એકમ 6) કાયોલાઈટની હાજરીમાં એલ્યુમિનિયમ ઓક્સાઈડના વિદ્યુતવિભાજનથી પેદા કરી શકાય છે.

### વિદ્યુતવિભાજનની જથ્થાત્મક (માત્રાત્મક) બાબતો

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

### ફેરાડેના વિદ્યુત વિભાજનના નિયમો

વિદ્યુતવિભાજનના દ્રાવણો અને વિદ્યુતવિભાજનના પિગલિત(melt)ના સધન 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 વિદ્યુતપ્રુવ 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 પદાર્થમાંથી મુક્ત થયેલા જથ્થાઓ તેમના રાસાયણિક તુલ્યભારના (ધાતુનું પરમાણૂવીય દળ + ધનાયનનું રિડક્શન કરવા માટે જરૂરી ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા) સમપ્રમાણમાં હોય છે.

ફેરાડેના સમય દરમિયાન અચળ પ્રવાહના સોત 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 સોત પ્રાપ્ય છે અને પસાર થયેલ વિદ્યુતનો જથ્થો Q નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય છે.

$$Q = It$$

Q કુલબંધમાં છે જ્યારે I એમ્પિયરમાં અને t સેકન્ડમાં છે.

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



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

તેથી 1 મોલ ઈલેક્ટ્રોન પર વીજભાર બરાબર

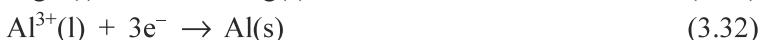
$$N_A \times 1.6021 \times 10^{-19} \quad C = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 1.6021 \times 10^{-19}$$

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

વિદ્યુતના આ જથ્થાને ફેરાડે કહે છે અને તેને સંશો F વડે દર્શાવવામાં આવે છે.

ગણતરી માટે આપણે  $1F = 96500 \text{ C mol}^{-1}$ નો ઉપયોગ કરીએ છીએ.

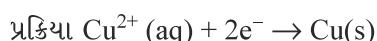
વિદ્યુતધૂવ પ્રક્રિયા :



એ સ્પષ્ટ છે કે  $\text{Mg}^{2+}$  અને  $\text{Al}^{3+}$ ને અનુકૂમે 2 મોલ (2F) અને 3 મોલ ઈલેક્ટ્રોન (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  $0.518 \text{ F}$  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 ?

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



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

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

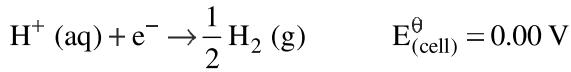
### 3.5.1 વિદ્યુતવિભાજનની નીપજો (Products of Electrolysis)

વિદ્યુતવિભાજનની નીપજોનો આધાર વિદ્યુતવિભાજિત પદાર્થના સ્વભાવ(પ્રકૃતિ) પર અને ઉપયોગ કરેલા વિદ્યુતધૂવો પર રહેલો છે. જો વિદ્યુતધૂવો નિષ્ઠિય (દા.ત., ખેટિનમ અથવા ગોલ્ડ) હોય તો તે રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા નથી અને માત્ર ઈલેક્ટ્રોનના સોત અથવા અપવાહિકા (sink) તરીકે કાર્ય કરે છે. બીજી તરફ જ્યારે વિદ્યુતધૂવ સક્રિય હોય ત્યારે વિદ્યુતધૂવીય પ્રક્રિયામાં ભાગ લે છે. આમ વિદ્યુતવિભાજનની નીપજ નિષ્ઠિય અને સક્રિય વિદ્યુતધૂવો માટે અલગ હશે. વિદ્યુતવિભાજનની નીપજોનો આધાર

વિદ્યુતવિભાજનીય કોષમાં હાજર ઓક્સિડેશનકર્તા અથવા રિડક્શનકર્તા સ્પિસીઝ પર અને પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રૂવ પોટોન્શિયલ પર રહેલો હોય છે. આ ઉપરાંત કેટલાક વિદ્યુતરસાયણિક પ્રકમો શક્ય હોવા છતાં પણ નીચા વોલ્ટેજે ગતિકીય રીતે ધીમા હોય છે અને તે થતા હોય તેમ જણાતું નથી અને વધારાનો પોટોન્શિયલ (જેને ઓવર-પોટોન્શિયલ-અવિવિભવ કહે છે) લગાડવો પડે છે જેથી આવા પ્રકમોને થવા ઘણા જ મુશ્કેલ બને છે.

ઉદાહરણ તરીકે, આપણે પિગલિત  $\text{NaCl}$ નો ઉપયોગ કરીએ તો વિદ્યુત વિભાજનની નીપણો સોડિયમ ધાતુ અને  $\text{Cl}_2$  વાયુ છે. અહીંથા આપણી પાસે એક જ ધનાયન ( $\text{Na}^+$ ) છે જે કેથોડ પર રિડક્શન પામે છે ( $\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$ ) અને એક ઋણાયન ( $\text{Cl}^-$ ) જે અનોડ પર ( $\text{Cl}^- \rightarrow \frac{1}{2} \text{Cl}_2 + \text{e}^-$ ) ઓક્સિડેશન પામે છે. સોડિયમ કલોરાઈડના જલીય દ્રાવકના વિદ્યુત વિભાજન દરમિયાન નીપણો  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Cl}_2$  અને  $\text{H}_2$  મળે છે. આ કિસ્સામાં  $\text{Na}^+$  અને  $\text{Cl}^-$  આયન ઉપરાંત  $\text{H}^+$  અને  $\text{OH}^-$  આયન પણ દ્રાવકના અણુ  $\text{H}_2\text{O}$ ની સાથે હાજર હોય છે.

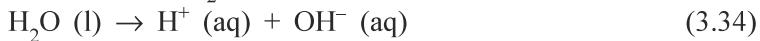
કેથોડ પર નીચેની રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ વચ્ચે હરીફાઈ થાય છે.



$E^\theta$ ના વધારે મૂલ્ય ધરાવતી પ્રક્રિયા પસંદગી પામે છે અને તેથી વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન કેથોડ પર થતી પ્રક્રિયા છે.



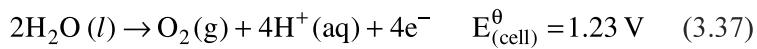
પરંતુ  $\text{H}^+ (\text{aq})$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ના વિયોજનથી નીપણે છે એટલે કે



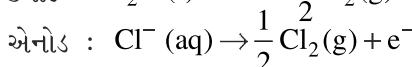
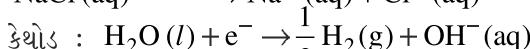
આથી કેથોડ પર ચોખ્ખી (net) પ્રક્રિયા (3.33) અને (3.34)ના સરવાળા બરાબર થશે. આથી આપણાને મળશે.



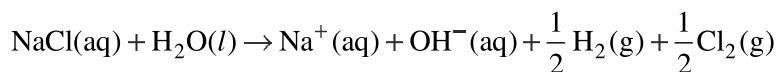
અનોડ પર, નીચેની ઓક્સિડેશન પ્રક્રિયાઓ શક્ય છે.



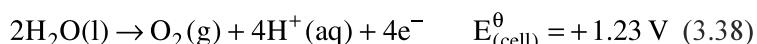
$E^\theta$ નું નીચું મૂલ્ય ધરાવતી પ્રક્રિયા અનોડ પર પસંદગી પામશે અને તેથી  $\text{Cl}^-$ ની પ્રક્રિયાને બદલે પાણીનું ઓક્સિડેશન થવું જોઈએ. ઓક્સિજનના ઓવરપોટોન્શિયલને કારણે પ્રક્રિયા (3.36) પસંદગી પામશે. આમ ચોખ્ખી પ્રક્રિયાનો નીચે પ્રમાણે (ઉપસંહાર કરી શકાય).

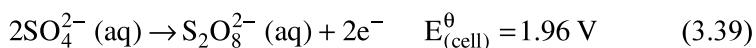


ચોખ્ખી(net) પ્રક્રિયા



પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રૂવ પોટોન્શિયલને સાંક્રતાની અસર થતી હોવાને લીધે નન્દ્ર સમીકરણ (3.8) પ્રમાણે પોટોન્શિયલ વડે વિસ્થાપિત કરવો પડે છે. સદ્ધયુર્ક ઓસ્સિડના વિદ્યુત વિભાજન દરમિયાન, અનોડ પર નીચેની પ્રક્રિયાઓ શક્ય છે.





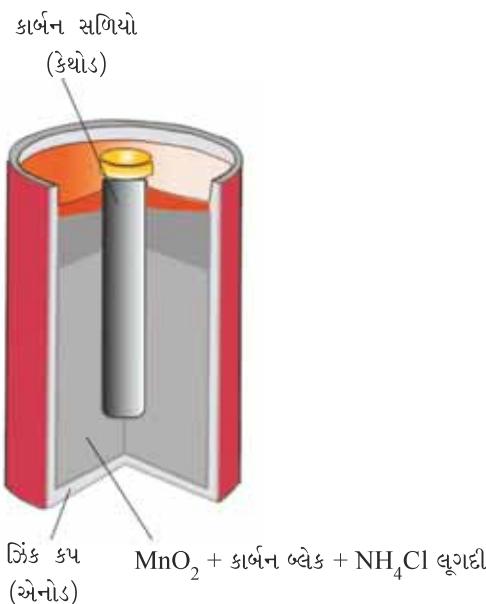
મંદ સલ્ફ્યુરિક ઓસિડ માટે પ્રક્રિયા (3.38) પસંદગી પામે છે. પરંતુ  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ની ઊંચી સાંક્રતાએ પ્રક્રિયા (3.39) પસંદગી પામે છે.

### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 3.10 જો 0.5 એમ્પિયર પ્રવાહ ધાત્વીય તારમાંથી 2 કલાક માટે વહે છે, તો તારમાંથી કેટલા ઈલેક્ટ્રોન વહી ગયા હશે ?
- 3.11 ધ્યતુઓ જેનું વિદ્યુતવિભાજન રીતથી નિર્જર્ખણ 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 ઈલેક્ટ્રોનના પર્યાયમાં જરૂરી પડશે ?

## 3.6 બોટરી (Batteries)

### 3.6.1 પ્રાથમિક બોટરી (Primary Batteries)

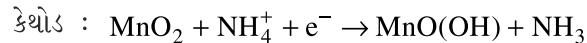
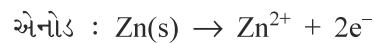


**આકૃતિ 3.8 :** વાપારિક સૂક્ત કોષમાં ગ્રેફાઈટ (કાર્બન) કિથોડ, નિંકના પાત્રમાં હોય છે અને નિંકનું પાત્ર અનોડ તરીકે વર્તે છે.

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

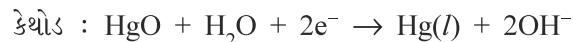
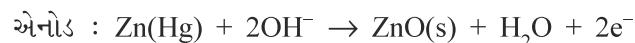
પ્રાથમિક બોટરીમાં પ્રક્રિયા માત્ર એક જ વખત થાય છે અને કેટલાક સમયના ઉપયોગ પછી બોટરી મૃત થઈ જાય છે અને તેને ફરી વાપરી શકાતી નથી. આ પ્રકારની ખૂબ જ જાણીતી બોટરીમાં સૂક્ત કોષ (લેંકલાસે કોષ - તેના શોધકના નામ પરથી

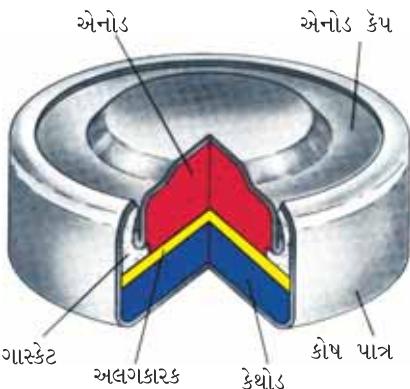
પણ કહેવાય છે) છે જે સામાન્ય રીતે ટ્રાન્ઝિસ્ટર અને ઘરિયાળમાં વપરાય છે કોષ જિંકનું પાત્ર ધરાવે છે જે અનોડ તરીકે કાર્ય કરે છે અને કિથોડ કાર્બન(ગ્રેફાઈટ)નો સણિયો હોય છે જેની આજુબાજુ પાઉડર કરેલો મેગેનીઝ ડાયોક્સાઈડ અને કાર્બન (આકૃતિ 3.8) વિદ્યુતધ્રુવોની વચ્ચેની જગ્યામાં એમોનિયમ ક્લોરાઈડ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$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



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

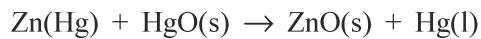
મરક્યુરી કોષ (આકૃતિ 3.9) જે નિઝ પ્રવાહ ઉપકરણ જેવાં કે સાંબળવાનાં સાધનો (aids), ઘરિયાળો વગેરે માટે યોગ્ય છે તે જિંકનો મરક્યુરી સાથેનો સંરસ અનોડ તરીકે અને  $\text{HgO}$  અને કાર્બનની લૂગદી કિથોડ તરીકે ધરાવે છે. વિદ્યુતવિભાજ્ય  $\text{KOH}$  અને  $\text{ZnO}$ ની લૂગદી હોય છે. વિદ્યુતધ્રુવ પ્રક્રિયાઓ નીચે આપેલી છે.





**આકૃતિ 3.9 :** સામાન્ય રીતે વપરાતો મરક્યુરી કોષ રિઝક્શનકર્તા નિંક છે અને ઓફ્સેન્સ-કર્તા મરક્યુરી (II) ઓક્સાઈડ છે.

એકંદરે પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

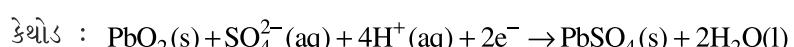
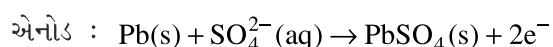


કોષ પોટોનિયલ લગભગ 1.35 V છે અને તેના આવરદા દરમિયાન તે અચળ રહે છે. કારણ કે એકંદરે પ્રક્રિયા કોઈ પણ આયનને કોષના આવરદા દ્રાવણમાં સમાવિષ્ટ કરતાં નથી.

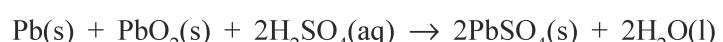
### 3.6.2 દ્વિતીયક કોષ (Secondary Batteries)

દ્વિતીયક કોષનો ઉપયોગ કર્યો પછી તેનાથી વિરુદ્ધ દિશામાં પ્રવાહ પસાર કરીને ફરી પુનર્જિવિત (Recharge) કરી શકાય છે. જેથી તેનો ફરી ઉપયોગ થઈ શકે. સારો દ્વિતીયક કોષ ઘડી બધી ડિસચાર્જિંગ અને ચાર્જિંગ પ્રક્રિયાઓ કરે છે. સૌથી અગત્યનો દ્વિતીયક કોષ લેડ સંગ્રાહક બેટરી (આકૃતિ 3.10) ઓટોમોબાઈલ અને ઇન્વર્ટર્સ(પરિવર્તકો)માં સામાન્ય રીતે વપરાય છે. તે લેડ એનોડ અને લેડની શ્રીડ (grid) જેના પર લેડ ડાયોક્સાઈડ ( $\text{PbO}_2$ ) ચોંટાલો હોય છે તે કેથોડ તરીકે વર્ત્ત છે. 38 % સલ્ફ્યુરિક ઓસિડનું દ્રાવણ વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે વપરાય છે.

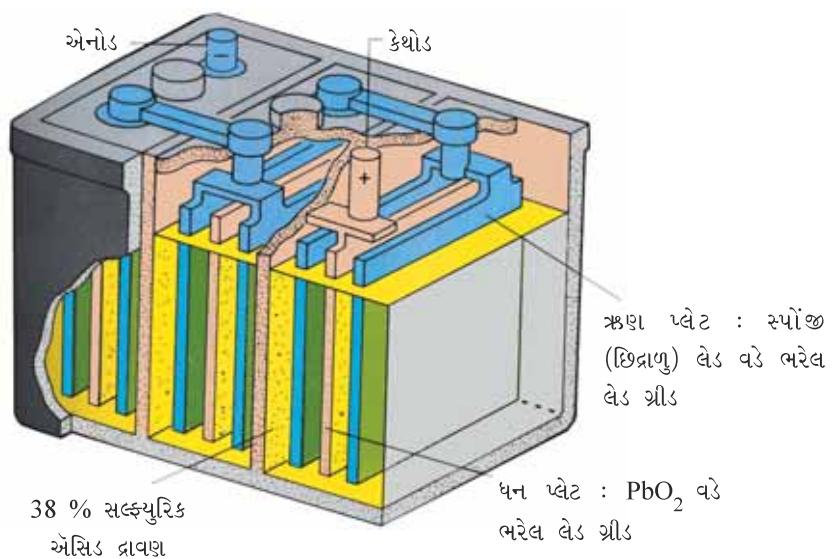
કોષ જ્યારે ઉપયોગમાં હોય ત્યારે થતી કોષ પ્રક્રિયાઓ નીચે આપેલ છે.



એટલે કે કેથોડ અને એનોડ પ્રક્રિયા ધરાવતી એકંદર પ્રક્રિયા છે.

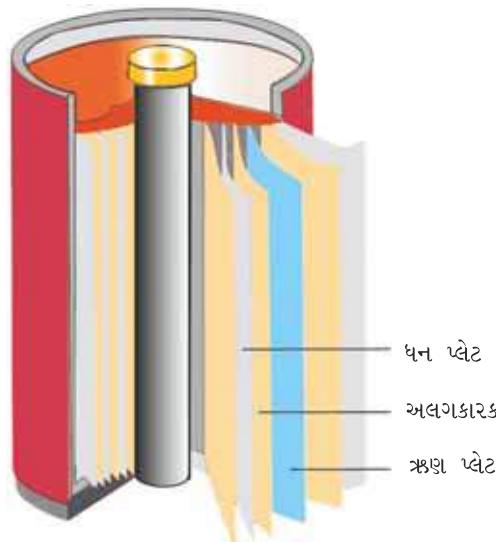


ચાર્જિંગ કરતા પ્રક્રિયા પ્રતિગામી બને છે અને એનોડ પરનો અને કેથોડ પરનો  $\text{PbSO}_4(\text{s})$  અનુકૂમે  $\text{Pb}$  અને  $\text{PbO}_2$ માં પરિવર્તિત થાય છે.



**આકૃતિ 3.10 :** લોડ સંગ્રાહક બેટરી

**આકૃતિ 3.11 :** જેલી રોલ(roll) માં અને ભીના સોડિયમ અથવા પોટોશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડમાં દૂબેલો પુનઃકાર્યરત કરી શકતો નિકલ-કેઝમયમ કોષ

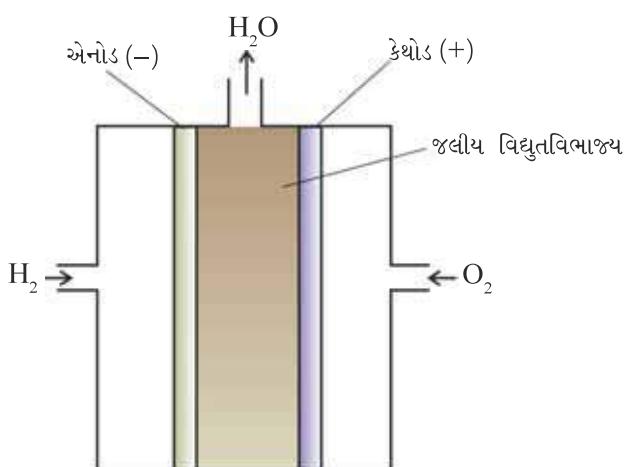


બીજો અગત્યનો દ્વિતીયક કોષ નિકલ-કેઝમયમ કોષ (આકૃતિ 3.11) જેનું આયુષ્ય લેડ સંગ્રહક કોષ કરતાં વધારે છે તે છે, પણ ઉત્પાદન કરવું ઘણું મોંઘું છે. આપણે આ કોષની કાર્ય કરવાની પદ્ધતિની અને ચાર્જિંગ તથા ડિસ્ચાર્જિંગ દરમિયાનની ધ્રુવો પર થતી પ્રક્રિયાઓની વિગતોમાં નહિ જઈએ, ડિસ્ચાર્જ દરમિયાન એકંદર પ્રક્રિયા આ પ્રમાણે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



### 3.7 બળતણા (ઈંધણા) કોષ (Fuel Cells)

તાપીય (thermal) ખાન્ટમાં વિદ્યુતનું ઉત્પાદન વધુ અસરકારક પદ્ધતિ નથી અને તે પ્રદૂષણનો મુખ્ય (major) સ્કોટ છે. આવા ખાન્ટમાં અશ્રમગત ઈંધણા (કોલવાયુ અથવા તેલ) રાસાયણિક ઉર્જા (દહનની ઉભા). શરૂઆતમાં પાણીને ઊચા દબાણે

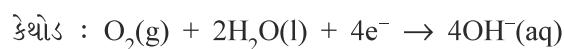


**આકૃતિ 3.12 :**  $\text{H}_2$  અને  $\text{O}_2$ નો ઉપયોગ કરીને વિદ્યુત પેદા કરતો બળતણા કોષ

વરાળમાં ફેરવવામાં વપરાઈ જાય છે અને આને તે પછી વિદ્યુત ઉત્પન્ન કરવા માટે ટર્ભોઇનને ચાલુ રાખવામાં વપરાય છે. આપણે જાણીએ છીએ કે ગેલ્વેનિક કોષ રાસાયણિક ઉર્જાનું સીધું જ વિદ્યુત-ઉર્જામાં પરિવર્તન કરે છે અને તે ખૂબ જ ક્ષમતાવાળો છે. હવે એ શક્ય બન્યું છે કે આવા કોષ જેમાં પ્રક્રિયકો સતતરીતે વિદ્યુતધૂવોને પૂરા પાડવામાં આવે છે અને નીપળોને વિદ્યુતવિભાજનીય ભાગ(િંપાર્ટમેન્ટ)માંથી સતત દૂર કરવામાં આવે છે. ગેલ્વેનિક કોષ જેમને એવી રીતે ડિઝાઇન કરેલા હોય છે જેથી હાઈડ્રોજન, મિથન, મિથેનોલ વગેરે જેવા ઈંધણાની રાસાયણિક ઉર્જા સીધી જ વિદ્યુતિય ઉર્જામાં પરિવર્તિત થાય આવા કોષને બળતણા(ઈંધણા) કોષ કહે છે.

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

ઉમેરવામાં આવતો હતો. આ કોષમાં હાઈડ્રોજન અને ઔક્સિજન છિદ્રાળું કાર્બન વિદ્યુતધૂવ મારફતે સાંદ્ર જલીય સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડના દ્રાવણમાં પસાર કરવામાં આવે છે. ખૂબ જ જીણો કરેલ પ્લેટિનમ અથવા પેલોડિયમ ધાતુ જેવા ઉદ્દીપકો વિદ્યુતધૂવ પ્રક્રિયાઓ નીચે આપેલી છે.

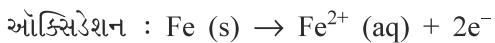
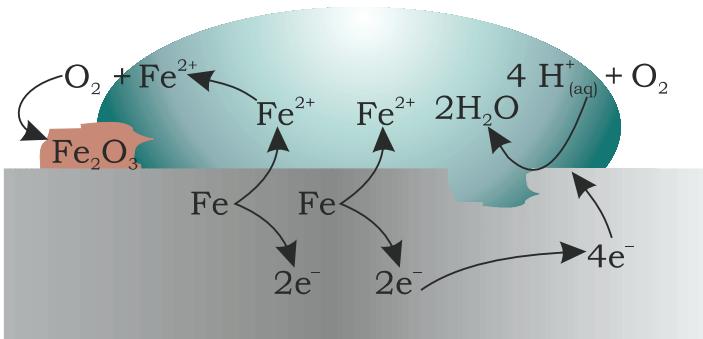


આ કોષ જ્યાં સુધી પ્રક્રિયકો પૂરા પાડવામાં આવે છે ત્યાં સુધી સતત કાર્ય કરે છે. બળતણા કોષ તાપીય ખાન્ટની સરખાણીમાં જેની ક્ષમતા 40 % હોય છે

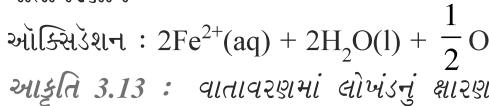
તેને સ્થાને 70 % જેટલી ક્રમતાથી કાર્ય કરે છે. બળતણ કોષની ક્રમતા વધારવા માટે, નવા વિદ્યુતપૂર્વના પદાર્થો, વધુ સારા ઉદ્દીપકો અને વિદ્યુત વિભાજ્યોના વિકાસમાં પ્રભાવશાળી (પ્રચંડ-tremendous) પ્રગતિ સધાર્ય છે. તેમનો ઉપયોગ પ્રાયોગિક ધોરણે થઈ રહ્યો છે. બળતણ કોષ પ્રદૂષણ- મુક્ત છે અને તેમના ભવિષ્યની અગત્યના સંદર્ભમાં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

### 3.8 ક્ષારણ (Corrosion)

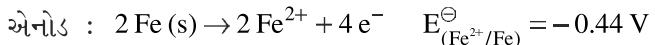
ક્ષારણ ધીમે ધીમે ઘાત્વીય વસ્તુઓની સપાટીને તેમના ઔક્સાઇડ અથવા ધાતુના અન્ય ક્ષારથી પડ રહ્યે છે. લોખંડને કાટ લાગવો, ચાંદીનું ઝાંખું પડવું, કંસાના અને તાંબા પર લીલા રંગનું પડ થવું વગેરે કેટલાક ક્ષારણના ઉદાહરણ છે. તે મકાનો, પૂલો, વહાણો અને ધાતુમાંથી ખાસ કરીને લોખંડમાંથી બનેલી વસ્તુઓને વિશાળ (enormous) નુકસાન પહોંચાડે છે. ક્ષારણને કારણે આપણે દર વર્ષ કરોડો રૂપિયા ગુમાવીએ છીએ.



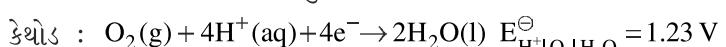
વાતાવરણીય



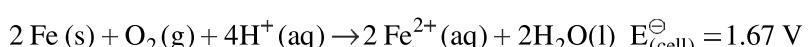
આકૃતિ 3.13 : વાતાવરણમાં લોખંડનું ક્ષારણ



એનોડ બિંદુ પર મુક્ત થયેલા ઈલેક્ટ્રોન ધાતુ મારફતે ખસે છે અને ધાતુના બીજા બિંદુ પર જાય છે અને H<sup>+</sup>ની હાજરીમાં ઔક્સિજનનું રિડક્શન કરે છે (એમ માનવામાં આવે છે કે H<sup>+</sup> હવામાંના કાર્બન ડાયોક્સાઇડનું પાણીમાં વિલયન થવાથી અને પાણીમાંના હાઈડ્રોજન આયન પણ વાતાવરણમાંથી બીજા એસિડિક ઔક્સાઇડના વિલયનથી બને છે) આ બિંદુ નીચેની પ્રક્રિયા સાથે કેથોડ તરીકે વર્ત છે. આપણે પ્રક્રિયા આ રીતે લખી શકીએ.



એક્સિડર પ્રક્રિયા સમીક્ષણ :



ફેરસ આયન આગળ ઉપર વાતાવરણના ઔક્સિજનથી ઔક્સિડેશન પામે છે અને ફેરિક આયન બનાવે છે જે જે જળયુક્ત ફેરિક ઔક્સાઇડ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · xH<sub>2</sub>O) સ્વરૂપે કાટ તરીકે બને છે અને વધુ હાઈડ્રોજન આયનને ઉત્પન્ન કરે છે.

ક્ષારણનો અટકાવ (સંરક્ષણ) સર્વોત્તમ (prime) અગત્ય છે. તે માત્ર પૈસા બચાવે છે તેમ નથી પરંતુ કે કેટલાક અક્સમાતો 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 ઘાત્વીય સપાટીને રંગ અથવા બીજા રસાયણો (દા.ત., બિસફિનોલ) લગાડીને કરી શકાય. બીજી સરળ પદ્ધતિ સપાટીને અન્ય ધાતુઓ (Sn, Zn વગેરે) જે નિષ્ઠિય છે અથવા વસ્તુને બચાવવા પ્રક્રિયા કરે છે તેના વડે ઢાંકી દેવી જોઈએ. વિદ્યુતરસાયણિક પદ્ધતિ બીજી ધાતુઓ(જેવી કે Mg, Zn વગેરે)ના બચાવણ (ભોગ) આપનાર વિદ્યુતપૂર્વો પૂરા પાડવા તે છે. તેઓ તેમની જાતે ક્ષારણ પામે છે અને વસ્તુને બચાવે છે.

## લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 3.13 લેડ સંગ્રહક 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-રસાયણિક કોષની ગોઠવણી કરીને સમજાવો.

## હાઈડ્રોજન આર્થિક વ્યવસ્થા (Hydrogen Economy)

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

## સારાંશ

વિદ્યુત-રસાયણિક કોષ વિદ્યુતવિભાજનીય દ્રાવણમાં ડૂબાડેલા બે વિદ્યુતધ્રુવ ધરાવે છે આમ, વિદ્યુતરસાયણિક કોષનો અગત્યનો ઘટક આયનીય વાહક અથવા વિદ્યુતવિભાજય છે. વિદ્યુતરસાયણિક કોષ બે પ્રકારના હોય છે. ગેલ્વેનિક કોષમાં સ્વયંસ્કૃતિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયાની રસાયણિક ઊર્જાને વિદ્યુતીય ઊર્જામાં પરિવર્તિત કરવામાં આવે છે જ્યારે વિદ્યુતવિભાજનીય કોષમાં વિદ્યુતીય ઊર્જા અસ્વયંસ્કૃતિત રેડોક્ષ પ્રક્રિયા પરિણમવામાં વપરાય છે. યોગ્ય દ્રાવણમાં ડૂબાડેલ વિદ્યુતધ્રુવના પોટોન્શિયલની પ્રમાણિત હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવના સંદર્ભમાં કરવામાં આવે છે. તેનો પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોન્શિયલ શૂન્ય લેવામાં આવે છે. કોષનો પ્રમાણિત પોટોન્શિયલ કેથોડ અને એનોડના પ્રમાણિત પોટોન્શિયલના તફાવત બરાબર લેવામાં આવે છે ( $E_{\text{cell}}^{\ominus} = E_{\text{cathode}}^{\ominus} - E_{\text{anode}}^{\ominus}$ ). કોષના પ્રમાણિત પોટોન્શિયલ કોષમાં થતી પ્રક્રિયાની ગિબ્સ-ઊર્જા ( $\Delta_f G^{\ominus} = -nFE^{\ominus}$ ) અને સંતુલન અચળાંક ( $\Delta_r G^{\ominus} = -RT \ln K$ ) સાથે સંબંધ ધરાવે છે. સાંક્રતા પર આધારિત વિદ્યુતધ્રુવના પોટોન્શિયલ નન્સ્ટના સમીકરણ દ્વારા દર્શાવાય છે.

વિદ્યુતવિભાજનીય દ્રાવણની વાહકતા  $k$  વિદ્યુતવિભાજયની સાંક્રતા, દ્રાવકનો સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) અને તાપમાન પર આધાર રાખે છે. મોલર વાહકતા  $\Lambda_m$  ને  $k/c$  વડે વાખ્યાયિત કરી શકાય છે જ્યાં  $c$  સાંક્રતા છે. સાંક્રતામાં ઘટાડા સાથે વાહકતા ઘટે છે પણ મોલર વાહકતા વધે છે. પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજય માટે દ્રાવણના ઘટાડા સાથે ધીમેથી (slowly) વધે છે. જ્યારે તે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજયના મંદ દ્રાવણોમાં ખૂબ જ તીવ્રતાથી વધે છે. કોહ્લલરોશે શોધી કાઢ્યું કે, વિદ્યુતવિભાજય માટે અનંત મંદને વાહકતા વિદ્યુતવિભાજય 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 પરિધટના છે. વિદ્યુત-રાસાયણિક સિદ્ધાંતો હાઈડ્રોજન અર્થવ્યવસ્થાને સુસંગત છે.

## સ્વાધ્યાય

- 3.1 નીચેની ધાતુઓને તેમના જ્ઞારના દ્રાવણમાંથી એકબીજાને વિસ્થાપિત કરતા કમમાં 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 કમમાં 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) ક્યો વિદ્યુતધ્રુવ ઝાણભારિત છે ?  
(ii) કોષમાં પ્રવાહનું વહન કરતાં વાહકો.  
(iii) દરેક વિદ્યુતધ્રુવ પર વૈયક્તિક (વક્તિગત) પ્રક્રિયા.
- 3.4 જે ગેલ્વેનિક કોષોમાં નીચેની પ્રક્રિયાઓ થતી હોય તેના પ્રમાણિત કોષ પોટેન્શિયલ ગણો :  
(i)  $2Cr(s) + 3Cd^{2+}(aq) \rightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 3 Cd$   
(ii)  $Fe^{2+}(aq) + Ag^+(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$   
પ્રક્રિયાનો  $\Delta_f G^\circ$  અને સંતુલન અચળાંક ગણો.
- 3.5 નીચેના કોષના 298 K તાપમાને નન્સ્ટ 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 કંડા 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  $\Delta_f G^\circ$  અને  $E^\circ$  ગણો.
- 3.7 વિદ્યુતવિભાજયના દ્રાવણ માટે વાહકતા અને મોલર વાહકતા વ્યાખ્યાપિત કરો. તેમની સાંક્રતાના 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.  
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 સોલિયમ કલોરાઈડની વાહકતા જુદી જુદી સાંક્રતાએ 298 K તાપમાને માપવામાં આવી હતી અને પરિણામો નીચે આપવામાં આવ્યા છે :

સાંક્રતા/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 સાંક્રતાઓ માટે  $\Lambda_m^0$  ગણો અને  $\Lambda_m^0$  વિરુદ્ધ  $c^{\frac{1}{2}}$  નો આવેખ દોરો.  $\Lambda_m^0$  નું મૂલ્ય શોધો.

- 3.11  $0.00241 \text{ M}$  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  $\text{Al}$
- (ii) 1 mol  $\text{Cu}^{2+}$  માંથી  $\text{Cu}$
- (iii) 1 mol  $\text{MnO}_4^-$  માંથી  $\text{Mn}^{2+}$

- 3.13 નીચેના ઉત્પાદન માટે ફેરાના પર્યાયમાં કેટલી વિદ્યુતની જરૂર પડશે ?

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

- 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 એમ્બિયર પ્રવાહનો 20 મિનિટ માટે ઉપયોગ કરી  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ના દ્રાવકાનું ખેટિનમ વિદ્યુતધ્રુવો વચ્ચે વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવ્યું. કેથોડ ઉપર  $\text{Ni}$ નું કેટલું દળ નિષ્ઠેપિત (deposited) થશે ?

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

- 3.17 કોષક 3.1માં આપેલ પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટોનિશયલનો ઉપયોગ કરીને અનુમાન કરો કે નીચેના વચ્ચે પ્રક્રિયા શક્ય છે ?

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

- 3.18 નીચેનામાંના દરેક વિદ્યુતવિભાજનમાં નીપજ માટે પ્રાકકથન કરો :

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

### લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

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

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

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

એકમ

# 4

રાસાયણિક ગતિકી

(Chemical Kinetics)

## હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- રાસાયણિક પ્રક્રિયાના સરેરાશ અને ત્વરિત વેગની વ્યાખ્યા આપી શકશો.
- પ્રક્રિયક અથવા નીપજની સાંક્રતામાં સમય સાથે ફેરફારના પર્યાયમાં રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ અભિવ્યક્ત કરી શકશો.
- પ્રાથમિક અને જટિલ પ્રક્રિયાઓ વચ્ચે બેદ પાડી શકશો.
- પ્રક્રિયાની આંગાળીકતા અને કમ વચ્ચે બેદ પાડી શકશો.
- વેગ અચળાંક વ્યાખ્યાયિત કરી શકશો.
- પ્રક્રિયાનો વેગ સાંક્રતા, તાપમાન અને ઉદ્દીપક પર આધારિત છે તેની ચર્ચા કરી શકશો.
- શૂન્ય કમ અને પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાઓ માટે સંકલિત વેગ સમીકરણ ઉપાયી શકશો.
- શૂન્ય કમ અને પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાઓ માટે વેગ અચળાંક નક્કી કરી શકશો.
- સંઘાત સિદ્ધાંત વર્ણવી શકશો.

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

રાસાયણિકજ્ઞાન 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) ઉભાગતિશાસ્ત્ર દ્વારા રાસાયણિક પ્રક્રિયાનું પ્રાક્કથન કરી શકાય તેની શક્યતા (તમે જાણો છો કે જે પ્રક્રિયામાં અચળ તાપમાને 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, ક્યા પરિબળો કેટલી ઝડપથી ખોરાકને બગાડી નાંખશે તે નક્કી કરવું ? દાંતમાં પૂરાણ(filling)માં સેટિંગ કરવાનો પદાર્થ કેવો બનાવવો ? અથવા ઓટોએન્જિનમાં ઈંધણ કેટલા વેગથી બણે છે તેનું નિયંત્રણ ? આ બધા જ પ્રશ્નોનો ઉત્તર રાસાયણિકજ્ઞાનની એ શાખા દ્વારા આપી શકાય કે જે પ્રક્રિયાના વેગના અભ્યાસ અને તેમની ડિયાવિધિ સાથે સંકળાયેલ છે, તેને રાસાયણિક ગતિકી કહે છે. ‘Kinetics’ શબ્દ ગ્રીક શબ્દ ‘Kinesis’ જેનો અર્થ હલનયલન (movement) થાય છે. ઉભાગતિશાસ્ત્ર રાસાયણિક પ્રક્રિયાની શક્યતા વિષે કહે છે. જ્યારે રાસાયણિક ગતિકી પ્રક્રિયાના વેગ વિષે કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે, ઉભાગતિકીય માહિતી સૂચવે છે કે હીરો ગ્રેફાઇટમાં 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 પરિબળોનું વર્ણન કરે છે જેના દ્વારા પ્રક્રિયાના વેગ બદલી શકાય. પરિબળો જેવાં કે સાંક્રતા, તાપમાન, દબાંશ અને ઉદ્વીપક વર્ગોરે પ્રક્રિયા વેગને અસર કરે છે. સ્થૂળસ્તરે (macroscopic level) આપણાને રસ હોય છે કે કેટલા જથ્થાને પ્રક્રિયા કરી અથવા બન્યા અને તેમનો વપરાશ અથવા બનાવટ થઈ. આણવીય સ્તરે પ્રક્રિયાની ડિયાવિધિ જેમાં દિક્કવિન્યાસ (orientation) સંઘાતમાં ભાગ લેતા અણુઓની ઊર્જા સમાવેશ ચર્ચવામાં આવે છે.

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

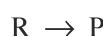
કેટલીક પ્રક્રિયાઓ જેવી કે આયનીય પ્રક્રિયાઓ ધણી ઝડપી છે. ઉદાહરણ તરીકે, જો સિલ્વર નાઇટ્રોટ અને સોડિયમ કલોરાઈડના જલીય દ્રાવણને બેગા કરવામાં આવે; તો સિલ્વર કલોરાઈડનું અવક્ષેપન ત્વરિત થાય છે, જ્યારે બીજી બાજુ પર કેટલીક પ્રક્રિયાઓ ધણી ધીમી છે. ઉદાહરણ તરીકે, હવા અને બેજની હાજરીમાં લોખંડને કાટ લાગવો. આ ઉપરાંત કેટલીક એવી પ્રક્રિયાઓ જે મધ્યમ (moderate) ગતિએ આગળ વધે છે. જેમ કે ખાંડનું બ્યુલ્ટ્કમણ (inversion), સ્ટાર્ચનું 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 સાંક્રતામાં ફેરફાર તરીકે વ્યાખ્યાપિત કરી શકાય. વધુ ચોક્કસ થવા માટે તેમને નીચેના પર્યાયોમાં વ્યાખ્યાપિત કરી શકાય.

(i) કોઈ પણ એક પ્રક્રિયકની સાંક્રતામાં ઘટાડાનો વેગ અથવા

(ii) કોઈ પણ એક નીપજની સાંક્રતામાં 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  $P$ ની સાંક્રતા છે અને  $[R]_2$  અને  $[P]_2$   $t_2$  સમયે તેમની સાંક્રતા છે.

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

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

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

ઉપરના સમીકરણોમાં ચોરસ કોંસ (square brackets) મોલર સાંક્રતા દર્શાવવા માટે વપરાયેલ છે.

$R$ ના અટશ્ય થવાનો વેગ

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

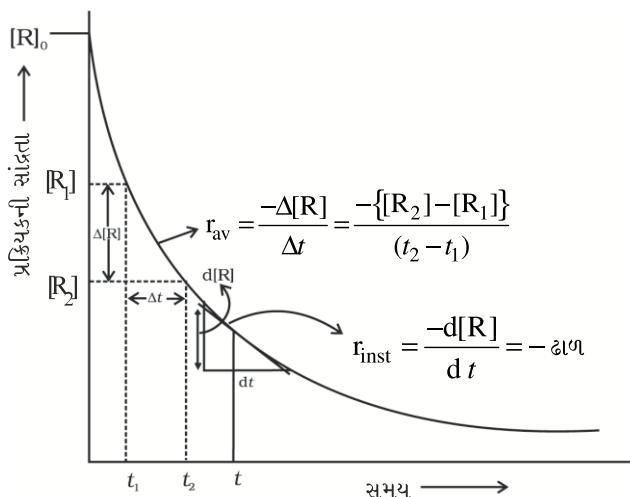
Pના દર્શય થવાનો વેગ

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

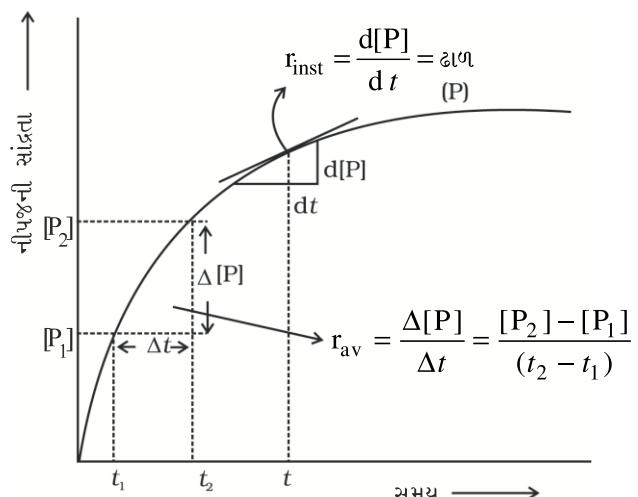
$\Delta[R]$  ઝડપ રાશિ છે (કારણ કે પ્રક્રિયાની સાંક્રતા ઘટે છે) તેને -1 વડે ગુણવાથી પ્રક્રિયાનો વેગ ધન રાશિ બનશે.

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

સરેરાશ વેગ પ્રક્રિયા અથવા નીપળોની સાંક્રતામાં ફેરફાર અને તે ફેરફાર થવા માટે લીધેલા સમય પર આધાર રાખે છે (આકૃતિ 4.1).



(a)



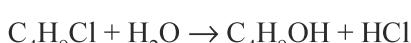
(b)

આકૃતિ 4.1 : પ્રક્રિયાનો ત્વરિત અને સરેરાશ વેગ

પ્રક્રિયા વેગના એકમો :

સમીકરણ (4.1) અને (4.2)માંથી એ સ્પષ્ટ છે કે વેગના એકમો સાંક્રતા સમય<sup>-1</sup> છે. ઉદાહરણ તરીકે જો સાંક્રતા 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 સાંક્રતા 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 (બ્યુટાઈલ ક્લોરાઇડ)ની સાંક્રતા 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 સાંક્રતામાં તફાવત નક્કી કરી શકીએ અને આ પ્રમાણે સરેરાશ વેગ  $\Delta[R]$  ને  $\Delta t$  વડે ભાગીને મેળવી શકીએ (કોષ્ટક 4.1).

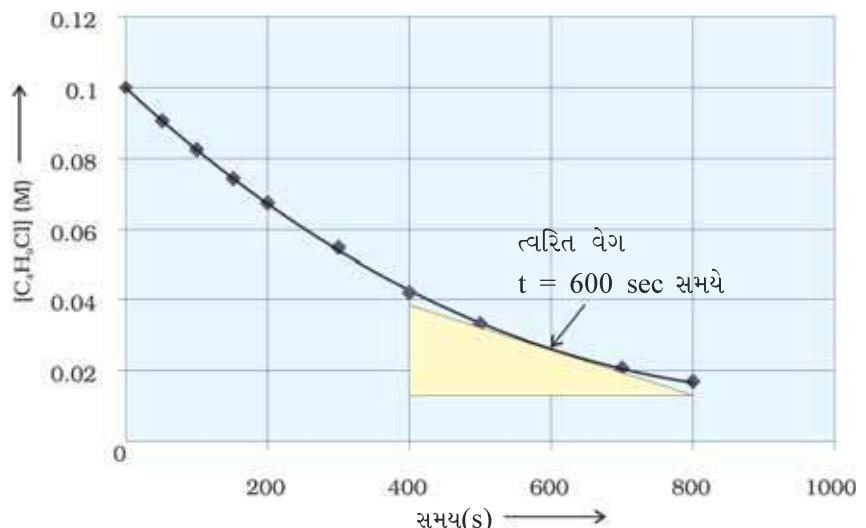
કોષ્ટક 4.1 : બ્યુટાઈલ કલોરાઇડના જળવિભાજનના સરેરાશ વેગ

$[C_4H_9Cl]t_1 / mol L^{-1}$	$[C_4H_9Cl]t_2 / mol L^{-1}$	$t_1/s$	$t_2/s$	$r_{av} \times 10^4/mol L^{-1}s^{-1}$ = - $\{[C_4H_9Cl]t_2 - [C_4H_9Cl]t_1\} / (t_2 - t_1) \times 10^4$
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  $1.90 \times 10^{-4} mol L^{-1}s^{-1}$  થી ઘટીને  $0.4 \times 10^{-4} mol L^{-1}s^{-1}$  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 અથળ હોવો જોઈએ. આથી, સમયની કોઈ પણ કષણો ત્વરિત વેગ ગણ્યીએ છીએ. જ્યારે આપણે સૌથી ઓછા સમયગાળા માટે સરેરાશ વેગ ગણ્યીએ જેમ કે  $dt$  (જ્યારે  $\Delta t$  શુંચ થવા જાય છે). આથી ગાળિતીય રીતે અનંત સૂક્ષ્મરીતે નાના  $dt$  માટે ત્વરિત વેગ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

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

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



આકૃતિ 4.2 : બ્યુટાઈલ કલોરાઇડ ( $C_4H_9Cl$ )ના જળવિભાજનનો ત્વરિત વેગ

તેને આલેખીય રીતે નક્કી કરવા માટે R અને Pની સાંક્રતા વિરુદ્ધ સમયના બેમાંથી એક વક્ત 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 કલોરાઇડની સાંક્રતાનો સમયના વિધેય વિરુદ્ધ આલેખ દોરવાથી મેળવી શકાય.  $t = 600$  s (આકૃતિ 4.2) એ વક્તને સ્પર્શ કરતી સ્પર્શરેખા દોરવામાં આવે છે.

ઢાળની આ સ્પર્શરેખા ત્વરિત વેગ આપશે.

$$\text{આથી } 600 \text{ s સમયે } r_{\text{inst}} = \left( \frac{0.0165 - 0.037}{(800 - 400)\text{s}} \right) \text{mol L}^{-1}$$

$$= 5.12 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$$

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

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

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

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

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

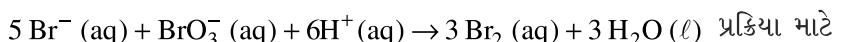
એટલે કે કોઈ પણ પ્રક્રિયકનો અદશ્ય થવાના વેગ, દરેક નીપજનો દશ્ય થવાનો વેગ સરખા છે. પરંતુ નીચેની પ્રક્રિયામાં  $\text{HI}$ ના બે મોલ વિભાજન પામે છે અને  $\text{H}_2$  અને  $\text{I}_2$ ના દરેકના 1 મોલ ઉત્પન્ન કરે છે.



આવી પ્રક્રિયાઓના વેગ જેમાં પ્રક્રિયકો અથવા નીપજોના તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંક બરાબર એક હોતા નથી, તેને માટે કોઈપણ પ્રક્રિયકના અદશ્ય થવાના વેગને અથવા કોઈપણ નીપજોના દશ્ય થવાના વેગને તેને અનુરૂપ તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંક વડે ભાગવામાં આવે છે. હવે,  $\text{HI}$ ના 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 સ્પિસ્સીઝની સાંક્રતા તેના આંશિક દબાણને સમપ્રમાણ હોય છે. આથી પ્રક્રિયક અથવા નીપજના વેગ તેમના આંશિક દબાણમાં ફેરફારના વેગ તરીકે અભિવ્યક્ત કરી શકાય.

**કોષ્ટકો 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 સાંક્રતાનું નિયંત્રણ કરીને અભ્યાસ કરવામાં આવેલ છે. પ્રારંભમાં  $\text{N}_2\text{O}_5$ ની સાંક્રતા 2.33 mol L<sup>-1</sup> છે અને 184 મિનિટ પછી તે ઘટીને 2.08 mol L<sup>-1</sup> 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 :**

$$\begin{aligned} \text{સરેરાશ વેગ} &= \frac{1}{2} \left\{ -\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} \right\} = -\frac{1}{2} \left[ \frac{(2.08 - 2.33) \text{mol L}^{-1}}{184 \text{ min}} \right] \\ &= 6.79 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}/\text{min} = (6.79 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ min}^{-1}) \times (60 \text{ min/1hr}) \\ &= 4.07 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}/\text{h} \\ &= 6.79 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \times 1 \text{ min/60s} \\ &= 1.13 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1} \end{aligned}$$

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 સાંક્રતા 0.03 Mથી ઘટીને 0.02 M 25 મિનિટમાં થાય છે. સમયના એકમ મિનિટ અને સેકન્ડ બંનેનો ઉપયોગ કરીને પ્રક્રિયાનો સરેરાશ વેગ ગણો.
- 4.2 પ્રક્રિયા  $2\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{C}$ ,  $\text{A}$ ની સાંક્રતા 10 મિનિટમાં 0.5 mol L<sup>-1</sup>થી ઘટીને 0.4 mol L<sup>-1</sup> થાય છે. આ ગાળા દરમિયાન વેગ ગણો.

- 4.2 પ્રક્રિયાના વેગને અસર કરતાં પરિબળો (Factors Influencing Rate of Reaction)

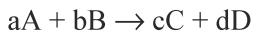
#### 4.2.1 વેગનો સાંક્રતા પર આધાર (Dependence of Rate on Concentration)

આપેલ તાપમાને રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ એક અથવા વધારે પ્રક્રિયકો અથવા નીપજોની સાંક્રતા પર આધાર રાખે છે. પ્રક્રિયાના વેગને પ્રક્રિયકોની સાંક્રતાના 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 (Rate Expression and Rate Constant)

કોષ્ટક 4.1માંના પરિણામો સ્પષ્ટપણે દર્શાવે છે કે પ્રક્રિયાનો વેગ સમય જેમ પસાર થાય છે તેમ ઘટે છે. કારણ કે પ્રક્રિયકની સાંક્રતા ઘટે છે. આથી ઊલ્લટું જ્યારે પ્રક્રિયકની સાંક્રતા વધે છે ત્યારે સામાન્ય રીતે વેગ વધે છે. આથી પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયકોની સાંક્રતા પર આધાર રાખે છે.

સામાન્ય પ્રક્રિયા



જેમાં  $a, b, c$  અને  $d$  પ્રક્રિયાનો અને નીપજોના તત્ત્વયોગમિત્ય ગુણાંકો છે તેને ગણતરીમાં લઈએ.

આ પ્રક્રિયા માટે વેગની અભિવ્યક્તિ છે.

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

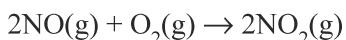
જ્યાં ધાતાંક  $x$  અને  $y$  પ્રક્રિયાના તત્ત્વયોગમિત્ય ગુણાંકો ( $a$  અને  $b$ ) હોય કે ન પણ હોય. ઉપરના સમીકરણને આ પ્રમાણે લખી શકાય.

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

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

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 પ્રક્રિયાની સાંક્રતા સાથે સંબંધિત કરે છે તેને વેગ નિયમ અથવા વેગ અભિવ્યક્તિ કહે છે. આમ, વેગ નિયમ એવી અભિવ્યક્તિ છે જેમાં પ્રક્રિયા વેગ પ્રક્રિયાની સાંક્રતાના પર્યાયમાં દર્શાવવામાં આવે છે. જેમાં દરેક પર્યાય પર કોઈક ધાતાંક મૂકવામાં (raise) આવે છે જે સંતુલિત રાસાયણિક સમીકરણમાં પ્રક્રિયા કરતી સ્પિસેઝના તત્ત્વયોગમિત્ય ગુણાંક હોય અથવા ન પણ હોય. ઉદધારણ તરીકે,



આપણે આ પ્રક્રિયાના વેગનું માપાન પ્રારંભિક સાંક્રતાના વિષેય તરીકે કાં તો એક પ્રક્રિયકની સાંક્રતા અચળ રાખી અને બીજા પ્રક્રિયકની સાંક્રતા બદલીને અથવા બંને પ્રક્રિયકની સાંક્રતા બદલીને કરી શકીએ. નીચેના પરિણામો મળેલ છે (કોષ્ટક 4.2).

કોષ્ટક 4.2 :  $\text{NO}_2$ ના નિર્માણનો પ્રારંભિક વેગ

પ્રયોગ	પ્રારંભિક $[\text{NO}] / \text{mol L}^{-1}$	પ્રારંભિક $[\text{O}_2] / \text{mol L}^{-1}$	$\text{NO}_2$ ના નિર્માણનો પ્રારંભિક વેગ / $\text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$
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  $\text{NO}$ ની સાંક્રતા બમણી કરવામાં આવે છે અને  $\text{O}_2$ ની સાંક્રતા અચળ રાખવામાં આવે છે ત્યારે પ્રારંભિક વેગ ચાર ગણો 0.096 થી 0.384  $\text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$  થાય છે. આ સૂચવે છે કે વેગ  $\text{NO}$ ની સાંક્રતાના વર્ગ પર આધાર રાખે છે. જ્યારે  $\text{NO}$ ની સાંક્રતા અચળ રાખવામાં આવે છે અને  $\text{O}_2$ ની સાંક્રતા બમણી કરવામાં આવે છે ત્યારે પણ વેગ બમણો થાય છે જે સૂચવે છે કે વેગ  $\text{O}_2$ ની સાંક્રતાના પ્રથમ ધાતાંક (power) પર આધાર રાખે છે. આથી આ પ્રક્રિયા માટે વેગ અચળાંક થશે,

$$\text{વેગ} = k [\text{NO}]^2 [\text{O}_2]$$

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 ઘાતાંકે તેમની સંતુલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયામાંના તત્ત્વયોગમિતીય ગુણાંક જેટલા છે.

કેટલાક અન્ય ઉદાહરણ નીચે આખાં છે.

### પ્રક્રિયા

1.  $\text{CHCl}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + \text{HCl}$
2.  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

### પ્રાયોગિક વેગ સમીકરણ

$$\text{વેગ} = k [\text{CHCl}_3] [\text{Cl}_2]^{1/2}$$

$$\text{વેગ} = k [\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5]^1 [\text{H}_2\text{O}]^0$$

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

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

### 4.2.3 પ્રક્રિયાનો કમ (Order of Reaction)

વેગ સમીકરણ (4.4)માં

$$\text{વેગ} = k [A]^x [B]^y$$

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

આથી, પ્રક્રિયા વેગ અભિવ્યક્તિમાં પ્રક્રિયકોની સાંક્રતાના ઘાતાંકના સરવાળાને રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો કમ કહેવામાં આવે છે.

પ્રક્રિયાનો કમ 0, 1, 2, 3 અને અપૂર્ણાંક પણ હોઈ શકે. શૂન્ય કમની પ્રક્રિયાનો અર્થ એમ છે કે પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયકની સાંક્રતાથી સ્વતંત્ર છે.

### કોષ્ટકો 4.3

પ્રક્રિયાઓ જેની વેગ અભિવ્યક્તિ

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

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

છે તે પ્રક્રિયાના એકંદર કમ ગણો.

$$(a) \text{વેગ} = k [A]^x [B]^y$$

$$\text{કમ} = x + y$$

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

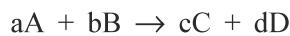
$$(b) \text{કમ} = \frac{3}{2} + (-1) = \frac{1}{2} \text{ એટલે કે અર્ધ કમ}$$

સમતોલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયા કદી પણ પ્રક્રિયા કેવી રીતે થાય છે તેના વિષે સાચું ચિન્તા 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

કંસ્યુટિવ (consecutive) (જેમ કે, ઈથેનનું  $\text{CO}_2$  અને  $\text{H}_2\text{O}$ માં દરન શ્રેણીબદ્ધ મધ્યવતી તખ્કામાં થાય છે જેમાં આલ્કોહોલ, આલ્ફિલાઈડ અને ઓસિડ બને છે.), પ્રતિવતી પ્રક્રિયા અને પાર્શ્વ (side) પ્રક્રિયાઓ (જેમ કે, ફિનોલનું નાઈટ્રોફિનોલ અને *p*-નાઈટ્રોફિનોલ નીપણે આપે છે) હોઈ શકે છે.

વેગ અચળાંકના એકમો :

સામાન્ય પ્રક્રિયા



$$\text{માટે વેગ} = k [A]^x [B]^y$$

$$\text{જ્યાં } x + y = n = \text{પ્રક્રિયાનો \ કમ}$$

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

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

સાંક્રતાનો SI એકમ  $\text{mol L}^{-1}$  અને સમયનો SI એકમ લઈએ તો જુદા જુદા કમની પ્રક્રિયાઓ માટે  $k$  ના એકમોની યાદી કોષ્ટક 4.3માં કરેલી છે.

કોષ્ટક 4.3 : વેગ અચળાંકના એકમો

પ્રક્રિયા	કમ	વેગ અચળાંકના એકમ
શૂષ્ય કમ 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 કમ પ્રક્રિયા	1	$\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \times \frac{1}{(\text{mol L}^{-1})^1} = \text{s}^{-1}$
દ્વિતીય કમ પ્રક્રિયા	2	$\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \times \frac{1}{(\text{mol L}^{-1})^2} = \text{mol}^{-1} \text{L s}^{-1}$

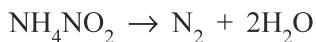
**કોષ્ટક 4.4** નીચેના દરેક પ્રક્રિયા અચળાંક પરથી પ્રક્રિયા કમ શોધી કાઢો.

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

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

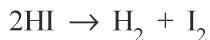
#### 4.2.4 પ્રક્રિયાની આણ્વીકતા (Molecularity of a Reaction)

પ્રક્રિયાનો બીજો ગુણધર્મ આણ્વીકતા કહેવાય છે જે તેની સ્પષ્ટાત્મક સમજવામાં મદદ કરે છે. પ્રાથમિક પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા સિપ્સીઝ(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 સિપ્સીઝ સમાવિષ્ટ હોય ત્યારે પ્રક્રિયા એક આણ્વીય હોઈ શકે છે. ઉદાહરણ તરીકે એમોનિયમ નાઈટ્રોફિનોલનું વિધટન.



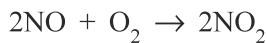
દ્વિ-આણવીય પ્રક્રિયાઓમાં બે સ્પિસીજ વચ્ચે એકસાથે સંઘાત સમાવિષ્ટ છે.

ઉદાહરણ તરીકે, હાઈડ્રોજન આયોડાઇડનું વિઘોજન.



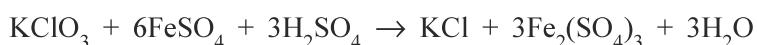
ત્રિ-આણવીય પ્રક્રિયાઓમાં ત્રણ સ્પિસીજ વચ્ચે એકસાથે સંઘાત સમાવિષ્ટ છે.

ઉદાહરણ તરીકે,

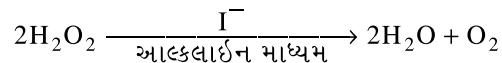


ત્રણ કરતાં વધુ અણુઓ સંઘાત પામે અને એકસાથે પ્રક્રિયા કરે તેની સંભાવ્યતા (સંભાવના) ઘણી ઓછી છે. આમ, તો આણવીકતા ત્રણ ધરાવતી પ્રક્રિયાઓ ઘણી ઓછી છે અને આ પ્રક્રિયા ઘણી ધીમી હોય છે.

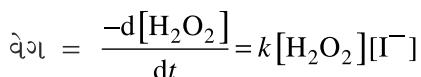
આથી એ સ્પષ્ટ છે કે, તત્ત્વયોગમિત્ય સમીકરણમાં સમાવિષ્ટ ત્રણ કરતાં વધારે અણુઓની પ્રક્રિયાઓ ઘણી જ જટિલ હોય છે જે એક કરતાં વધુ તબક્કાઓમાં થતી હોય છે.



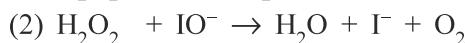
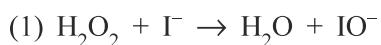
આ પ્રક્રિયા સ્પષ્ટ (apparent) રીતે સૂચવે છે કે પ્રક્રિયાનો કમ દસ હશે પરંતુ ખરેખર તે દ્વિતીયકમની પ્રક્રિયા છે. આ દર્શાવે છે કે પ્રક્રિયા કેટલાક તબક્કામાં થાય છે. કયો તબક્કો એકંદર પ્રક્રિયાના વેગને નિયંત્રિત કરે છે ? આ પ્રશ્નનો ઉત્તર આપણે ત્યારે જ આપી શકીએ જો પ્રક્રિયાની કિયાવિધિનો અભ્યાસ કરીએ, તો; ઉદાહરણ 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 આયોડાઇડ આયન વડે ઉદ્દીપીત કરેલ છે.



આ પ્રક્રિયા માટે વેગ સમીકરણ આ પ્રમાણે જણાયું છે.



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



બંને તબક્કા દ્વિ-આણવીય પ્રાથમિક પ્રક્રિયાઓ છે.  $\text{IO}^-$  સ્પિસીજને 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.

- (i) પ્રક્રિયાનો કમ પ્રાથમિક રાશિ છે. તે શૂન્ય અથવા અપૂર્ણાંક હોઈ શકે પણ આણવીકતા શૂન્ય અથવા અપૂર્ણાંક ન હોય.
- (ii) પ્રક્રિયા કમ પ્રાથમિક તથા જટિલ પ્રક્રિયાઓને લાગુ પાડી શકાય છે, જ્યારે આણવીકતા માત્ર પ્રાથમિક પ્રક્રિયાને લાગુ પાડી શકાય છે. જટિલ પ્રક્રિયા માટે આણવીકતાનો કોઈ અર્થ નથી.

- (iii) જટિલ પ્રક્રિયા માટે, કમ સૌથી ધીમા તબક્કા વડે દર્શાવાય છે અને સૌથી ધીમા તબક્કાની આણવીકરતા એકંદર પ્રક્રિયાના કમ 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 કમ કેટલો હશે ?
- 4.4 X અણુઓનું Yમાં પરિવર્તન ગતિકીનો બીજો કમ અનુસરે છે. જો Xની સાંક્રતા ગ્રાફ ગણી વધારવામાં આવે, તો તે Yના નિર્માણ(બનાવટ)ને કેવી રીતે અસર કરશે ?

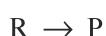
### 4.3 સંકલિત વેગ સમીકરણ (Integrated Rate Equations)

આપણો એ નોંધ્યું છે કે સાંક્રતા પર આધારિત વેગને વિકલનીય વેગ સમીકરણ કહીએ છીએ. એ હુંમેશાં અનુકૂળ નથી હોતું કે ત્વરિત વેગ નક્કી કરી શકીએ કારણ કે તે સાંક્રતા વિરુદ્ધ સમયના આલેખમાંના (આકૃતિ 4.1) 't' બિંદુ આગળ સ્પર્શક (tangent)નો ટાળ નક્કી કરી માપવામાં આવે છે. આ બાબત વેગ નિયમ નક્કી કરવામાં મુશ્કેલી ઊભી કરે છે અને તેથી પ્રક્રિયાનો કમ 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 સાંક્રતા અને વેગ અચળાંક મળે.

સંકલિત વેગ સમીકરણ જુદા જુદા પ્રક્રિયા કરું માટે જુદા જુદા હોય છે. આપણો આ સમીકરણો શૂન્ય કમ અને પ્રથમ કમની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ માટે નક્કી કરીશું.

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

શૂન્ય કમની પ્રક્રિયાનો અર્થ છે કે પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયકની સાંક્રતાના 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

$$[R] = -k t + I \tag{4.5}$$

જ્યાં, I સંકલન અચળાંક છે.

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

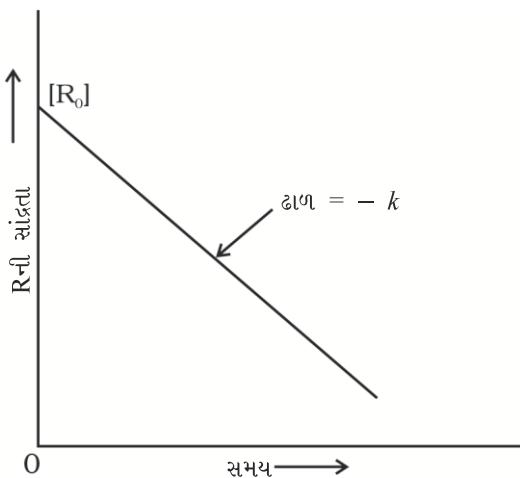
આ મૂલ્યોને સમીકરણ (4.5)માં મૂકતાં,

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

$$[R]_0 = I$$

Iના મૂલ્યો સમીકરણ (4.5)માં મૂકતાં,

$$[R] = -k t + [R]_0 \tag{4.6}$$



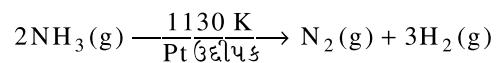
આકૃતિ 4.3 : શૂન્ય કમની પ્રક્રિયા માટે સંક્રતામાં ફેરફાર વિરુદ્ધ સમયનો આલેખ

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 કમની 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 કમની પ્રક્રિયાના થોડાક ઉદાહરણ છે. વાયુમય અમોનિયાનું ખેટિનમની સપાટી પર વિઘટન ઉંચા દબાણે શૂન્ય કમની પ્રક્રિયા છે.

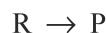


$$\text{વેગ} = k [\text{NH}_3]^0 = k$$

આ પ્રક્રિયામાં ખેટિનમ ઉદ્દીપક તરીકે વર્તે છે. ઉંચા દબાણે ધાતુની સપાટી વાયુ અણુઓથી સંતૃપ્ત થાય છે. આથી પ્રક્રિયાની પરિસ્થિતિમાં વધુ ફેરફાર ઉદ્દીપકની સપાટી પર અમોનિયાની સંક્રતામાં ફેરફાર કરવા અશક્તિમાન છે. જેથી પ્રક્રિયાનો વેગ સંક્રતાથી સ્વતંત્ર બને છે. ગોદની સપાટી પર  $\text{HI}$ નું ઉભીય વિઘટન શૂન્ય કમની પ્રક્રિયાનું અન્ય ઉદાહરણ છે.

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

પ્રક્રિયાઓના આ વર્ગમાં પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયક ( $R$ )ની સંક્રતાના ધાતાંક બરાબર એકને સમપ્રમાણ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે,



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

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

આ સમીકરણનું સંકળન કરતાં

$$\ln[R] = -kt + I \quad (4.8)$$

વળી,  $I$  સંકળન અચળાંક છે અને તેનું મૂલ્ય સરળતાથી નક્કી કરી શકાય છે.

જ્યારે  $t = 0$ ,  $[R] = [R]_0$  જ્યાં  $[R]_0$  પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સંક્રતા છે.

આથી સમીકરણ (4.8) આ પ્રમાણે લખી શકાય.

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

$$\ln [R]_0 = I$$

સમીકરણ (4.8)માં  $I$ નું મૂલ્ય મૂકતાં,

$$\ln [R] = -kt + \ln [R]_0 \quad (4.9)$$

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  $[R]_2$  અનુકૂળ પ્રક્રિયકની  $t_1$  અને  $t_2$  સમયે સાંક્રતા છે.

સમીકરણ (4.12)ને (4.11)માંથી બાદ કરતાં,

$$\begin{aligned} \ln[R]_1 - \ln[R]_2 &= -kt_1 - (-kt_2) \\ \ln \frac{[R]_1}{[R]_2} &= k(t_2 - t_1) \\ k &= \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \frac{[R]_1}{[R]_2} \end{aligned} \quad (4.13)$$

સમીકરણ (4.9) આ પ્રમાણે લખી શકાય.

$$\ln \frac{[R]}{[R]_0} = -kt$$

બંને બાજુ પ્રતિધાતાંક 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 આલોખ દોરીએ તો આપણને સીધી રેખા મળશે. જેમાં ફાળ =  $-k$  અને આંતરદેશ બરાબર  $\ln[R]_0$  મળશે.

પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા માટેનું સમીકરણ (4.10) નીચેના સ્વરૂપમાં લખી શકાય.

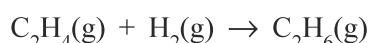
$$k = \frac{2.303}{t} \log \frac{[R]_0}{[R]} \quad (4.15)$$

$$*\log \frac{[R]_0}{[R]} = \frac{kt}{2.303}$$

જો આપણે  $\log \frac{[R]_0}{[R]}$  વિરુદ્ધ તો આલોખ દોરીએ (આકૃતિ 4.5), તો

$$\text{ફાળ} = k/2.303.$$

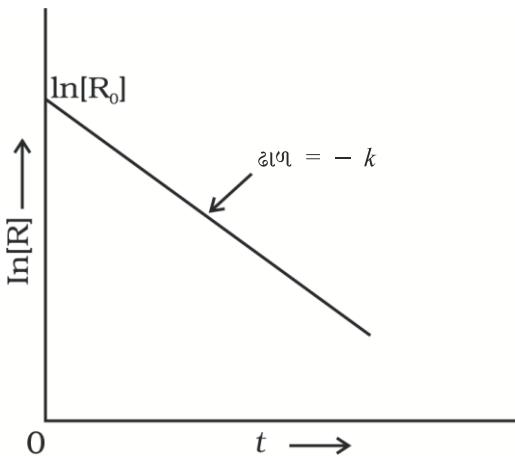
ઈથીનાનું હાઇડ્રોજનીકરણ પ્રથમકમની પ્રક્રિયાનું ઉદાહરણ છે.



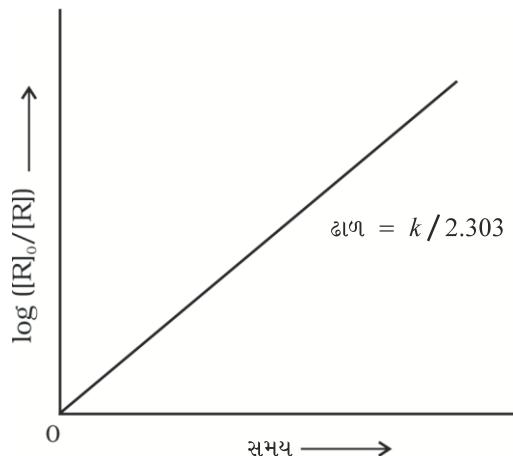
$$\text{ફાળ} = k [\text{C}_2\text{H}_4]$$

બધી જ કુદરતી અને કૂત્રિમ રેઓસક્રિય અસ્થાયી કેન્દ્રોનો ક્ષય પ્રથમ કમની ગતિકી પ્રમાણે થાય છે.

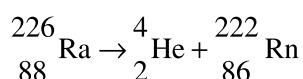
\*  $\ln$  અને  $\log$  (logarithms) માટે પદ્ધતિભી-IV જુઓ.



આકાર 4.4 : પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા માટે  $\ln[R]$   
અને સમય આલોચના



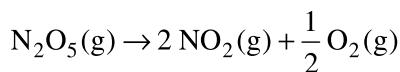
આકાર 4.5 : પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા માટે  $\log[R]_0/[R]$   
વિરુદ્ધ સમય આલોચના



$$\text{વેગ} = k [\text{Ra}]$$

$\text{N}_2\text{O}_5$  અને  $\text{N}_2\text{O}$ નું વિધટન પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાના કેટલાક વધારાના ઉદાહરણ છે.

**કોષ્ઠો 4.5** નીચેની પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાને અનુસરતી પ્રક્રિયા માટે  $\text{N}_2\text{O}_5$ ની પ્રારંભિક સાંક્રતા 318 K તાપમાને  $1.24 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  છે.



$\text{N}_2\text{O}_5$  સાંક્રતા 60 મિનિટ પછી  $0.20 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  છે. 318 K તાપમાને પ્રક્રિયાનો વેગ અચળાંક ગણો.

**ઉકેલ :** પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા માટે

$$\log \frac{[\text{R}]_1}{[\text{R}]_2} = \frac{k(t_2 - t_1)}{2.303}$$

$$k = \frac{2.303}{(t_2 - t_1)} \log \frac{[\text{R}]_1}{[\text{R}]_2}$$

$$k = \frac{2.303}{(60 \text{ min} - 0 \text{ min})} \log \frac{1.24 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}}{0.20 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}}$$

$$= \frac{2.303}{60} \log 6.2 \text{ min}^{-1}$$

$$k = 0.0304 \text{ min}^{-1}$$

આપણે કોઈ ખાસ વાયુમય કલાની પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા  $\text{A(g)} \rightarrow \text{B(g)} + \text{C(g)}$ ને ધ્યાનમાં લઈએ.

ધારો કે  $\text{A}$ નું આંશિક દબાણ  $p_A$  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 દબાજા છે. જો A ના દબાજામાં થતો ઘટાડો  $t$  સમયે  $x$  atm હોય તો B અને C દરેકના એક મોલ બને છે. આજ સમયે બનતા B અને C દરેકના દબાજામાં થતો વધારો  $x$  atm છે.



જ્યાં  $p_i$  પ્રારંભિક દબાજા  $t = 0$  સમયે છે.

$$p_t = (p_i - x) + x + x = p_i + x$$

$$x = (p_t - p_i)$$

$$\text{જ્યાં } p_A = p_i - x = p_i - (p_t - p_i)$$

$$= 2p_i - p_t$$

$$k = \left( \frac{2.303}{t} \right) \left( \log \frac{p_i}{p_A} \right) \quad (4.16)$$

$$= \frac{2.303}{t} \log \frac{p_i}{(2p_i - p_t)}$$

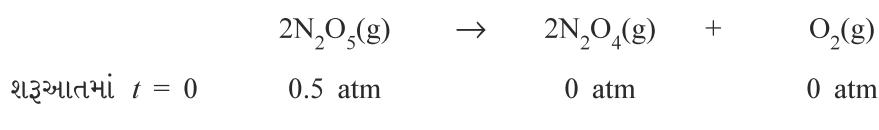
**કોષ્ટક 4.6** અચળ દબાજો  $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$  ના ઉભીય વિઘટનની પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા માટે નીચેની માહિતી મળેલ છે.



કમ નં.	સમય/s	કુલ દબાજા/(atm)
1	0	0.5
2	100	0.512

વેગ અચળાંક ગણો.

**ઉક્તા :** ધારો કે  $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ નું દબાજા  $2x$  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  $\text{O}_2(\text{g})$  બને છે.  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ નું દબાજા  $2x$  atm વધે છે. જ્યારે  $x$  atm  $\text{O}_2(\text{g})$  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

$$\begin{aligned} k &= \frac{2.303}{t} \log \frac{p_i}{p_A} = \frac{2.303}{100 \text{ s}} \log \frac{0.5 \text{ atm}}{0.476 \text{ atm}} \\ &= \frac{2.303}{100 \text{ s}} \times 0.0216 = 4.98 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

**4.3.3 પ્રક્રિયાનું અર્ધઆયુષ્ય (Half-Life of a Reaction)** પ્રક્રિયાનું અર્ધઆયુષ્ય એવો સમય છે, જ્યારે પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સાંક્રતા ઘટીને અડધી થાય છે. તેને  $t_{1/2}$  વડે રજૂ કરવામાં આવે છે.

શૂન્ય કમની પ્રક્રિયાને વેગ અચળાંક સમીકરણ 4.7 પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$\begin{aligned} k &= \frac{[\text{R}]_0 - [\text{R}]}{t} \\ t &= t_{1/2}, [\text{R}] = \frac{1}{2} [\text{R}]_0 \end{aligned}$$

$t_{1/2}$  સમયે વેગ અચળાંક થશે.

$$\begin{aligned} k &= \frac{[\text{R}]_0 - \frac{1}{2} [\text{R}]_0}{t_{1/2}} \\ t_{1/2} &= \frac{[\text{R}]_0}{2k} \end{aligned}$$

એ સ્પષ્ટ છે કે શૂન્ય કમની પ્રક્રિયા માટે  $t_{1/2}$  પ્રક્રિયકેની પ્રારંભિક સાંક્રતાના સમપ્રમાણમાં છે અને વેગ અચળાંકના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં છે.

પ્રથમ કમની 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 કમની પ્રક્રિયા માટે અર્ધઆયુષ્ય સમય અચળ છે એટલે કે પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતી સ્પેસીજની પ્રારંભિક સાંક્રતાથી સ્વતંત્ર છે. પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાનું અર્ધઆયુષ્ય વેગ અચળાંકમાંથી ઝડપથી ગણી શકાય છે અને તેનાથી ઉલદું પણ ગણી શકાય છે.

શૂન્ય કમની પ્રક્રિયા માટે  $t_{1/2} \propto [R]_0$ . પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા માટે  $t_{1/2}$ ,  $[R]_0$  થી સ્વતંત્ર છે.

**કોયડો 4.7** એક પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા માટે વેગ અચળાંક  $k = 5.5 \times 10^{-14} \text{ s}^{-1}$  જણાયો છે. પ્રક્રિયાનું અર્ધઆયુષ્ય શોધો.

**ઉકેલ :** પ્રથમ કમની 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** દર્શાવે કે પ્રથમ કમની 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

$$t_{1/2} = 0.693 / k$$

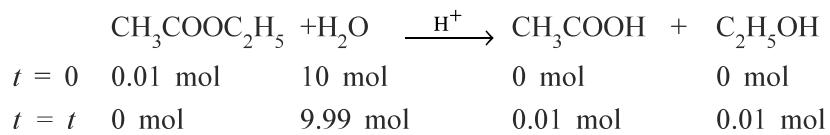
$$\frac{t}{t_{1/2}} = \frac{6.909}{k} \times \frac{k}{0.693} = 10$$

કોષ્ટક 4.4માં શૂન્ય અને પ્રથમ કમની પ્રક્રિયા માટેના સંકલિત નિયમોના ગાણિતીય વિશિષ્ટતાઓનો સારાંશ આપ્યો છે.

**કોષ્ટક 4.4 :** શૂન્ય અને પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાઓ માટે સંકલિત વેગ નિયમો

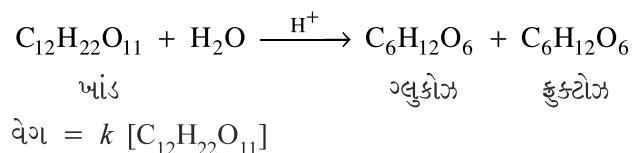
ક્રમ	પ્રક્રિયા પ્રકાર	વિકલનીય વેગ નિયમ	સંકલિત વેગ નિયમ	સીધી રેખા આલેખ	અર્ધ-આયુષ્ય	kના એકમો
0	$R \rightarrow P$	$d[R]/dt = -k$	$kt = [R]_0 - [R]$	$[R]$ વિરુદ્ધ $t$	$[R]_0/2k$	સાંક્રતા સમય $^{-1}$ અથવા mol L $^{-1}$ s $^{-1}$
1	$R \rightarrow P$	$d[R]/dt = -k[R]$	$[R] = [R]_0 e^{-kt}$ અથવા $kt = \ln \frac{[R]_0}{[R]}$	$\ln[R]$ વિરુદ્ધ $t$	$\ln 2/k$ $= \frac{0.693}{k}$	સમય $^{-1}$ અથવા s $^{-1}$

પ્રક્રિયાનો કમ ઘણી વખત પરિસ્થિતિને (શરતો) લીધે બદલાય છે. કેટલીક પ્રક્રિયાઓ ઉચ્ચતર પ્રક્રિયાક્રમ ધરાવતી હોવા છતાં પણ તેઓ પ્રથમક્રમ પ્રક્રિયાવેગ નિયમને અનુસરે છે. ઈથાઈલ એસિટેની જળવિભાજન પ્રક્રિયાને ધ્યાને લો કે જે ઈથાઈલ એસિટેટ અને પાણી વચ્ચે થતી રસાયણિક પ્રક્રિયા છે. વાસ્તવમાં તે દ્વિતીય ક્રમની પ્રક્રિયા છે તથા તેમાં ઈથાઈલ એસિટેટ અને પાણી બંનેની સાંક્રતા પ્રક્રિયાવેગને અસર કરે છે. પરંતુ જળવિભાજન માટે પાણીનો જથ્થો વધુ પ્રમાણમાં લીધેલો હોવાથી પ્રક્રિયા દરમિયાન પાણીની સાંક્રતામાં નોંધપાત્ર ફેરફાર થતો નથી. આમ, આ પ્રક્રિયાનો વેગ માત્ર ઈથાઈલ એસિટેની સાંક્રતાથી અસર પામે છે. ઉદાહરણ તરીકે,  $0.01 \text{ mol}$  ઈથાઈલ એસિટેની  $10 \text{ mol}$  પાણી સાથેની જળવિભાજન પ્રક્રિયા દરમિયાન પ્રક્રિયકો અને નીપળેના પ્રક્રિયાની શરૂઆતમાં ( $t = 0$ ) અને સમય ( $t$ ) પૂર્ણ થયા પછીના જથ્થા નીચે પ્રમાણે આપ્યા છે :



પ્રક્રિયા થાય છે તે દરમિયાન પાણીની સાંક્રતા ખાસ બદલાતી નથી. આથી પ્રક્રિયા પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા પ્રમાણે વર્ત છે. આવી પ્રક્રિયાઓને આભાસી પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા કહે છે.

ખાંડનું વ્યુટ્કમણ (inversion) આભાસી પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાનું બીજું ઉદાહરણ છે.



### લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

- 4.5 એક પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયાનો વેગ અચળાંક  $1.15 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  છે. આ પ્રક્રિયકના  $5 \text{ g}$  ને  $3 \text{ g}$ માં ઘટતાં કેટલો સમય લાગશે ?
- 4.6  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ને તેના પ્રારંભિક જથ્થામાંથી વિઘટન થઈને અડધા થવા માટે 60 મિનિટ સમય લાગે છે. જો વિઘટન પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા હોય, તો પ્રક્રિયાનો વેગ અચળાંક ગણો.

### 4.4 પ્રક્રિયાના વેગનો તાપમાન પર આધાર (Temperature Dependence of Rate of a Reaction)

મોટા ભાગની રસાયણિક પ્રક્રિયાઓ તાપમાનના વધારા સાથે પ્રવેગિત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે  $\text{N}_2\text{O}_5$ ના વિઘટનમાં પદાર્થના મૂળ જથ્થાનો અડ્ધો થવા માટે લાગતો સમય  $50^\circ\text{C}$  તાપમાને  $12 \text{ min}$ ,  $25^\circ\text{C}$  તાપમાને  $5 \text{ h}$  અને  $0^\circ\text{C}$  તાપમાને  $10 \text{ દિવસ}$  છે. તમે તે પણ જાણો છો કે પોટેશિયમ પરમેનેટ ( $\text{KMnO}_4$ ) અને ઓક્ઝલિક એસિડ ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ )ના મિશ્રણમાં પોટેશિયમ પરમેનેટનો રંગ નીચા તાપમાન કરતાં ઊંચાં તાપમાને જડપથી રંગવિછીન થાય છે.

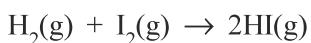
એવું જાણવા મળ્યું છે કે રસાયણિક પ્રક્રિયા માટે  $10^\circ\text{C}$  તાપમાનનો વધારો કરવાથી વેગ અચળાંક લગભગ બમણો થાય છે.

રસાયણિક પ્રક્રિયાના વેગનો તાપમાન પર આધાર ચોક્સાઈપૂર્વક આર્હનિયસ (Arrhenius) સમીકરણ (4.18) વડે સમજાવી શકાય. ત્યે રસાયણશાસ્ત્રી જે એચ. વોન્ટ હોફ (J. H. Vant Hoff) પ્રથમ હતાં, પરંતુ સ્વિડીશ રસાયણશાસ્ત્રી આર્હનિયસે તેનું ભૌતિક વાજબીકરણ અને અર્થઘટન પૂરું પાઢેલ હતું.

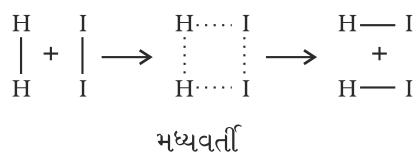
$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (4.18)$$

જ્યાં A આર્ડેનિયસ 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 ( $J \text{ mol}^{-1}$ ) માપેલ સક્રિયકરણ ઊર્જા છે.

નીચેની સરળ પ્રક્રિયાનો ઉપયોગ કરીને તે સહેલાઈથી સમજ શકાશે.



આર્ડેનિયસ પ્રમાણો, જો હાઇડ્રોજનનો અણુ આયોડિનના અણુ સાથે સંઘાત પામશે અને અસ્થાયી મધ્યવર્તી (આકૃતિ 4.6) રચશે, તો આ પ્રક્રિયા પરિણામશે. તે ઘણા ઓછા સમય માટે અસ્તિત્વ ધરાવે છે અને પછી તે તૂટી જાય છે અને હાઇડ્રોજન આયોડાઈડના બે અણુઓ બનશે.



આકૃતિ 4.6 : મધ્યવર્તીદ્વારા  $\text{HI}$ નું નિર્માણ

આ મધ્યવર્તીની સક્રિયકૃતસંકીર્ણી

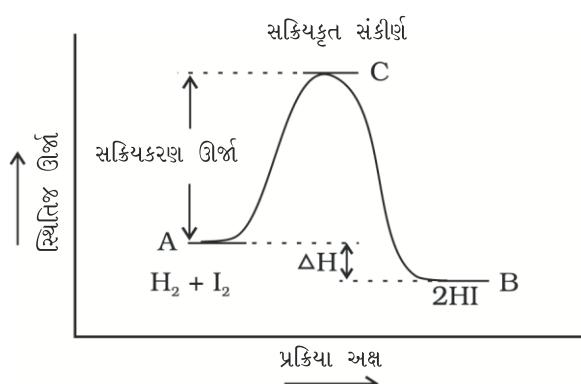
(C)ની રચના માટે જરૂરી ઊર્જાને સક્રિયકરણ

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 પરિશ્ચેદિકા (profile) છે.

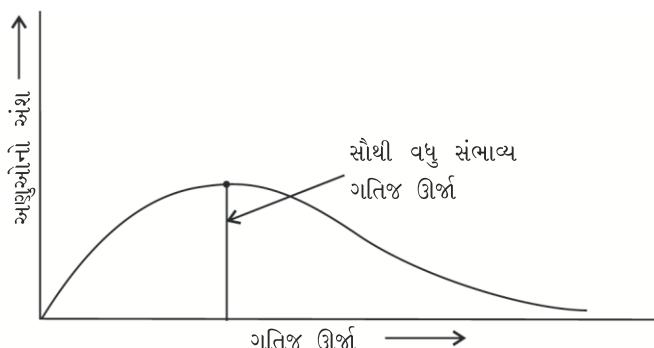
જ્યારે સંકીર્ણ વિઘટન પામીને નીપજ બનાવે છે ત્યારે કેટલીક ઊર્જા મુક્ત થાય છે. આથી પ્રક્રિયાની અંતિમ અન્યાન્ય પ્રક્રિયકો અને નીપજોના સ્વભાવ (પ્રકૃતિ) પર આધાર રાખે છે.

પ્રક્રિયા કરતી બધી જ રિપ્સીઝમાં બધા જ અણુઓ સમાન ગતિજ ઊર્જા ધરાવતા નથી. કોઈ પણ એક અણુની વર્તણૂક પરિશુદ્ધતા સાથે પ્રાફિકથિત કરવી મુશ્કેલ છે. લુડવિગ બોલ્ટ્ઝમેન (Ludwig Boltzmann) અને જેમ્સ કલાર્ક મેક્સવેલ (James Clark Maxwell) એ ઘણા અણુઓની વર્તણૂક દર્શાવવા સાંચ્ચિકીયશાસ્ત્રનો ઉપયોગ કર્યો. તેમના મત પ્રમાણો, 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 એન્ટ્રોપીયા,  $N_T$ , અણુઓની કુલ સંખ્યા છે.

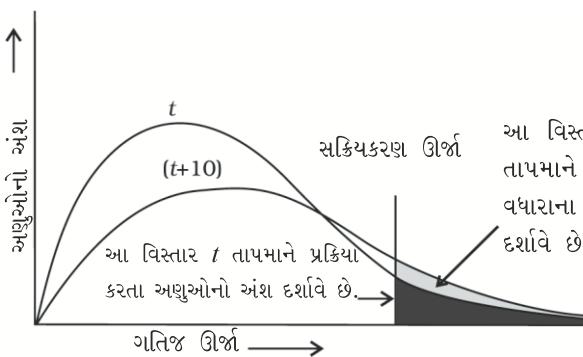
વકનું શિખર (peak) સૌથી વધુ સંભાવ્ય ગતિજ ઊર્જા એટલે કે અણુઓના મહત્વમાં અંશની ગતિજ ઊર્જા છે. ઊર્જાના આ મૂલ્યથી ઉપર કે નીચે અણુઓની સંખ્યા ઘટતી જાય છે.



આકૃતિ 4.7 : સ્થિતિજ ઊર્જા વિરુદ્ધ પ્રક્રિયા અક્ષનો આલેખ દર્શાવતી આકૃતિ



આકૃતિ 4.8 : વાયુમય અણુઓ વચ્ચે ઊર્જા દર્શાવતો વિતરણ વક



આકૃતિ 4.9 : પ્રક્રિયાના વેગનો તાપમાન પર આધાર દર્શાવતો વિતરણ વક્

જ્યારે તાપમાન વધારવામાં આવે છે ત્યારે વક્તમાંનું મહત્તમ સ્થાન ઊર્જા ઊર્જાના મૂલ્ય તરફ ખસે છે (આકૃતિ 4.9) અને વક્ત વધુ પહોળો થાય છે. એટલે કે જમણી બાજુ પ્રસરે છે જેથી કરીને વધુ ઊર્જા ઊર્જા ધરાવતા કષ્ટોનું પ્રમાણ વધારે થાય છે. વક્તની અંદરનું ક્ષેત્રફળ (વિસ્તાર) અચળ હોવું જોઈએ કારણ કે, દરેક સમયે કુલ સંભાવ્યતા એક હોવી જોઈએ. આપણે મેક્સવેલ-બોલ્ટ્ઝમેન વિતરણવક્ત 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 વક્તમાં  $(t + 10)$  તાપમાને સક્રિયકરણ ઊર્જા કરતાં વધારે ઊર્જા ધરાવતાં અણુઓનો અંશ બમણો થાય છે. જે પ્રક્રિયાના વેગને બમણા થવા તરફ દોરે છે.

આર્દ્ધનિયસ 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 આર્દ્ધનિયસ સમીકરણ (4.18)માંથી જણાયું છે કે તાપમાનનો વધારો અથવા સક્રિયકરણ ઊર્જામાં ઘટાડો પ્રક્રિયાનો વેગ અને વેગઅચળાંકમાં ઘાતાંકમાં વધારો કરશે.

આકૃતિ 4.10માં ટાળ =  $-\frac{E_a}{R}$  અને આંતર્દ્ધદ =  $\ln A$ . આથી આપણે અને  $A$  આ મૂલ્યોનો ઉપયોગ કરી ગણી શકીએ.

આપેલ તાપમાન  $T_1$  એ સમીકરણ (4.19) બનશે.

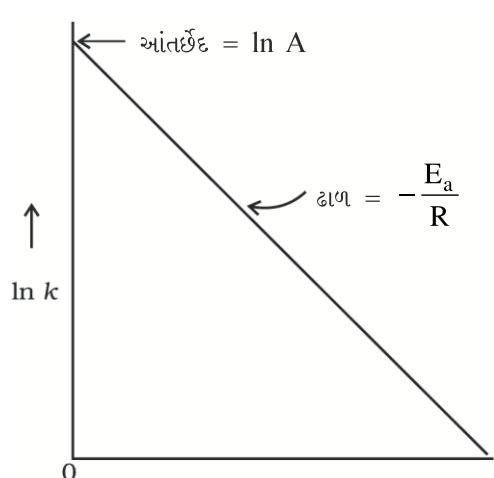
$$\ln k_1 = -\frac{E_a}{RT_1} + \ln A \quad (4.20)$$

$T_2$  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.



આકૃતિ 4.10 :  $\ln k$  અને  $\frac{1}{T}$  વચ્ચેનો આલેખ

સમીકરણ (4.20)ને (4.21)માંથી બાદ કરતાં આપણાને 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  $0.02 \text{ s}^{-1}$  અને  $0.07 \text{ s}^{-1}$  છે.  $E_a$  અને Aના મૂલ્યો ગણું.

**ઉકેલ :**  $\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right]$

$$\log \frac{0.07}{0.02} = \left( \frac{E_a}{2.303 \times 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}} \right) \left[ \frac{700 - 500}{500 \times 700} \right]$$

$$0.544 = E_a \times 5.714 \times 10^{-4} / 19.15$$

$$E_a = 0.544 \times 19.15 / 5.714 \times 10^{-4} = 18230.8 \text{ J}$$

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

$$0.02 = Ae^{-18230.8 / 8.314 \times 500}$$

$$A = 0.02 / 0.012 = 1.61$$

**કોયડો 4.10 :** ઈથાઈલ આયોડાઈડના વિઘટનની પ્રથમકમની પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે થાય છે.



600 K તાપમાને  $1.60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  છે. તેની સંક્રિયકરણ ઊર્જા 209 kJ / mol છે. 700 K તાપમાને પ્રક્રિયાનો વેગ અચળાંક ગણું.

**ઉકેલ :** આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$\log k_2 - \log k_1 = \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

$$\log k_2 = \log k_1 + \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

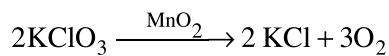
$$= \log (1.60 \times 10^{-5}) + \frac{209000 \text{ J mol L}^{-1}}{2.303 \times 8.314 \text{ J mol L}^{-1} \text{ K}^{-1}} \times \left[ \frac{1}{600 \text{ K}} - \frac{1}{700 \text{ K}} \right]$$

$$\log k_2 = -4.796 + 2.549 = -2.197$$

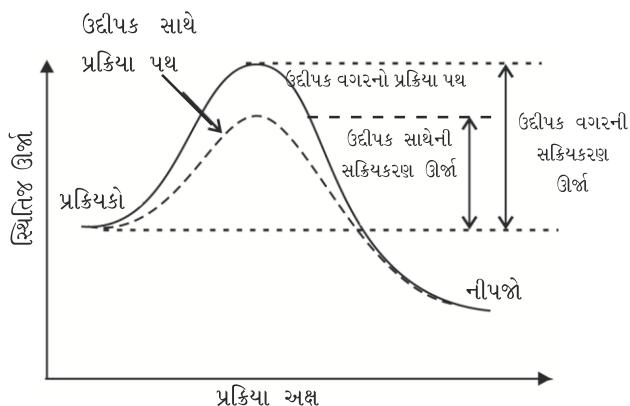
$$k_2 = 6.36 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

#### 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 રહ્યે છે જે મધ્યવર્તી સંકીર્ણમાં પરિણામે છે. આને ક્ષણિક અસ્તિત્વ હોય છે અને વિઘટન પામીને નીપળો તથા ઉદ્દીપક આપે છે.



આકૃતિ 4.11 : સાંક્ષેપકરણ ઉર્જા પર ઉદ્દીપકની અસર

એવું માનવામાં આવે છે કે ઉદ્દીપક વૈકલ્પિક પ્રક્રિયામાર્ગ અથવા પ્રક્રિયા કિયાવિધિ પૂરી પાડે છે. જેમાં સાંક્ષેપકરણ ઉર્જાનો ઘટાડો કરે છે. તેથી આકૃતિ 4.11માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સ્થિતિજ ઉર્જા અંતરાય(barrier)ને ઘટાડે છે.

આર્ડ્નિયસ સમીકરણ (4.18)માંથી સ્પષ્ટ થાય છે કે સાંક્ષેપકરણ ઉર્જા જેટલી ઓછી તેટલો જ પ્રક્રિયા વેગ વધુ ઝડપી બનશે.

ઉદ્દીપકનું ઓછું પ્રમાણ પ્રક્રિયકોના વધારે જથ્થાને ઉદ્દીપીત કરી શકે છે. ઉદ્દીપક પ્રક્રિયાની ગિબ્સ-ઉર્જા ( $\Delta G$ )માં ફેરફાર કરતો નથી. તે સ્વયંસ્કૃત પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપીત કરે છે. પરંતુ બિનસ્વયંસ્કૃત 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 (કષાએ) ઉદ્દીપીત કરે છે અને તેથી તે સરખો જ રહે છે પણ વહેલા મેળવી શકાય છે.

#### 4.5 રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓનો સંધાત સિદ્ધાંત (Collision Theory of Chemical Reactions)

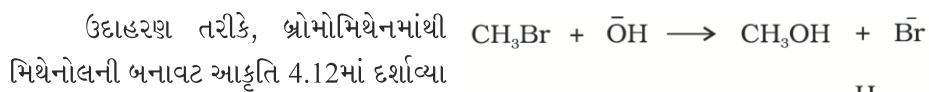
આર્ડ્નિયસનું સમીકરણ ઘણા વિશાળ સંઝોગોમાં લાગુ પાડી શકાય છે પરંતુ સંધાત સિદ્ધાંત જે મેક્સ ટ્રોટઝ અને વિલિયમ લુઈસ (Max Trautz and William Lewis) 1916–18માં વિકસાવેલો તે પ્રક્રિયાની ઉર્જા (energetic) અને કિયાવિધિ બાબતોને વધારે ગઢનતાપૂર્વક સમજાવે છે. તે વાયુઓની ગતિજ ઉર્જા પર આધારિત છે. આ સિદ્ધાંત પ્રમાણે પ્રક્રિયક અણુઓને સખત ગોળાઓ તરીકે

અને પ્રક્રિયાને અણુઓ અથડાય ત્યારે થવા વિષે અભિધારણા કરી. પ્રક્રિયા મિશ્રણના પ્રતિ સેકન્ડ પ્રતિ એકમ કટે 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-આણવીય પ્રાથમિક પ્રક્રિયા  $A + B \rightarrow \text{નીપજો, માટે પ્રક્રિયાનો વેગ આ પ્રમાણે અભિવ્યક્ત કરી શકાય.}$

$$\text{વેગ} = Z_{AB} e^{-E_a/RT} \quad (4.23)$$

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 આર્દ્ધનિયસ સમીકરણ સાથે સરખાવતાં આપણે કહી શકીએ કે A સંઘાત આવૃત્તિ સાથે સંબંધિત છે.

સમીકરણ (4.23) જે પ્રક્રિયાઓ પરમાણવીય સ્પિસીઝ અથવા સાદા અણુને સમાવિષ્ટ કરે છે તેમના વેગ અચળાંકના મૂલ્યોનું પ્રાક્કથન પ્રમાણમાં સારી રીતે કરે છે. પરંતુ સંક્રાંત 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 (થ્રેશોલ્ડ) ઊર્જા\* કહેવાય છે) અને યોગ્ય દિક્કવિન્યાસ 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.



પ્રમાણે પ્રક્રિયક અણુઓના દિક્કવિન્યાસ પર આધાર રાખે છે.

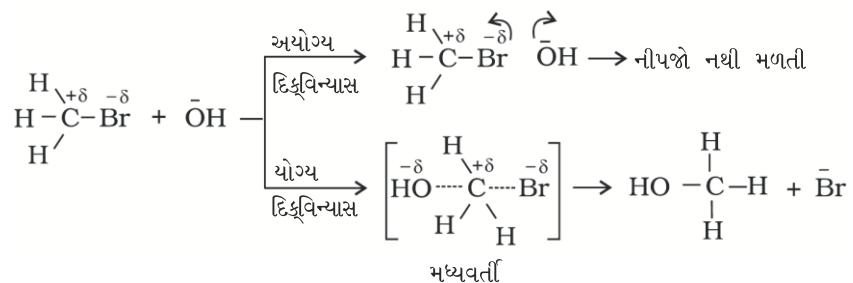
પ્રક્રિયક અણુઓનું યોગ્ય દિક્કવિન્યાસ બંધની રચના તરફ દોરે છે. જ્યારે અયોગ્ય દિક્કવિન્યાસ તેમને માત્ર પાછા ધકેલે છે અને નીપજ બનતી નથી.

અસરકારક સંઘાતને સમજવા માટે બીજા અવયવ P સંભાવ્યતા અથવા ત્રિ-વિમવિન્યાસી (steric) અવયવ રજૂ કરાપો હતો. તે એ હક્કિતનો સમાવેશ કરે છે કે સંઘાતમાં અણુઓ યોગ્ય રીતે દિક્કવિન્યાસ થયેલા હોવા જોઈએ.

$$\text{વેગ} = P Z_{AB} e^{-E_a/RT}$$

આમ, સંઘાત સિદ્ધાંતમાં સક્રિયકરણ ઊર્જા અને અણુઓનો દિક્કવિન્યાસ 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 અવણાગે છે. તમે ઉચ્ચ ધોરણોના તમારા અભ્યાસ દરમિયાન આ સિદ્ધાંત વિશેની વિગતો અને બીજા સિદ્ધાંતો વિશે વધુ શીખશો.



આફ્ક્ટિ 4.12 : યોગ્ય અને અયોગ્ય દિક્કવિન્યાસ 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 K માંથી 10 K વધારતાં પ્રક્રિયા વેગ બમણો થાય છે.  $E_a$  ગણો.
- 4.9  $2\text{HI(g)} \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$  પ્રક્રિયા માટે સક્રિયકરણ ઊર્જા  $209.5 \text{ k J mol}^{-1}$  છે. સક્રિયકરણ ઊર્જા જેટલી અથવા વધારે ઊર્જા ધરાવતા પ્રક્રિયકના આણુઓનો અંશ ગણો.

## સારાંશ

રાસાયણિક ગતિકી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓનો પ્રક્રિયા વેગ, જુદા જુદા ચલોની અસર, પમાણુઓની પુનઃગોઠવણી અને મધ્યવર્તીની રચના અંગેનો અભ્યાસ છે. પ્રક્રિયાનો વેગ પ્રક્રિયકની સાંક્રતામાં ઘટાડો અથવા નીપજની સાંક્રતામાં 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 સાંક્રતા, 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 પ્રાક્કથન થઈ શકતું નથી. પ્રક્રિયાનો કમ પ્રક્રિયકના સંદર્ભમાં તેની સાંક્રતાનો ઘાતાંક છે જે વેગ નિયમ સમીકરણથી દર્શાવાય છે. પ્રક્રિયાનો કમ જુદા જુદા પ્રક્રિયકોની સાંક્રતાના આવા બધા ઘાતાંકોનો સરવાળો છે. વેગ અચળાંક વેગ નિયમમાં સમપ્રમાણતા અવયવ છે. વેગ અચળાંક અને પ્રક્રિયાનો કમ વેગ નિયમમાંથી અથવા સંકલિત વેગ સમીકરણમાંથી ગણી શકાય. માત્ર પ્રાથમિક પ્રક્રિયા માટે આણવીકતા વ્યાખ્યાપિત થાય છે. તેમના મૂલ્યો 1થી 3માં સીમિત છે. કમ 0, 1, 2, 3 અથવા અપૂર્ણાંક પણ હોઈ શકે છે. પ્રક્રિયાનો કમ અને આણવીકતા પ્રાથમિક પ્રક્રિયા માટે સરખા હોય છે.

વેગ અચળાંકનો તાપમાન પર આધાર આર્ડ્નિયસ સમીકરણ ( $k = A e^{-E_a/RT}$ )થી વર્ણવી શકાય છે.  $E_a$  સક્રિયકરણ ઊર્જાને અનુરૂપ છે અને તેને સક્રિયકુત સંકીર્ણ અને પ્રક્રિયક આણુઓ વચ્ચેના ઊર્જા તફાવતથી દર્શાવે શકાય છે અને A (આર્ડ્નિયસ અવયવ અથવા પૂર્વ-ઘાતાંક અવયવ) સંઘાત આવૃત્તિને અનુરૂપ છે. સમીકરણ સ્પષ્ટ પણ 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 પડે છે. સંઘાત સિદ્ધાંત પ્રમાણે, બીજો અવયવ P જેને ત્રિ-વિમલિન્યાસી અવયવ કહે છે. જે સંઘાત પામતા આણુઓના દિક્કુંન્યાસનો સંદર્ભ દર્શાવે છે. તે અગત્યનો છે અને અસરકારક અથડામણમાં ફળો આપે છે. આમ આર્ડ્નિયસ 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 :
- $3\text{NO(g)} \rightarrow \text{N}_2\text{O(g)}$  વેગ =  $k [\text{NO}]^2$
  - $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 3\text{I}^-(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O(l)} + \text{I}_3^-$  વેગ =  $k [\text{H}_2\text{O}_2] [\text{I}^-]$
  - $\text{CH}_3\text{CHO(g)} \rightarrow \text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO(g)}$  વેગ =  $k [\text{CH}_3\text{CHO}]^{3/2}$
  - $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl(g)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{HCl(g)}$  વેગ  $k = [\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}]$
- 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 ખોટિનમની સપાઠી 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 ડાયમિથાઇલ ઈથરનું વિઘટન  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  અને  $\text{CO}$ માંની બનાવટમાં પરિણામે છે અને પ્રક્રિયા વેગ આ પ્રમાણે આપી શકાય છે.
- વેગ =  $k [\text{CH}_3\text{OCH}_3]^{3/2}$
- પ્રક્રિયાનો વેગ બંધ પાત્રમાં દબાણનો વધારો કરીને અનુસરી (કરી) શકાય છે જેથી વેગ અચળાંક ડાયમિથાઇલના આંશિક દબાણમાં અભિવ્યક્ત કરી શકાય.
- 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 પરિબળો જણાવો.
- 4.6 એક પ્રક્રિયા પ્રક્રિયકના સંદર્ભમાં દ્વિતીય ક્રમની છે. પ્રક્રિયાનો વેગ કેવી રીતે અસર પામશે ? જો પ્રક્રિયકની સાંક્રતા (i) બમણી કરવામાં આવે (ii) અડધી કરવામાં આવે છે.
- 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 :

- વિકલનીય વેગ સમીકરણ લખો.
- Bની સાંક્રતા ત્રણ ગણી વધારવામાં આવે, તો વેગ કેવી રીતે અસર પામશે ?
- જો A અને B બંનેની સાંક્રતા બમણી કરવામાં આવે, તો વેગ કેવી રીતે અસર પામશે ?

- 4.10 A અને B વચ્ચેની પ્રક્રિયામાં પ્રારંભિક પ્રક્રિયા વેગ (r<sub>0</sub>) A અને Bની જુદી જુદી સાંક્રતાએ 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 <sub>0</sub> / molL <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	5.7 × 10 <sup>-5</sup>	5.07 × 10 <sup>-5</sup>	1.43 × 10 <sup>-4</sup>

A અને Bના સંદર્ભમાં પ્રક્રિયા કમ શું હશે ?

- 4.11 2A + B → 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 × 10 <sup>-3</sup>
II	0.3	0.2	7.2 × 10 <sup>-2</sup>
III	0.3	0.4	2.88 × 10 <sup>-1</sup>
IV	0.4	0.1	2.40 × 10 <sup>-2</sup>

પ્રક્રિયાનો વેગ નિયમ અને વેગ અચળાંક નક્કી કરો.

- 4.12 A અને B વચ્ચેની પ્રક્રિયા Aના સંદર્ભમાં પ્રથમ કમની છે અને Bના સંદર્ભમાં શૂન્ય કમની 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 × 10 <sup>-2</sup>
II	-	0.2	4.0 × 10 <sup>-2</sup>
III	0.4	0.4	-
IV	-	0.2	2.0 × 10 <sup>-2</sup>

- 4.13 પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાના તેમના નીચે આપેલા વેગ અચળાંક પરથી પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાના અર્ધ-આયુષ્ય (સમય) ગણો :

(i) 200 s<sup>-1</sup>      (ii) 2 min<sup>-1</sup>      (iii) 4 years<sup>-1</sup>

- 4.14 <sup>14</sup>C નો રેઝિયોએક્ટિવ ક્ષયનો અર્ધ-આયુષ્ય સમય 5730 વર્ષ છે. એક પુરાતાત્ત્વિક કૂત્રિમવસ્તુ (artifact) જે જીવીત વૃક્ષમાં મળેલા <sup>14</sup>Cના માત્ર 80 % કાઢ ધરાવે છે. નમૂનાનું આયુષ્ય (ઉંમર) અંદાજો.

- 4.15 N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ના વાયુમય કલામાં 318 K તાપમાને વિઘટનની [2N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> → 4NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>] પ્રાયોગિક માહિતી નીચે આપેલ છે :

t/s	0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
10 <sup>2</sup> x [N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ] 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 અર્ધ-આયુષ્ય સમય શોધો.  
(iii) log [N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>] 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 કમની પ્રક્રિયા માટે વેગ અચળાંક  $60 \text{ s}^{-1}$  છે. પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સાંક્રતાથી તેના  $\frac{1}{6}$  બાગના મૂલ્ય કેટલી સાંક્રતા ઘટીને થવા માટે તે કેટલો સમય લેશે ?
- 4.17 કેન્દ્રિય વિસ્ફોટન દરમિયાન નીપણોમાંની એક  $^{90}\text{Sr}$  છે જેનું અર્ધઆયુષ્ય 28.1 વર્ષ છે. જો તે જ સમયે તાજી જન્મેલા બાળકનાં હાડકાંમાં  $1 \mu\text{g}$   $^{90}\text{Sr}$  કેલ્વિયમને 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 કમની પ્રક્રિયા માટે દર્શાવો કે 99 % પ્રક્રિયા પૂર્ણ થવા માટે જરૂરી સમય પ્રક્રિયા 90 % પૂરી થવા માટે જરૂરી સમય કરતાં બમળો છે.
- 4.19 એક પ્રથમ કમની 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 કમની  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ની વિઘટન પ્રક્રિયા  $\text{SO}_2\text{Cl}_2(g) \rightarrow \text{SO}_2(g) + \text{Cl}_2(g)$  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

In  $k$  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 પ્રાક્ફક્ટન 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 પૂર્વધાતાંક (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 સાંક્રતા 1.0 mol L $^{-1}$  હોય, તો 100 s પછી Aની શેષ સાંક્રતા ગણો.
- 4.25 સુકોઝ એસિડિક દ્રાવકશમાં ગલુકોઝ અને ફુક્ટોજમાં પ્રથમ કમ 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  $\text{H}_2\text{O}_2$ ના પ્રથમ કમ પ્રમાણે વિઘટનનો વેગ અચળાંક નીચેના સમીકરણ દ્વારા દર્શાવી શકાય.
- $$\log k = 14.34 - 1.25 \times 10^4 \text{ K/T}$$
- આ પ્રક્રિયા માટે  $E_a$  ગણો અને ક્યા તાપમાને તેનું અર્વ આયુષ્ય 256 મિનિટ થશે ?
- 4.28 Aનું નીપજોમાં વિઘટનમાં  $10^\circ \text{ C}$  તાપમાને એનું મૂલ્ય  $4.5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$  દર્શાવે છે અને સક્રિયકરણ ઊર્જા  $60 \text{ kJ mol}^{-1}$  દર્શાવે છે. ક્યા તાપમાને એનું મૂલ્ય  $1.5 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$  થશે ?
- 4.29  $298 \text{ K}$  તાપમાને પ્રથમ કમની પ્રક્રિયાને 10 % પૂર્ણ થવા જરૂરી સમય  $308 \text{ K}$  તાપમાને તે જ પ્રક્રિયાને 25 % પૂર્ણ થવા માટે લાગતા સમય જેટલો જ છે. જો Aનું મૂલ્ય  $4 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$  હોય, તો  $318 \text{ K}$  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  $r_{av} = 6.66 \times 10^{-6} \text{ Ms}^{-1}$
- 4.2 પ્રક્રિયાનો વેગ = Aનો અદશ્ય થવાનો વેગ =  $0.005 \text{ mol l}^{-1} \text{ min}^{-1}$
- 4.3 પ્રક્રિયાનો કમ 2.5 છે.
- 4.4  $X \rightarrow Y$   
 $\text{વેગ} = k [X]^2$   
વેગ 9 ગણો વધશે.
- 4.5  $t = 444 \text{ s}$
- 4.6  $1.925 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$
- 4.8  $E_a = 52.987 \text{ kJmol}^{-1}$
- 4.9  $1.471 \times 10^{-19}$